



PUURIJA KÄSIRAAMAT

Eesti Geoloogia Selts

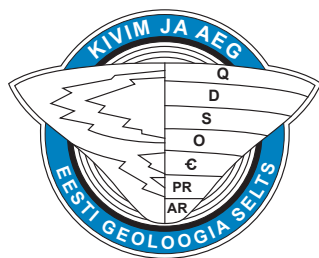
PUURIJA
KÄSIRAAMAT

Tallinn 2017

Puurija käsiraamat.
Eesti Geoloogia Selts. Tallinn, 2017.
ISBN 978-9949-9957-0-7 (pdf)

Koostaja: Peep Kildjer
Toimetajad: Aasa Aaloe, Anne Põldvere
Kujundus: Heikki Bauert
Kaanefoto: Tarmo Bauert

© Eesti Geoloogia Selts MTÜ



Käsiraamatu koostamist ja e-trükisena väljaandmist rahastas Keskkonnainvesteeringute Keskus

SISUKORD

SAATEKS. <i>Peep Kildjer</i>	5
1. PUURIMISE AJALOOST EESTIS. <i>Kalle Suuroja</i>	7
EESTI SÜGAVAMAD PUURAUUGUD	10
2. EESTI GEOLOOGILINE EHITUS	10
GEOLOOGILISE LÄBILÕIKE LIIGESTAMISEST. <i>Kalle Suuroja</i>	11
ALUSKORD. <i>Kalle Suuroja</i>	11
OROSIRI, STATHERI JA KALYMMMA LADESTU/AJASTU	11
PEALISKORD	12
EDIACARA LADESTU/AJASTU. <i>Kalle Suuroja</i>	12
KAMBRIUMI LADESTU/AJASTU. <i>Kalle Suuroja</i>	13
ORDOVIITSIUMI LADESTU/AJASTU. <i>Kalle Suuroja</i>	16
SILURI LADESTU/AJASTU. <i>Kalle Suuroja</i>	18
DEVONI LADESTU/AJASTU. <i>Kalle Suuroja</i>	20
KVATERNAARI LADESTU/AJASTU. <i>Anne Pöldvere</i>	21
ALUSPÕHJA STRUKTUURID. <i>Kalle Suuroja</i>	23
ALUSPÕHJA PEALISPINNA RELJEEF. <i>Tiiu Liblik</i>	25
NÜÜDISAEGNE RELJEEF JA PINNAVORMID. <i>Tiiu Liblik</i>	26
3. EESTI ALUS- JA PEALISKORRA KIVIMID. <i>Kalle Suuroja</i>	39
TARDKIVIMID	39
TARDKIVIMITE KIRJELDUSI	41
MOONDEKIVIMID	42
MOONDEKIVIMITE KIRJELDUSI	43
SETTEKIVIMID	45
SETTEKIVIMITE KIRJELDUSI	47
4. HÜDROGEOLOOGIA. <i>Rein Perens</i>	55
PÕHJAVESI	55
PÕHJAVEE KIHILISUS, VEEAND JA TEMPERATUUR	58
PÕHJAVEE KEEMILINE KOOSTIS	59
EESTI HÜDROGEOLOOGILINE ÜLEVAADE	61
PÕHJAVEE KAITSE ÕIGUSLIKUD PÕHIMÕTTED JA KAITSTUS	69
VEEPROOVIDE VÕTMINE	71
KATSEPUMPAMISED	74
5. PUURIMISE TEHNOLOOGIAD	79
TROSS-LÖÖKPUURIMINE. <i>Kalle Alasi</i>	79
TIGU- EHK SPIRAALPUURIMINE. <i>Kalle Alasi</i>	80
PÖÖRDUHTMISEGA PUURIMINE. <i>Kalle Alasi</i>	82
PÖÖRDUHTMISEGA KEERD-LÖÖKPUURIMINE SURUÕHUGA. <i>Kalle Alasi</i>	82
PÖÖRDUHTMISEGA KEERDPUURIMINE PUURIMISVEDELIKEGA. <i>Kalle Alasi</i>	83
TOPELT PÖÖRELPEAGA PUURIMINE. <i>Kalle Alasi</i>	84
ROOTORPUURIMINE. <i>Peep Truumaa</i>	86
6. AVARIID JA NENDE LIKVIDEERIMINE KEERDPUURIMISEL. <i>Peep Truumaa</i>	96
KEERDPUURIMISE AVARIIDE PÕHJUSED, NENDE ENNETAMINE JA LIKVIDEERIMINE	96
AVARIIDE LIKVIDEERIMISE INSTRUMENDID KEERDPUURIMISEL	101
SOOLHAPPEVANNI KASUTAMINE PUURINSTRUMENDI KINNIKIILUMISEL PUURAUUGUS	103
UHTEVEDELIKU NEELDUMIST TAKISTAVATEST MEETODITEST LÕHELISTES KIVIMITES ...	104

PUUR AUGU KÕRVALEKALDUMINE VERTIKAALSEST SUUNAST	104
PUURIMISE SUUNA MUUTMINE PUUR AUGUS	105
7. PUURIMISSEGUD. <i>Anton Timofejev</i>	106
8. PUURKAEVUFILTRID. <i>Kalle Alasi</i>	108
FILTRITE TÜÜBID	108
FILTRITE FÜÜSIKALISED JA KEEMILISED PARAMETRID	110
FILTRI KONSTRUKTSIOON PUURKAEVUS	111
9. PUURKAEVU JA -AUGU KONSERVEERIMINE. <i>Peep Truuma</i>	112
10. PUUR AUGU LIKVIDEERIMINE. <i>Peep Truuma</i>	113
11. SALVKAEVUDE RAJAMINE JA KORRASHOID. <i>Kalle Alasi</i>	115
SALVKAEVUD	115
KOMBINEERITUD KAEVUD	117
SALVKAEVU KORRASHOID JA REMONT	117
12. PUURKAEVUDE VEETÕSTESEADMED. <i>Varmo Rass</i>	119
RAJATAVA VEESÜSTEEMI PLANEERIMINE, SEADMETE VALIK	121
PUMBA KOMPLEKTEERIMINE, PAIGALDUS JA SURVESÜSTEEMI RAJAMINE	123
KAEVUDE KASUTUSELEVÕTUGA KAASNEDA VÕIVAD ENAMLEVINUD PROBLEEMID	126
KAEVUVEE KVALITEEDI PROBLEEMIDEST JA NENDE KÕRVALDAMISE VÕIMALUSTEST ...	127
13. PINNASED. <i>Peep Kildjer</i>	130
PINNASE JAOTUS JA LIIGITAMINE LÕIMISE EHK GRANULOMEETRILISE KOOSTISE JÄRGI ..	130
ERIPINNASED	131
PINNASE JAOTUS ORGAANILISE AINE SISALDUSE JA VOOLAVUSARVU I _L JÄRGI	132
PINNASE JAOTUS GEOTEHNILISTE OMADUSTE JÄRGI	132
PINNASE KOOSSEISU NÄITAJAD	133
PINNASE OMADUSI ISELOOMUSTAVAD NÄITAJAD	134
PINNASE OLEKUT ISELOOMUSTAVAD NÄITAJAD	138
EESTI KESKKONNAUURINGUTE Keskuse GEOTEHNİKALABORIS TEHTAVAD PINNASE ISELOOMUSTUSE JA OMADUSTE MÄÄRANGUD	139
PINNASE VÄLIMÄÄRAMISE ALUSED	140
14. GEOTEHNILISED UURINGUD. <i>Peep Kildjer</i>	144
EELUURINGUD	144
PÕHIUURINGUD	144
KONTROLLUURINGUD	145
UURINGUPUNKTIDE SOOVITATAVAD VAHEKAUGUSED JA SÜGAVUSED	146
15. GEODEESIA. <i>Tiit Hion</i>	147
16. MAASOOJUSSÜSTEEMID. <i>Argo Jõelett</i>	159
17. OHUTUSEESKIRJAD. <i>Peep Kildjer</i>	165
ÜLDNÕUDED	165
PUURIMINE	165
ŠURFIMINE	169
TÖÖD ELEKTRILIINIDE LÄHEDUSES	170
TÖÖTAMINE ELEKTRISEADMETEGA	171
SISEPÕLEMISMOTORID	171
TÖÖD SALVKAEVUDES	171
18. ESMAABI. <i>Peep Kildjer</i>	172

SAATEKS

Selle käsiraamatu eesmärk on pakkuda puurijatele täiendavaid teadmisi maapõues esinevatest setetest, kivimitest ja põhjaveest ning nende uuringute mitmekesisusest. Põhjalikumad teadmised maapõuest võimaldavad puurijatel teha paremini sisulist koostööd geoloogide, mäeinseneride ja teadlastega, kes on puurtööde otsesed tellijad.

Puurauke rajades aitavad puurijad läbi viia maapõue uuringuid, mille eesmärgiks võivad olla ehitiste ja rajatiste projekteerimine, maavarade, põhjavee ja maasoojuse kasutusele võtmine ning geoloogiline kaardistamine. Puurimisel on kindel koht ka ehituses.

Erinevatel perioodidel on puurtöid reguleeritud mitmesuguste normidega (standarditega). Alati on peetud tähtsaks ka puurijate koolitamist, kuid seni ei ole Eestis puurijaid ametlikult õpetatud ja ka vabalt kättesaadavad õpikud puuduvad. Oma asutuse vajadusi arvestava kolmeköitelise eestikeelse käsiraamatu ja juhendid puurmeistritele koostas 1990. aastal Riiklik Ehitusuuringute Instituut. Enamasti on geoloogilisteks puurtöödeks vajalikud teadmised ja oskused omandatud Venemaa õppeasutustes.

Koolitatud ja töökogemusega puurijate nappusest tingituna koostas Eesti Geoloogia Selts koostöös Kutsekojaga 2011. aastal puuriija (tase 3) ja puurmeistri (tase 4) kutsestandardi, mida uuendati 2016. aastal. 2015. aastal alustati ka puurijate kuue kuu pikkust koolitamist Kehtna Kutsehariduskeskuses, kus õpetajateks on puurimise ja geoloogia erinevaid valdkondi hästi tundvad spetsialistid.

Käesolevasse käsiraamatusse on koondatud abimaterjalid puurijate õppe toetamiseks. Enam tähelepanu on pööratud üldgeoloogia baasteadmistele, hüdrogeoloogiale, geotehnikale, geodeesiale ja puurimise tehnoloogiale, sh kaevude ja maasoojussüsteemide rajamisele. Eraldi peatükkidena käsitletakse ka ohutustehnikat ja esmaabi.

Autoritel on soov käsiraamatut tulevikus perioodiliselt täiendada ja uuendada. Selleks ootab Eesti Geoloogia Seltsi puurijate kutsete kutsekomisjon aktiivset tagasisidet õppetöös osalejatelt, puurijatelt ja puurmeistritelt ning uute tehniliste lahenduste ja uue tehnika kasutajatelt.

Käsiraamatu koostajad tänavad geotehnikainseneri filosoofiadoktor Mait Metsa, hüdrogeoloogi filosoofiadoktor Katrin Ergi ja Eesti Keskkonnauuringute Keskuse geotehnikalabori juhatajat Uile Lembergi nõuannete ja igakülgse abi eest.

Peep Kildjer

Eesti Geoloogia Seltsi puuriija kutsete kutsekomisjoni esimees

1. PUURIMISE AJALOOST EESTIS

Puurauke hakati Eestis rajama juba 19. sajandil ja seda eeskätt just kaevudeks. Esimene trükis avaldatud teade Tallinnas Patarei merekindluse juures rajatud 300 jala (u 100 m) sügavusest puurkaevust pärineb 1842. aastast. 19. sajandi lõpust on mitmeid teateid ka Tartus ja Pärnus rajatud puurkaevudest.

Puursüdamikku hakati puuraukudest võtma alles 20. sajandi alguses ja seda enamasti seoses põlevkivini ning fosforiidiuuringutega. Teise maailmasõja järgsel ajal on Eestis maavarade otsingute-uuringute ja geoloogilise kaardistamise käigus puuritud üle 25 000 puuraugu. Neist enamik (ligi 15 000 puurauku) on seotud põlevkivi otsingute ja uuringutega, umbes 2000 fosforiidiuuringutega, ligi 3000 ehitusmaterjalide (paekivid, savid, liivad-kruusad jne) uuringutega ning 2000 geoloogilise kaardistamisega.

Loetletud puuraukudest 520 avavad ka kristalse aluskorra kivimeid. Kristalse aluskorra geoloogilise ehituse ja maavaralise potentsiaali väljaselgitamiseks

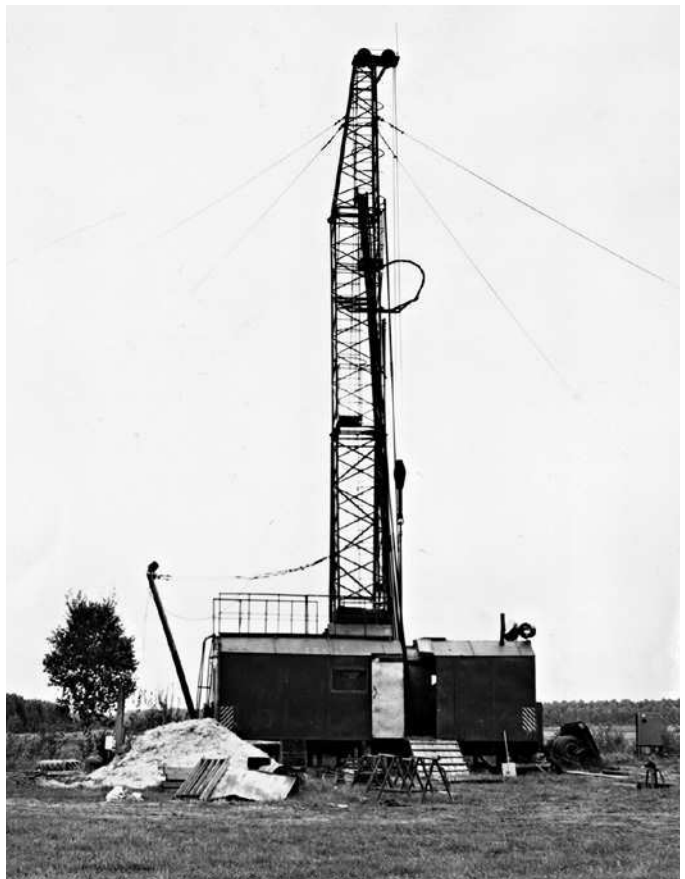
toimus aastatel 1968–1991 Põhja-Eestis Hiiumaa ja Narva vahemikus kristalse aluskorra kaardistamine – nn süvakaardistamine. Esmalt uuriti ala geofüüsikaliste meetoditega (gravi- ja magnetomeetriline kaardistamine). Selleks, et kindlaks teha, missuguse koostisega kivimid millistele anomaaliatele vastavad, rajati 305 puurauku. Puuraukude keskmine sügavus oli 300 meetrit ja need avasid aluskorra kivimeid umbes 100 m ulatuses.

Süvakaardistamisel avastati mitmeid maagiilminguid, aga loodetud suuremad maagileiukohad jäid leidmata. Vaatamata sellele andis süvakaardistamine hea ülevaate kristalse aluskorra geoloogilisest ehitusest ja kivimilisest koostisest. Täpsustamist leidsid mitmed juba varem teatud maagiilmingud: Jõhvi rauamaak, Uljaste mustad gneisid jt. Süvakaardistamise tulemuste hulka võib lugeda ka Rakvere fosforiidimaardla ja Maardu graniidimaardla avastamise.

EESTI SÜGAVAMAD PUURAUUGUD

Soovälja puurauk K1 (F373), mis puuriti 1990. aastal Hiiumaa süvakaardistamisel Kärddla meteoriidikraatri keskossa, on Eesti sügavaim (815,2 m) puurauk. Puuraugu rajamiseks kasutati spetsiaalset kõvade maavarade uurimiseks tehtud ja kuni 800 m sügavuste puuraukude puurimiseks mõeldud südamikpuurimise agregaat UKB 800, mis oli paigaldatud treilerile. Puurauguga üritati kindlaks teha kraatri põhja sügavust. 530 m sügavusel jõuti kristalse aluskorra kivimiteni, kuid meteoriidiplahvatus poolt purustatud kristalseid kivimeid leiti kuni puurimise lõpetamiseni 815,2 m sügavusel. Petrofüüsikaline modelleerimine näitas, et purustatud kivimeid võib kohata kuni 1 km sügavuseni. Kuigi geoloogid tahtsid veelgi sügavamale puurida, ei võimaldanud seda puuragregaadite tehnilised näitajad – vints ei suutnud enam puurvarraste kolonni üles tõsta, vaatamata sellele, et osaliselt kasutati ka kergsulamist puurvardaid.

Soovälja (K1) puuraugu rajamiseks kasutati puuragregaat UKB 800.



Ruhnu puurauk nr 500, mis puuriti 1970. aastal keskmisemõõtkavalise (1:200 000) geoloogilise kaardistamise käigus, on sügavuselt teine (787,4 m). Lisaks geoloogilisele kaardistamisele kuulusid Ruhnu puurangu rajamise eesmärkide hulka ka nafta ja gaasi otsingud. Kõik ohutusabinõud võimaliku gaasipurske mahasurumiseks olid tarvitusele võetud, kuid, õnneks või õnnetuseks, ei olnud vaja neid kasutusele võtta, sest 780 m sügavusel kristalse aluskorra kivimitesse (Riia massiivi rabakivisse) jõudnud puuraugus nafta-ega gaasiilminguid ei täheldatud.

Jõhvi II puurauk rajati 1938. aastal Jõhvi rauamaagilasundi uurimiseks. See on senini sügavuselt neljas (721,5 m) Eesti puurauk (kolmas on 721,7 m sügavune Varbla puurauk nr 502, mis rajati 1970. aastal geoloogilisel kaardistamisel). 1930-ndatel aastatel Eesti kaitseväge poolt läbi viidud magnetilise deklinatsiooninurga mõõdistamise käigus registreeriti Jõhvi ida pool (Toila teeristist 700 m põhja pool ja Toila teest 300 m lääne pool) Pühajõe ääres kahetipuline intensiivne magnetiline häireala, mida hiljem (1946) hakati nimetama Jõhvi magnetanomaaliaks. Aktsia-selts "Magna", mis loodi rauamaagi uurimiseks ja katse-likseks kaevandamiseks Eestis, tegi anomaalia-alal täiendavaid magnetilisi mõõtmisi. Seejärel puuriti Toila teeristi lähedale Narva maanteest põhja poole kaks puurauku – anomaalia läänepoolse tipu kohale puuriti 1937. aastal 505 m ja 1938. aastal eelmisest sadakond meetrit lõuna poole 721,5 m sügavune puurauk. Puurmasin oli olemasolevate väiksemate puuragregaatide detailidest kohapeal kokku pandud. Teemantkroonid kõvades kristalsetes kivimites puurimiseks toodi Saksamaalt. Jõhvi puuraugud olid ka üldse esimesed teemantpuurimisega rajatud puur-
augud Eestis.

Nagu kirjutab Postimees 1937. aasta juulis, oli lootus esialgu suur ja nii loodeti tulevikus 250 m sügavuselt kaevandada 25 000 tonni 50-protsendilist rauamaaki aastas. Pärast 240 m paksuse settekivimite lasundi läbimist jõuti kristalses aluskorras järsult (70–90°) lasuvate raudkvartsiitide ja rauarikaste gneissideni. Jõhvi I puuraugus olid rauamaaki sisaldavad kihid 368–505 m sügavusel ja Jõhvi II puuraugus 667–721 m sügavusel. Rauarikkamad kihid sisaldasid lahustuvat rauda 27–32%. Aastatel 1968–1969 puuriti süvakaardistamise käigus eelnevalt geofüüsikaliste uuringutega täpsustatud kolme anomaalia (Pühajõe, Voka, Oru)

piirkonnas 9 vertikaalset puurauku, millest 5 avasid ka magnetiitkvartsiite. Jõhvi rauamaak sisaldab 30–60% magnetiiti, milles on lahustuvat rauda 20–30% ehk teisisõnu – tegu on suhteliselt vaese rauamaagiga. Jõhvi maak on kõrge mangaanisaldusega (kuni 6%), teistest kasulikest elementidest on selles veel vaske, kroomi ja koobaltit. Maagi kvaliteeti alandab oluliselt kõrge väävlisisaldus. Tänapäevaste nõuete kohaselt ei ole Jõhvi rauamaak vähemalt esialgu tootmisväärne.

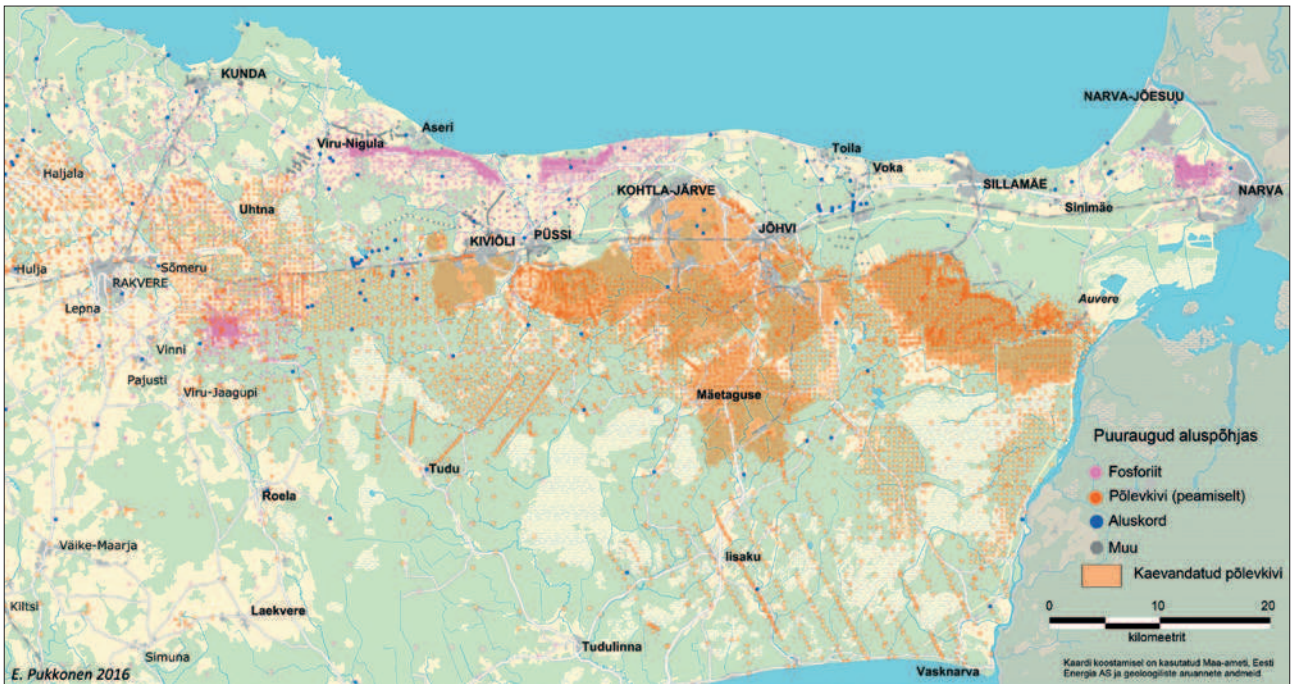
Kuna Jõhvi suure kallakusega lasuvaid rauamaagikihte on uuritud vaid vertikaalsete puuraukudega, siis puudub selge ülevaade maagikihtide tegelikust paksusest ja ruumilisest paiknemisest ning sellest tulenevalt ka varu suurusest ja kvaliteedist. Selle probleemi lahendamiseks ja võimalike täiendavate maagiilmingute uurimiseks oleks vaja uurimistöid Jõhvi anomaalia alal kindlasti jätkata.

Rootsis baseeruv rahvusvaheline ettevõtte Geoforum Skandinavia AB koostöös Eesti Geoloogiakeskus OÜ-ga esitasid 2009. aastal üldgeoloogilise uuringuloa taotluse Jõhvi magnetanomaalia täiendavaks uurimiseks. Geoforum Skandinavia põhitegevuseks on mineraalsete maavarade otsing ja uuring ning see kätkeb uuringuprojekte üldgeoloogilisest uuringust kuni avastatud maavaravarude kaevandamise projektideni välja.

Taotlus nägi ette ligi kahekümne kuni 850 m sügavuse puurangu rajamise kogumetraažiga kuni 17 000 jooksvat meetrit. Kavas oli läbida settekivimid ühe vertikaalse puurauguga, mis aluskorda jõudes oleks jagunenud mitmeks erineva kallakuse ja suunaga haruks. Puuraukude kallakust oleks kontrollitud ja muudetud inklinomeetrilise meetodi abil. Nii oleks saanud paremini määrata maagikeha lasuvuselemente ja suhteid ümbriskivimitega.

Eesti Keskkonnaministeerium lükkas aga selle taotluse tagasi põhjendusega, et projekt ei paku üldriiklikku huvi! Aga nüüd kümme aastat hiljem leiab Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, et on viimane aeg hakata Jõhvi anomaaliat uurima ja selleks oleks vaja rajada mõned suunatud juhtimisega puuraugud!

Häädemeeste puurauk nr 172 (sügavus 712,4 m), mis puuriti 1969. aastal geoloogilise kaardistamise käigus, on viies 700-st meetrist sügavam puurauk Eestis. Selle puurangu saavutuste hulka kuulub lisaks geoloogilise läbilõike kindlakstegemisele ka mineraalvee leidmine.



Sageli arvatakse, et geoloogid on Eesti maapõue juba ülemäära tihedalt läbi puurinud. Puurauke on tõesti rohkesti, kuid kahjuks ei paikne need üle Eesti ühtlaselt – enamik neist (üle 90%) on puuritud Põhja-Eesti idaossa – Põlevikivimaale. Kui Eesti baaskaardi Rakvere (6434) lehel, mis hõlmab 625 km² suuruse ala, on üle 2000 aluspõhjakiivimeid avava puurauku, siis Edela-Eestis Kanaküla (5341) lehe alale (pindala sama) ei jää ainsatki.

Virumaa geoloogilise kaardistamise ja maavarade otsingute-uuringute käigus puuritud puuraukude paiknemise skeem (E. Pukkonen 2016).

Suur osa geoloogilise kaardistamise ja maavarade otsingute-uuringute puursüdamikest on säilitatud edasiste geoloogiliste uuringute jaoks. Eesti Geoloogiakeskuse hoidlates on hoiul 25 660 puursüdamikukasti ja Tallinna Tehnikaülikooli Särghaua õppekeskuses Pärnumaal 5160 kasti.

Puursüdamikehoidla sisevaade TTÜ Särghaua õppekeskuses (www.sarghaua.info).



2. EESTI GEOLOOGILINE EHITUS

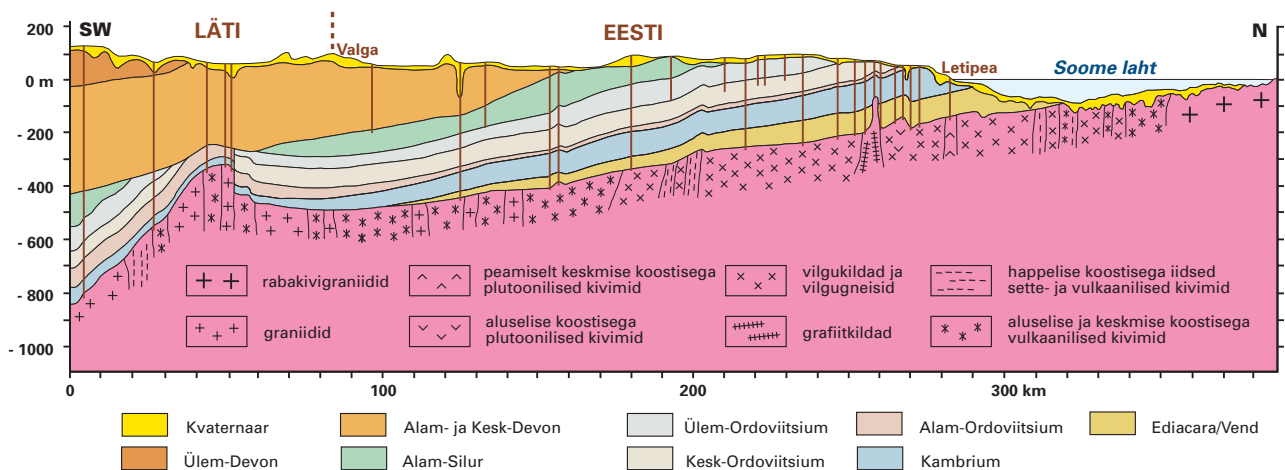
Eesti asetseb Ida-Euroopa platvormi loodeosas. Geoloogias on platvorm mandriiline ala, mis koosneb kahest erineva koostisega ja ehitusega osast. Platvormi alumise osa ehk aluskorra moodustavad varasemate deformatsioonide poolt kujundatud kristalsed magma- ja moondekivimid, ülemise osa ehk pealiskorra aga horisontaalsed või kerge kallakusega settekivimid ja neil lasuvad pudedad setted kuni maapinnani. Eesti aluspõhja moodustavad aluskord ja pealiskorra settekivimite korrus ilma neid katvate Kvaternaari ajastul moodustunud seteteta.

Eesti aluspõhja vanimad magma- ja moondekivimid on tekkinud ligi 1930 miljonit aastat tagasi (Paleoproterosoikumi eoon). Neid katavad kihtidena järjest hilisema tekkega kivimid, millest kõige nooremad on Kagu-Eestis esinevad Hilis-Devoni ajastikul (u 370 miljonit aastat tagasi) kujunenud settekivimid.

Aluspõhi on Eestis kaetud valdavalt Kvaternaari setetega, mille paksus varieerub kümnekonnast sentimeetrist loopealsetel (alvaritel) kuni 200 meetrini Haanja ja Otepää kuhjelistel saarkõrgustikel ning mitmetes vanades mattunud orgudes nii Põhja- kui

Tabel. Eesti aluspõhjakivimid ja pinnakattesetted

PINNAKATE	PEALISKORD	SETTED	LADESTU	Ladestu vanus (mln aastat)	Ladestu max teadaolev paksus	Iseloomulikud setted ja kivimid
			KVATERNAAR	0 – 0,126	210	
ALUSPÕHI	SETTEKIVIMID	DEVON	375 – 416	450	liivakivi, aleuoliit	
		SILUR	416 – 443	455	lubjakivi, dolokivi, mergel	
		ORDOVIITSIUM	443 – 488	180	lubjakivi, dolokivi, mergel	
		KAMBRIUM	488 – 542	150	savi, liivakivi, aleuoliit	
		EDIACARA	542 – 630	120	liivakivi, aleuoliit, savi	
	ALUSKORD	MAGMAKIVIMID MOONDEKIVIMID	KALYMA STATHER OROSIR	1540 – 1930	450+	rabakivigraniit, plagioklassporfüriit, kvartsporfüür, gneiss, migmatiit, amfiboliit, kvartsiid



Eesti geoloogiline läbilõige (Puura ja Vaher 1997 järgi).

Lõuna-Eestis. Setete paksuse rekordit (207 m) hoiab enda käes Abja ürgorg. Et saada teavet aluspõhja ehituse kohta ja sealt maavaru otsida, ilma puurimata kuidagi läbi ei saa. Muidugi, aluspõhja paljandeid on

ka Põhja-Eesti klindi ja jõeorgude kallastele, kuid lõvi-osa Eesti aluspõhja geoloogilise ehituse kohta käivast teabest pärineb siiski puuraukudest.

GEOLOOGILISE LÄBILÕIKE LIIGESTAMISEST

Kivimite või setete liigestamisel kasutatakse taustsüsteemina globaalse või regionaalse tähtsusega krono-, lito- ja biostratigraafilisi skeeme. Nende koostamisel on lähtunud stratigraafiast (geoloogia haru), mis selgitab maakoort moodustavate kivimite ja setete kihtide suhtelist vanust, tekkimise järjestikkust ning ruumilist levikut.

Kronostratigraafia üksused alates suuremast on **ladem**, **ladekond**, **ladestu**, **ladestik**, **lade** ja **alamlade**. Nende geokronoloogilise skaala vasted on vastavalt eoon, aegkond, ajastu, ajastik, iga ja alamiga. Kronostratigraafilise skaala tähtsaimaks piirkondlikuks üksuseks on lade.

Kohaliku litostratigraafia põhiüksuseks on **kihistu**, mis hõlmab kivimiliselt ühetaolise vaheldumisega või ühtlase koostisega kompleksi. Kihistu alajaotuseks on ühetaoliste tunnustega **kihistik**. Biostratigraafia üksusi (biotsoonid) piiritletakse üksnes kivististe leidude andmete alusel.

Stratigraafilised skeemid on pidevas muutumises. Nende täiendamiseks vajalikke teadmisi saadakse enamasti geoloogilise kaardistamise käigus. Eriaegsetes geoloogilistes aruannetes toodud stratigraafiliste andmete tõlgendamisel tuleks pöörduda abi saamiseks pädeva geoloog-kaardistaja poole. Eestis kasutusel olevatest skeemidest annab ülevaate Eesti Stratigraafia Komisjoni koduleht.

ALUSKORD

Orosiri, Statheri ja Kalymma ladestu

Kristalne aluskord on see kindel Ida-Euroopa platvormi maakoore osa, millel Eesti seisab. Eesti kristalsetest magma- ja moondekivimitest koosneva aluskorra ülemine pind on laugelt lõuna suunas kalutatud. Aluskorra pealispind ei ole ühtlaselt sile, vaid kogu selle ulatuses esinevad suuremad või väiksemad lokaalsed tõusud ja langused, mis on tingitud kulutusest, murenemisest ja tektoonilistest liikumistest. Eesti kristalse aluskorra sügavus maapinnast kõigub umbes 100 meetrist riigi põhjaosas kuni 500–780 meetrini ala lõunaosas. Eesti kristalse aluskorra kivimitele sarnased kivimid avanevad maapinnal Lõuna-Soomes Fennoskandia kilbil.

Kontinentaalset tüüpi maakoore praegusel Eesti alal hakkas kujunema umbes 1,9 miljardi aasta eest Paleoproterosoikumis. Need kurrutatud kivimid on kujunenud süvamoonde (regionaalse metamorfismi) tingimustes 20–30 km sügavusel (temperatuur 600–700 °C, rõhk 5–10 kbar). Süvamoonde käigus sai kvartsiivakivist kvartsiit, lubjakivist marmor, dolomiidist amfiboliit või pürokseengneiss, arkoosliivakivist gneissgraniit, savikivist granaat-vilgugneiss, basaldist amfiboliit jne.

Kivimite ülessulamise piiri lähedastes tingimustes on tekkinud migmatiidid ja varigraniidid.

Moondekivimite lasund suruti kurdudesse ja kerkis mandrilaamade kokkupõrkest põhjustatud külgsurve tagajärjel. 1,54–1,67 miljardi aasta eest kujunesid aluskorras Eesti ala suuremad (Riia, Märjamaa, Naissaare) ja väiksemad (Neeme, Ereda jt) rabakivimassiivid. Rabakivimassiivide äärealadel tungisid maapinnale laavavoolud (Undva kvartsporfüür ja porfüriit, Suursaare kvartsporfüür, labradorporfüriit jt).

Moondeastme järgi on Eesti aluskorra kivimid jaotatud kaheks suureks kivimkompleksiks – Põhja-Eesti amfiboliitseks ja Lõuna-Eesti granuliitseks kompleksiks, mida eraldab teineteisest Paldiski–Pihkva süvamurrangute tsoon. Kivimite koostise alusel on need omakorda jagatud veel kuueks vööndiks: Tallinna, Alutaguse, Lõuna-Eesti, Lääne-Eesti, Tapa ja Jõhvi. Nii on Tallinna vööndile omane erineva koostisega gneisside esinemine, Alutaguse vööndit iseloomustab algselt setteliste alumogneisside (alumiiniumirikkaid mineraale kordieriiti, sillimaniiti, granaate jt sisaldavad vilgugneissid) laialdane levik. Lääne-Eesti alus-

korra põhiliseks kivimitüübiks on amfiboliidid ja erinevad gneisid, Tapa vööndis on valdavaks pürokseeni ja amfibooli sisaldavad gneisid ning amfiboliidid. Jõhvi vöönd koosneb eelnevaga sarnastest gneissidest, millele lisanduvad granaat-kordieriitgneisid ja magnetiitkvartsiidid.

Kui maakoore paksus ookeanipõhjas on keskmiselt 8 km ja kontinentide all 38 km, siis Eestis on see 45–50 km ehk veidi enam kui kontinentide all keskmiselt. Aluskorra pind jääb Eestis maapinnast 100 m (Juminda poolsaare tipus) kuni 780 m (Ruhnu saarel) sügavusele. Hiiumaal Kärddla meteoriidikraatri ringvallil ja Neugrundi meteoriidikraatri ringvallil merepõhjas on kristalsed kivimid kerkinud kuni 15 meetrini maavõi merepinnast.

Aluskorra kivimite ülemine osa on mõne kuni kümnekonna meetri ulatuses murenenud, mille tagajärjel on moodustunud nn murenemiskoorik. Tektooniliste rikete ja vilgurikaste gneisside levialal on murenemiskoorik paksem, monoliitsemate kvartsi- ja päevakivirikaste

kivimite levialal aga väiksem. Kohati võib murenenud kivimite paksus küündida 50 meetrini ja enamagi.

Murenemise intensiivsuse järgi eristatakse kolme murenemiskooriku astet: I aste (nõrgalt murenenud kivimid) – kivimit moodustavatest mineraalidest on vaid tumedad mineraalid ja plagioklassid osaliselt murenenud; II aste (keskmiselt murenenud kivimid) – enamik kivimit moodustavatest mineraalidest peale kvartsi ja K-päevakivi on asendunud savimineraalidega, kuid primaarsed tekstuurid on veel jälgitavad; III aste (tugevasti murenenud kivimid) – kõik kivimit moodustavad mineraalid peale kvartsi on asendunud sekundaarsete mineraalidega (savimineraalidega) ja kivimi primaarsed tekstuurid ei ole enam jälgitavad.

Pärast ligi 1,3 miljardi aasta pikkust kulutusperioodi ehk umbes 600 miljoni aasta eest, kui kõik mäed olid maatas kulutatud, jõudis meri jälle Eesti alale ning kujunema hakkas settekivimitest pealiskord. Settekivimitest katte paksus on sajakonnast meetrist Põhja-Eestis kuni ligi 800 meetrini Eesti edelaosas (780 m Ruhnu puuraugus).

PEALISKORD

Ediacara ladestu/ajastu

Ediacara ajastu (varasem nimetus Vend) kivimid kujunesid 630–541 miljonit aastat tagasi. Mitmete asjaolude tõttu ei ole põhiliselt nõukogude teadlaste poolt väljapakutud nimi „Vend“ kunagi ülemaailmset tunnustust leidnud. Vendid olid germaanlaste lääneslaavlastest naaberrahvas, kes elas Visla ääres ja sellest ida pool. Ediacara nimi tuleb aga samanimelistelt mägedelt Lõuna-Austraalias, kus selle ajastu faunat on rohkesti leitud.

Ediacara kivimid Eestis ei paljandu ja neid on võimalik näha ja uurida üksnes puursüdamikes. Ladestu paksus väheneb 120 meetrilt Narva ümbruses väljakiildumiseni Hiiumaa–Vändra–Võru joonest edela pool.

Ediacara ajastul asus Eesti ala koos teda kandva Baltika mandrilaamaga üsna üksi kaugel lõunapoolkeral lapetuse ookeani äärealal kusagil tänapäevase Antarktika kandis. Mitme kilomeetri kõrgused Svekofennia mäed olid selleks ajaks juba enamasti maha kulutatud ja terahaaval jõgedega merre kantud. Ediacara ajastu alguseks jõudis meri ka Eesti alale. Ediacara kirjuvärvilised purdkivimid (liivakivi, aleuroliit ja

savi) settisid arvatavasti jahedas piiratud ühendusega magedestunud madalmeres otse aluskorra pealispinnal kujunenud murenemiskoorikule.

Eestis kuuluvad kõik Ediacara ladestu kivimid **Kotlini lademesse**, mis on jaotatud kolmeks eriilmeliseks kihistuks (alt üles): Gdovi, Kotlini ja Voronka. Kihistute nimed pärinevad Venemaalt, sest Leningradi oblasti lääneosas asuvad nende kihistute tüüpjalandid.

Gdovi kihistule (paksus kuni 60 m), mis hõlmab Kotlini lademe alaosa, on iseloomulikud eriteralised nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud punakad või kirjuvärvilised savi-, liiva- ja kruusakivimid.

Kotlini kihistu (paksus kuni 50 m) hõlmab Eesti kirdeosas Kotlini lademe keskosa ja on esindatud valdavalt rohekashallide õhukesekihiliste aleuriitsete savidega, nn laminariitsavidega. Laminariitsavi on nime saanud vetikate elutegevuse jälgedeks peetavatelt sideriitsetelt kiledelt (ehk nn laminariitsetelt kiledelt) kihipindadel. Need on Eesti ala vanimad teadaolevad elutegevuse jäljed.

Voronka kihistu (paksus kuni 40 m) hõlmab Kotlini lademe ülaosa. Voronka kihistu alumises osas on kirjuvärviliste savide ja aleuroliitide kompleks, ülemise poole kivimiks on aga helehall nõrgalt tsementeerunud kvartsliaakivi.

Kroodi kihistu (paksus kuni 60 m) levib Jägala jõest lääne pool. Selles piirkonnas kuuluvadki kõik Ediacara ladestu kivimid Kroodi kihistusse, sest Kotlini kihistu on siin välja kiildunud ning nõrgalt tsementeerunud peeneteraliste liivakividega esindatud Gdovi ja Voronka kihistut ei ole puuraukudes võimalik enam teineteisest eristada. Kroodi kihistu liivakividest puur-

südamiku saamine on tõsine väljakutse igale puurmeistrile, kuid kaasaegseid puurmeetodeid kasutades on ilmselt seegi võimalik. Kahjuks puuduvad Eestis ja ka lähikonnas selleks vajalikud oskused ja ka instrumendid. Kroodi kihistu nõrgalt tsementeerunud liivakividest puursüdamiku saamise probleem on eriti aktuaalseks muutunud nüüd, kus tehakse ettevalmistusi geoloogiliste uuringute alustamiseks Tallinna–Helsingi tunneli trassil. Puurimise, eriti puursüdamikuga puurimise, seisukohalt on Ediacara kihistu tõsiseks väljakutseks igale puurmeistrile.

Kambriumi ladestu/ajastu

Kambriumi ajastu kestis 541–485 miljonit aastat tagasi. Kambriumi kivimid (liivakivid, aleuroliidid, savid jm) avanevad kitsa ribana Põhja-Eesti klindi jalamil ja klindiesisel alal. Lõuna pool jäävad Kambriumi kivimid sügavamale ning Ruhnu saarel on need juba 750 meetri sügavusel. Kambriumi kivimid on Eestis

esindatud vaid liiva- ja savikivimitega ning need on vanimad Eestis paljanduvad kivimid.

Kambriumi-eelse enam kui 2 miljardi aastaga oli elu jõudnud vaid lihtsa ehitusega ainuraksete ning suhteliselt väikeste toese ja skeletita organismideni. Ediacara eal toimus meres mõningane elavnemine ja veekogu-

Kambriumi stratigraafiline skeem (Maa-amet 2015 järgi)

LADESTU	LADESTIK	LADE	KIHISTU		
			Lääne-Eesti	Põhja-Eesti	Kagu-Eesti
KAMBRIUM	ÜLEM-KAMBRIUM (FURONG)		Ülgase, Tsitre ja Kallavere (Ca ₃ ül-O ₁ kl)		
				Petseri (Ca ₃ pt)	
	KESK-KAMBRIUM	Paneriai		Paala (Ca ₂ pl)	
		Deimena	Ruhnu (Ca ₂ rh)		
		Kybartai			
	ALAM-KAMBRIUM	Rausve			
		Vergale	Irbeni (Ca ₁ ir)	Vaki (Ca ₁ vk)	
		Ljuboml'	Soela (Ca ₁ sl)		
		Dominopol		Tiskre (Ca ₁ ts)	
				Lükati (Ca ₁ lk)	
			Sõru (Ca ₁ sr)		
		Lontova	Voosi (Ca ₁ vs)	Lontova (Ca ₁ ln)	
		Rovno			



desse ilmus suur hulk imelise väljanägemisega pehmekehalisi hulkrakseid organisme. Aga tõeline Kambriumi „plahvatus“ vallandus umbes 540 miljoni aasta eest, kui elu areng Maal järsult kiirenes. Kõik see, mis seni oli olnud lihtne ja väike, muutus geoloogilises mõttes lühikese aja jooksul (kümnekonna miljoni aastaga) keerukamaks ja suuremaks. Kõigele lisaks ilmus organismidele toes – oli selleks siis kaitsev koda või tugev skelett. Seda Maa ajaloo murrangulist perioodi on hakatudki nimetama Kambriumi evolutsiooniliseks plahvatuseks. Tollal pandi alus enamikele tänapäeval Maad asustavate organismide hõimkondadele.

Kambriumi meri, mis tõi endaga kaasa terrigeensed setted (liivad, aleuriidid, savid) jõudis Eesti alale läänekaarest.

Kambriumi ladestu liigestatakse Alam-, Kesk- ja Ülem-Kambriumi ladestikuks. Kõigi nende ladestike kivimid on Eestis olemas, kuigi erineva leviku ja paksusega. Kõige ulatuslikum on Alam-Kambriumi alumiste kihide ehk sinisavi levik, mis haarab kogu Eesti territooriumi, välja arvatud Saaremaa. Sellele klassikalisele sinisaviladestile on antud **Lontova lademe/kihistu** nimi. Kuni 85 m paksuse sinisaviladestiku kujunemise aega jääb ka Kambriumi evolutsioonilise plahvatus

Tiskre kihistu liivakivid ja aleuroliidid Rannamõisa pankrannikul. Foto: K. Suuroja.



kõrgaeg. Sinisaviladestit võib õigustatult lugeda maailma vanimaks saviladestikuks, sest kõik ülejäänud nii vanad savid maailmas on savikiviks muutunud. Eestis ja ka Leningradi oblastis levib sinisavi on aga säilitanud savi omadused, s.t et märjaks saades muutub plastseks ja voolitavaks.

Lääne poole liikudes muutub sinisaviladest aina liivakamaks ja Märjamaa–Pärnu joonest lääne pool asendub Lontova kihistu 10–60 m paksuse valdavalt liivakividest koosneva **Voosi kihistuga**.

Alam-Kambriumi läbilõike ülemine pool kuulub **Dominopoli lademesse**. Lade jaguneb Sõru, Lükati ja Tiskre kihistuks.

Sõru kihistu Dominopoli lademe alaosas levib vaid Lääne-Eestis ja saartel. Savikad aleuroliidid ja liivakivid, milles kohati kruusapindu, lasuvad sügaval ja tulevad välja vaid puurimisel.

Lükati kihistu kivimid lasuvad Põhja-Eestis Lontova kihistu sinisavil. Kihistus vahelduvad rohekashallid savid aleuroliitidega. Lontova ja Lükati kihistu savid on visuaalselt raske eristada ja nii nimetataksegi neid koos sinisaviks. See arusaam on juurdunud veel seetõttu, et mitmes karjääris on toodetud savi mõlemast kihistust. Paleontoloogiliselt on aga piir kihistute vahel küllalt selge.

Tiskre kihistu on 15–20 m paksune ühtlaseilmeliste valgete aleuroliitide ja peeneteraliste liivakivide kompleks üksikute õhukeste rohekashalli savi vahekihtidega. Tiskre kihistu liivakivi kivistisi peaaegu ei sisalda. Vaid kihistu alumisel piiril on sageli mõne sentimeetri paksune nn *Mickwitzia*-konglomeraadi kiht, mis koosneb fosfaatsetest aleuriidiveeristest ja käsijalgse *Mickwitzia* fosfaatsest materjalist kodade fragmentidest. See on sisuliselt meie läbilõike esimene karpfosforiidi ilming.

Tiskre liivakividest nooremad liivakivid ning aleuroliidid levivad laiguti Lääne-Eestis, kus need moodustavad **Soela kihistu**, aleuroliidid ja savid kuuluvad aga **Irbeni kihistusse**. Eesti lõunaosas, kus Soela ja Irbeni kihistud pole enam eristatavad, vastab neile **Vaki kihistu** (liivakivid, aleuroliidid).

Kesk-Kambriumis on arvatud Kagu-Eestis leviv eriteraliste liivakividega esindatud mõnekümne meetri paksune **Paala kihistu**. Lääne-Eesti kuni 40 meetri paksused liivakivid kuuluvad **Ruhnu kihistusse**.

Ülem-Kambriumi setendid levivad Eestis kolme isoleeritud laiguna. Lääne-Eestis esinevad ainult **Kalla-**

vere kihistu kvartslivad. Põhja-Eestis, vahetult klindist lõuna poole jääval alal moodustavad (alt üles) **Ülgase**, **Tsitre** ja **Kallavere** kihistu alumise osa peeneteralised kvartslivad kuni kümnekonna meetri paksuse lasundi. Kagu-Eestis kuulub aga umbes 10 meetri paksune liivakivide lasund **Petseri kihistusse**.

Kambriumi nõrgalt tsementeerunud liivakivid ja aleuroliidid lasuvad enamasti sügaval ja puursüdamikü väljatulek neist intervallidest on reeglipäraselt enam kui tagasihoidlik. Seetõttu jäävad paljuski ebamääraseks ka Kambriumi litostratigraafiliste üksuste ajalised ja omavahelised suhted. Kui sinisavi puurimine ja sellest südamikü kättesaamine, seda eriti laia lõiketeraga kroonidega, ei ole vilunud puurmeistrile probleemiks, siis nõrgalt tsementeerunud liivakivid-aleuroliidid on tõsiseks väljakutseks igale puurmeistrile.

Kambriumi ladestu tähtsuseks on eelkõige selle savid, mida kasutatakse telliste, dreanaažitorude ja tsemendi tootmiseks. Lontova veepidemel asuvast Ordoviitsiumi–Kambriumi põhjaveekihist ammutatakse kvaliteetset põhjavett ning Häädemeestes ja Värskas ka mineraalvett. Tiskre kihistu liivakivi kasutamise klaasitööstuses teeb võimatuks hajusa püriidi sisaldus.

Ordoviitsiumi ladestu/ajastu

Ordoviitsiumi (485–444 miljonit aastat tagasi) ajastu kivimite leviala hõlmab suurema osa Eestist välja arvatud Mõniste kerke pealne ja klindiesine ala. Ordoviitsiumi avamusala Narva ja Hiiumaa lääneranniku vahemiku enam kui 300 km pikkuses ja kuni 50 km laisuses vööndis katab üle 30% Eesti territooriumist. Ordoviitsiumi nimi tuleneb Briti saartel elanud keldi hõimu ladinakeelsest nimest *ordovices*. Ordoviitsiumi ajastule, mis kuulub Paleosoikumi aegkonda, eelneb Kambriumi ja järgneb Siluri ajastu. Kuni 1879. aastani käsitleti Ordoviitsiumit Siluri ladestu osana.

Ordoviitsiumi ajastul jätkus Kambriumis alguse saanud Kaledoonia kurrutus, mille käigus kerkisid ka Kaledoonia mäed. Aktiivse vulkanismiga paistis tolal silma Skandinaavia mäestiku läänenõlv. Eesti ala kandev Baltika mandrilaam oli Ordoviitsiumis lõunapoolkera keskmistel ja madalatel laiustel. Ordoviitsiumi kivimid, eriti lubjakivid, sisaldavad rohkelt kivistisi: koralle, käsijalgseid, trilobiite, limuseid, sammalloomi jt.

Ordoviitsiumi ladestu, mille paksus Kesk-Eestis küünib kuni 200 meetrini, on esindatud valdavalt karbonaatkivimitega (lubjakivid, dolomiidid, merglid) ja üksnes ladestu allosas esineb omapäraseid liivakive (glaukonitliivakivi, oobolusliivakivi) ning savikivimeid (graptoliitargilliit või diktüoneema- või maarjaskilt Pakerordi lademes ja bentoniitsavi Varangu lademes).

Enamik Ordoviitsiumi paljandeid on seotud Põhja-Eesti klindiga, mistõttu Balti klindi seda osa kutsutakse mõnikord ka Ordoviitsiumi astanguks. Ordoviitsiumi ajastus eristatakse kolme ajastikku – Vara-, Kesk- ja Hilis-Ordoviitsium ja neile vastavat kolme ladestikku – Alam-, Kesk- ja Ülem-Ordoviitsium. Eestis on kogu Ordoviitsium jagatud 18 lademeks ja enam kui 50 kihistuks.

Ordoviitsiumi regionaalsete lademetega mitmed stratotüübid (tüüppaljandid) asuvad Eestis ja lademetega väljaeraldajaks või neile nime andjaks on olnud baltisaklasest geoloog Friedrich Schmidt (1832–



Pakri neemel paljanduvad Alam- ja Ülem-Kambriumi (alumine osa) ning Alam- ja Kesk-Ordoviitsiumi (keskmine ja ülemine osa) kivimid. Foto: K. Suuroja.

Siluri ladestu/ajastu

Siluri ajastu (444–419 miljonit aastat tagasi), millele eelnes Ordoviitsiumi ja järgnes Devoni ajastu, kuulub Paleosoikumide aegkonda. Ligi 30% Eesti territooriumist hõlmav Siluri ladestu avamusala kulgeb umbes 200 km pikkuse ja kuni 50 km laiuse vööndina üle Mandri-Eesti keskosa kuni Saaremaa ja Hiiumaa läänerannikuni välja. Siluri kivimite põhilised paljandid on seotud Siluri ehk Saaremaa–Lääne-Eesti klintiga, mis kulgeb üle Saare- ja Muhumaa põhjaranniku Lääne-Eesti mandriossa.

Silurit nimetati esialgu Gotlandi saare järgi Gotlandiumiks. Siluri nimi tuleneb muistse Walesi elanikelt siluritelt.

Ordoviitsiumi ja Siluri ajastu piiril suri välja 60% meres elanud selgrootute liikidest. Siluris kattis enamikku lõunapoolkera ja osaliselt ka ekvaatorit hiidmanner Gondwana, mis jätkas aeglast triivi põhja poole. Põhjapoolkeral paiknes aga ulatuslik Panthalassa ookean. Ekvaatori ligidal pörkasid kokku Baltika ja Laurentia mandrilaam, mis sulges lapetuse ookeani põhjaosa. Seda kokkupõrget nimetatakse Kaledoo-

nia orogeneesiks (mäetekkeks), mille käigus tekkis ka Skandinaavia mäestik.

Kõrge merevee tase ja üksikute kõrgemate tippudega suhteliselt madal maismaa soodustasid arvukate saarestike teket, mille ümbruses kujunesid omapäraseid ökosüsteeme (korallrifid).

Siluris toimus mitu olulist evolutsioonilist edasiminekut – soojadesse korallirikastesse meredesse ilmusid esimesed luukalad ja maismaale esimesed sõnajala laadsed taimed. Madalaveelistest laguunidest ronisid maismaad uudistama esimesed skorpionilaadsed ürgvähilised.

Eestis koosneb Siluri ladestu täielikult karbonaatsetest kivimitest (lubja- ja dolokividest ning merglitest), kusjuures ladestu maksimaalne paksus (455 m) on registreeritud Ruhnu puuraugus. Silur on kõige tüsedam ladestu Eestis.

Silur jaguneb Eestis neljaks ladestikuks/ajastikuks: Llandovery, Wenlocki, Ludlow ja Pridoli. Nende piires on välja eraldatud kümme ladet. Llandovery ladestik,

LADESTU	LADESTIK	LADE	KIHISTU			
			Kesk- ja Lääne-Eesti	Lääne-Eesti saared	Lõuna-Eesti ja Sõrve poolsaar	
SILUR	PRIDOLI	Ohesaare			Ohesaare (S_{4oh})	
		Kaugatuma			Kaugatuma Lõo kihid (S_{4kgL})	
	LUDLOW	Kuressaare	Kaugatuma Äigu kihid ($S_{4kgÄ}$)			
		Paadla	Kihnu (S_{3kh})	Paadla (S_{3pd})	Torgu (S_{3tr})	
	WENLOCK	Rootsiküla	Sakla (S_{2sk})	Rootsiküla (S_{2rt})		
		Jaagarahu				Sõrve (S_{2sr})
			Muhu (S_{2mh})	Jaagarahu (S_{2jg})	Riksu (S_{2rk})	Jamaja (S_{2jm})
	Jaani	Jaani (S_{2jn})			Riia (S_{2rg})	
	LLANDOVERY	Adavere	Velise (S_{1vl})			
			Rumba (S_{1vr})			
		Raikküla	Hilliste (S_{1hl})	Ülem-Raikküla (S_{1rk_2})		Saarde (S_{1sr})
				Alam-Raikküla (S_{1rk_1})	Nurmekunna (S_{1nr})	
		Juuru	Tamsalu (S_{1tm})			Õhne ($S_{1õh}$)
	Varbola (S_{1vr})					

Siluri stratigraafiline skeem (Maa-amet 2015 järgi)

mis on pindalaliselt suurima levikuga Siluri ladestik Eestis, on nime saanud samanimeliselt linnalt Walesis. Ladestikku kuuluvad (alt üles) Juuru, Raikküla ja Adavere lade ning Jaani lademe alumine osa.

Wenlocki ladestik on nime saanud Inglismaal Wenlock Edge's asuva tüüppaljandi järgi. Wenlocki ladestikku kuuluvad Jaani lademe ülemine osa ning Jaagarahu ja Rootsiküla lade, mis kõik levivad Lääne- ja Edela-Eestis ning Lääne-Eesti saartel.

Jaani lademe kivimid Suuriku pangal Saaremaa põhjarannikul.



Ludlow ladestikku kuuluvad Paadla ja Kuressaare (alumine osa) lade. Need kivimid levivad vaid Lõuna-Saaremaal. Ludlow ladestik on nime saanud Inglismaal asuva Ludlow linnalt.

Pridoli ladestik, milles on eristatud Kuressaare lademe ülemist osa ning Ohesaare ja Kaugatuma ladet, levib samuti vaid Lõuna-Saaremaal. Nime on ladestik saanud Tšehhis Homolka ja Pridoli rahvuspargis asuva tüüppaljandi järgi.

Siluri kivimite puurimine puursüdamiku tõstmisega on sarnane Ordoviitsiumi kivimite puurimisega. Lubja- ja dolokivide väljatulek on enamasti väga hea, kuid savikate vahekihtidega komplekside puurimine nõuab tähelepanu. Ka siin on probleemiks dolomiidistumisel urbseks muutunud ja tektooniliste liikumiste tagajärjel purustatud kivimite väljatuleku tagamine.

Devoni ladestu/ajastu

Devoni ajastu (419–372 miljonit aastat tagasi) punavärvilisi kivimeid on inglise geoloogide eeskujul kutsunud „vanaks punaseks liivakiviks“ (ingl *Old Red Sandstone*). Ajastule on nimi antud Edela-Inglismaal asuva Devoni krahvkonna järgi.

Devoni ajastul asus Eesti ekvaatori kuuma päikese all Laurussia hiidmandri rüpes, kus süütsi koos olid Põhja-Ameerika, Gröönimaa, Teravmägede, Inglismaa ja Baltika mandrilaamad. Laguneva mandri arvukates järvedes ja merelahtedes õppisid ujumist kohmakavõitu rüükalad. Sellest ka veel üks Devoni

ajastu nimi – Kalade ajastu. Ajastu keskpaiku hakkasid selgroogsete ettevõtlikumad isendid elu ja olude sunnil maismaa poole roomama ja õhuhapnikku hingama. Siit leidsid oma kodu nii nelja- kui kahejalgsed ja tühjal ning kõledal maismaal hakkasid juurduma esimesed taimed. Devoni ajastul sai alguse maismaa tormiline asustamine taimestikuga.

Devoni ladestu avamus, mis on esindatud põhiliselt terrigeensete kivimitega (liivakivide, aleuroliitide, savidega), hõlmab ligi 40% Eesti territooriumi lõunapoolsest osast. Devoni ladestu jaguneb Eestis kolmeks ladestikuks: Alam-, Kesk- ja Ülem-Devoniks. Devoni paksus võib Kagu-Eestis ulatuda 500 meetrini, kusjuures ligi 350 meetrit sellest langeb Kesk-Devoni arvele.

Alam-Devonisse kuulub kolm ladet/kihistut: Tilže, Kemer ja Rezekne. Need enamasti liivakividega esindatud lademed Eestis ei paljandu ja neid võib näha üksnes puursüdamikes.

Kesk-Devoni kivimid jagunevad Eestis kuue lademe – Pärnu, Narva, Aruküla, Burtnieki, Gauja ja Amata – vahel. Pärnu, Aruküla, Burtnieki, Gauja ja Amata lademega samas mahus on välja eraldatud ka samanimelised kihistud. Narva lade koosneb (alt üles) Vadja, Leivu ja Kernave kihistust. Valdav osa Devoni avamusalast Eestis langebki Kesk-Devoni liivakivide arvele, vähemal määral on ka domeriite ja aleuroliite.

Ülem-Devoni ladestik levib üksnes Eesti kaguosas. Ladestikus eristatakse kolme ladet: Plavinase, Dubniki ja Daugava. Ülem-Devoni kivimite seas on valdavaks karbonaatkivimid –

Devoni stratigraafiline skeem (Maa-amet 2015 järgi)

LADESTU	LADESTIK	LADE	KIHISTU
DEVON	ÜLEM-DEVON	Daugava	Daugava (D_3dg)
		Dubniki	Dubniki (D_3db)
		Plavinase	Snetnaja Gora, Pskovi ja Tšudovo (D_3sn-ts)
	KESK-DEVON	Amata	Amata (D_2am)
		Gauja	Gauja (D_2gj)
		Burtnieki	Burtnieki (D_2br)
		Aruküla	Aruküla (D_2ar)
		Narva	Kernave (D_2kr) Vadja-Leivu (D_2vd-lv)
		Pärnu	Pärnu (D_2pr)
		Rezekne	Lemsi/Mehikoorma (D_1lm/mh)
	ALAM-DEVON	Kemer	Tilže-Kemer (D_1tz-km)
		Tilže	



Gauja lademe liivakivid Piusa jõe kaldal Härma (Keldri) müüri paljandis. Foto: M. Veisson.

dolokivid, lubjakivid, merglid, domeriidid. Vahekihtidena esineb savi ja kipsi.

Ka jutt Devoni liivakivide punasest värvist vajab Eesti puhul revideerimist, sest enamasti on need kas kollakas-, beežikas-, roosakas- või valkjashallid ning vaid harva (Kallastel Peipsi ääres, Tartus Emajõe kaldal, Tammel Võrtsjärve kaldal, mitmel pool Viljandimaal) eri värvitoonides punased.

Rahvasuus kutsutakse Devoni liivakivipaljandeid kas müürideks, müürimägedeks, mägedeks, paedeks, aga ka taevaskodadeks ja põrguteks. Suurejoonelised liivakivimüürid palistavad Ahja, Võhandu ja Piusa jõe kaldaid. Märkimisväärseid paljandeid leidub ka Emajõe, Pärnu, Halliste, Raudna, Peetri, Öhne ning veel teistegi Lõuna-Eesti jõgede ja ojade kallastel, Peipsi

ning Võrtsjärve ääres, Viljandi ja Karksi lossimägedes ning veel paljudes kaunites kohtades.

Devoni ladestu maavaradest on tähtsamad Piusa klaasiliiv (Gauja lade), Joosu ja Küllatova raskulav savi (Burtnieki lade), kuid ühtki neist käesoleval ajal ei kaevandata. See-eest kaevandatakse aga Ülem-Devoni Plavinase lademe paekivi Marinova maardlas ja peetakse plaane ka Naha, Kalkahju ja Tiirhanna paemaardla kasutusele võtuks.

Puursüdamiku väljatulek Devoni nõrgalt tsementeerunud liivakividest ja aleuroliitidest on reeglipäraselt tagasihoidlik. Seetõttu puudub seni hea ülevaade muutustest litostratigraafilistel piiridel ja mitmete kihikomplekside tegelikest paksustest. Puurimisel esinevate puuduste leevendamiseks kasutatakse geoloogilise läbilõike täpsustamiseks sageli täiendavalt puuraugu geofüüsikalisi uuringuid.

Kvaternaari ladestu/ajastu

Eesti alal ei ole säilinud kivimeid ligi 370 miljoni aasta pikkuse perioodi kohta. Tõenäoliselt valitsesid siin sel ajal maismaalised tingimused, kus settimisprotsesside asemel kujundasid maapinda ulatuslikud kulutusprotsessid. Nii katavadki erineva vanusega aluspõhjakeivimeid Eestis suure ajalise lüngaga Kvaternaari ajastu setted.

Kvaternaari ajastu pinnakattesetete valdav osa kujunes Pleistotseeni ajastiku mandrijäätumise jääaegadel, vähesel määral jäävaheaegadel. Kvaternaari ajastu noorema, Holotseeni ajastiku kestel moodustusid kohati merelise ja kontinentaalse tekkega setete kompleksid.

Kvaternaari setete paksus on väikseim (kuni 5 m) Põhja-Eesti lavamaal ja Saaremaal, kus need loopealsetel (alvaritel) enamasti puuduvad. Setete paksus on väike (10–15 m) ka Lääne- ja Lõuna-Eesti tasandikel. Paksud (50–200 m) setted on iseloomulikud Põhja-Eesti klindieelsele madalikule, Saadjärve voorestikule, mandrijää servamoodustiste piirkondadele, eriti aga Kagu-Eesti kõrgustikele ja mattunud orgudele. Suurim setete paksus (207 m) on puurimisega kindlaks tehtud mattunud orus Kilingi-Nõmmelt 6 km lõuna pool.

Läänemere akvatooriumi (püsivalt veega kaetud ala) põhjaosas on Kvaternaari setete paksus tavaliselt 10–20 m. Väiksemad paksused on iseloomulikud astangute ja aluspõhjalise tuumikuga jäänuksaarte (Ruhnu, Osmussaar) ümbrusele. Osmussaarest lääne pool meres jälgitav klint on praktiliselt katteta. Suurimad paksused on nõgudes (Liivi ja Soome lahes 30–50 m) ning liustiku poolt voolitud voorjatel saartel (Prangli kuni 123 m).

Pleistotseeni ehk jääaja setteks on moreen. Moreen koosneb savist, aleuriidist, liivast, kruusast, veeristest ja rahnudest ehk igasuguses suuruses sorteerimata purdmaterjalist, mida liustik liikumisel kaasa haaras ja mis hiljem liustiku sulamisel maha jäi. Moreeni koostis sõltub pinnast, mille liustik liikus. Nii katab Põhja- ja Lääne-Eesti Ordoviitsiumi ning Siluri karbonaatkivimeid õhuke hall (Kirde-Eestis pruunikas) moreen. Põhja-Eestis, eriti paekaldaesisel alal esineb hulgaliselt mitmesuguses suuruses tard- ja moondekivimitest rahne, mis on Soomest või Soome lahe põhjast liustikuga siia kantud. Lõuna-Eestis Devoni liivakivide ja aleuroliitide levikualal on moreen enamasti pruun või punakaspruun.

Erinevaid moreene on aga üksteisest raske eristada. Moreenide vanuse määramisel on abiks nende vahel paiguti esinevad jäävaheaegade setted, mis on kujunenud mandriliustike sulamisvete mõjul maismaal või omaaegsetes järvedes ja meredes. Vanemad moreenid esinevad harva. Viimased on ulatuslikumalt levinud mattunud orgudes, Lõuna-Eesti kõrgustikel, Saadjärve voorestikus ja Põhja-Eesti klindiesisel madalikul.

Holotseeni ajastiku ehk pärastjääaja setted kujunesid viimase 10 000 aasta jooksul pärast kliima lõplikku soojenemist ja mandrijää hääbumist. Need peamiselt reljeefi madalamates osades levivad setted on esindatud Läänemere ja kontinentaalsete setetena.

Läänemere vanad setted levivad Lääne-Eesti mandrialal kuni 125 km, Edela- ja Kirde-Eestis kuni 10 km laiuse vöötmena. Need koosnevad põhiliselt liivast ja aleuriidist (Joldiamere setted, maksimaalne paksus 7 m), pruunikas- ja sinakashallist savist ning klibust vanades rannamoodustistes (Antsülusjärve setted, maksimaalne paksus 45 m), aleuriiti sisaldavatest savidest, aleuriidist, liivast, sapropeelist, diatomiidist ja jämepurdsest materjalist (Litoriina- ja Limneamere setted, maksimaalne paksus vastavalt 26 m ja 13 m).

Kontinentaalsed setted on esindatud järve-, soo-, tuule-, jõe- ja tehnogeensete setetega. **Järvesetted** (järvemuda ja -lubi, aleuriit, liiv, klibu) esinevad kaas-aegsete järvede nõgudes, nende rannikul ja järve-tasandikel (maksimaalne paksus 18 m). **Soosetted** koosnevad erineva koostise ja lagunemisastmega turbast (maksimaalne paksus 18 m). **Tuulesetted** moodustavad peeneteralisest liivast koosnevaid luiteid Läänemere vanadel ja nüüdisrandadel ning Peipsi põhjarannikul (maksimaalne paksus 20–25 m). **Jõe-setetes** jõgede lammidel esineb erineval määral aleuriiti, liiva, kruusa ja veeriseid, vähem savi ning jõe-sängist eraldunud sootides ka turvast (maksimaalne paksus 10–15 m). **Tehnogeensed setted** on kujunenud põhiliselt maavarade kaevandamisest (aheraine, koksi- ja tuhamäed) ja ehitiste aluse pinnase ümberpaigutamisel.

Kvaternaari setete puurimine puursüdamiku tõstmisega nõuab valmisolekut tööks muutliku koostise ja paksusega geoloogilise läbilõikega. Hea tulemuse saamiseks tuleb juba enne puurimise alustamist koguda teavet tööde piirkonna geoloogilise ehituse kohta ning täpsustada nõudmised puursüdamiku kvaliteedi ja väljatuleku kohta. Reeglina sõltub pinnakatte geoloogilise uurimise tulemuslikkus just puurimisel saadud andmetest.

Põhilised Kvaternaari setteid hõlmavad geoloogilised uurimistööd on seotud maavarade leviku ja kasutamise võimaluste uurimisega, ehitus- ning hüdrogeoloogiaga. Kvaternaari tähtsamateks maavaradeks on liiv, kruus, turvas ja ravimuda. Periooditi on kasutatud veel savi, sapropeeli, järvelupja- ja -kriiti. Kvaternaar on laialt levinud ehitusalus ja tähtis põhjavee allikas.

ALUSPÕHJA STRUKTUURID

Eesti aluspõhja valitsevaks struktuurielemendiks on **monoklinaal**, mille piires aluskorra pind laskub ühtlaselt lõuna suunas 2–3 meetrit kilomeetri kohta. Samasugune on ka settekivimite kihtide kallakus. Eesti monoklinaali foonil eristuvad veel kaks suuremat struktuuri elementi: **Balti sünekliisi põhjanõlv** Edela-Eestis ja **Valmiera–Mõniste–Lokno kerkeala** Eesti lõunapiiril. Viimase piires on aluskorra pind kerkinud umbes 600 m sügavuselt ligi 400 m ülespoole ehk kuni tasemeni 200 m maapinnast. Mõnevõrra muutub seal ka settekivimite lasundi kallakus lõunasuunalisest põhjasuunaliseks, kuid seda väiksemas mastaabis, sest mõningad vanemad settekivimite lasundid (Kambrium, Ordoviitsium) kiilduvad kerkeala lael välja.

Mainitud suuremate struktuuride taustal eristuvad Põhja-Eestis väiksemad kerkealad (mattunud saarmäed) Uljastes ja Assamallas. Väikeste, kuni 3 km² pindalaga saarmägede kohal on kristalse aluskorra pind kuni 130 m kõrgemale tõusnud. Tegelikult on nii Uljastes kui Assamallas tegu jäänuksaartega, mille kulutusele vastupidavatest kvartsiitidest südamikud on säilinud, pehmem ümbriskivim (vilgugneisid) on aga ära kulutatud.

Aluspõhja struktuuride hulka kuuluvad ka **tektoonilised rikked**, **erosioonilised astangud**, **mattunud orud**, **depressioonid** (alamikud), **sinisavi diapiirid**, **pangaskerked**, **impaktstruktuurid** jne.

Settekivimite lasundisse lõikuvad arvukad valdavalt edela-kirde suunaliselt kulgevad joonelised **tektoonilised rikked** – dislokatsioonid. Rikete pikkus ulatub kümnekonnast kilomeetrist sajakonna kilomeetrini (Aseri rike). Fleksuuritaolise rikketsooni laius on sajakonnast meetrist kilomeetrini ning nihete amplituud kuni 40 meetrini. Eriti hea ülevaade on Ahtme rikkest, kus põlevkivi uuringute käigus aastatel 1975–1978 rajati rikketsooni tundmaõppimiseks mööda tootsa kihi lamamit kulgev tunnel. Selgus, et edela-kirdesuunalise fleksuuritaolise rikke kaguserv on loodeservast kuni 15 m madalamal. Sama on täheldatud ka läheduses asuva Viivikonna rikke puhul.

Põhja-Eesti klindipealsel Sillamäe ja Narva vahelisel alal levib ulatuslik Vaivara dislokatsioonide vöönd. Ahtme ja Viivikonna tektooniliste rikete vahelisel alal on diapiiristunud sinisavilasund hiiglaslikke (sada-

kond meetrit kuni kilomeeter läbimõõdus) paepanku kuni 50 m ülespoole kergitatud. Diapiir on antiklinaalne kurd, mis on tekkinud kurru sisemuses oleva plastilise ainese (savi, kivisool jne) voolamisel. Suurematest sinisavi diapiiridest väärivad märkimist Suurniidu, Kantsisürja ja Kuninganiidu diapiirid. Tuntumad hiidpankad on Vaivara Sinimäed (Tornimägi, Põrgu-augumägi, Pargimägi), Laagna, Sõmerkalda ja Narva linnas asuvad Pähklikmägi, Veskimägi, Keldrimägi, Kuningamägi.

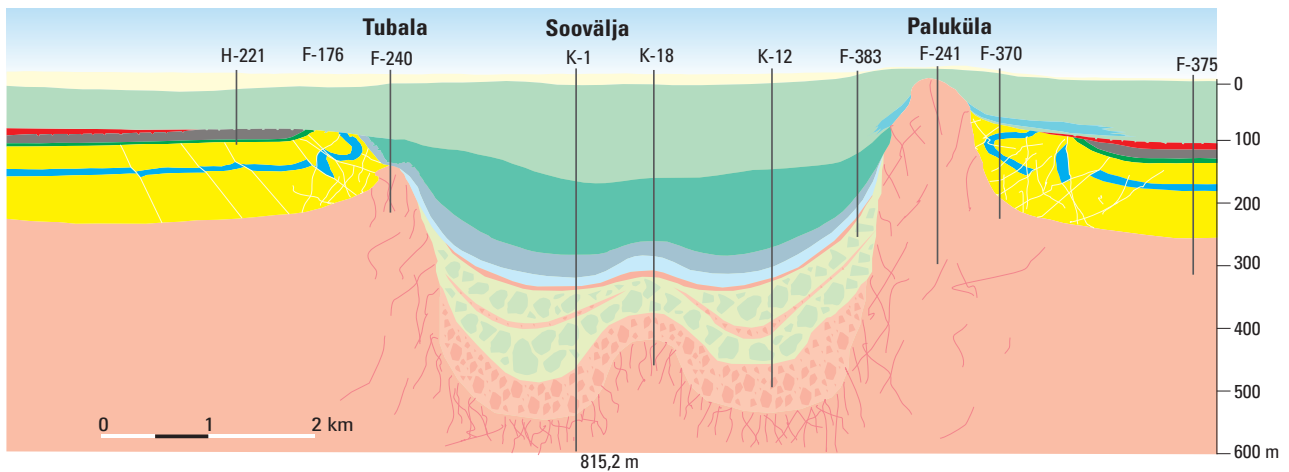
Kunda jõe orus Rahkla külas vahetult Aseri rikkest itta jääval alal, mis on tuntud ka Sämi "musta auguna", on tugevasti deformeeritud paekihid umbes kilomeetri pikkusel alal kuni 50 m vajunud. Samas on aluskorra pind jäänud oma tavalisele tasemele. Langatuse olemuses ei ole veel selgusele jõutud, kuid mingil moel on see seotud Aseri rikkega.

Omapärasteks aluskorra kivimitesse ulatuvaiks struktuurideks on ka Kärddla ja Neugrundi meteoriidikraatrid.

Kärddla meteoriidikraatri süvikus on struktuuri katvad lubjakivikihid ümbrisala suhtes kuni 100 m vajunud, samas kui ringvalli kohal on kihid kuni 40 m võrra kerkinud. Selle tagajärjel on kihid ringvalli nõvadel kohati kuni 30° kaldu. See on tingitud ilmselt purdkivimite erinevast tihenemisest kraatrisüviku piires ja kõvadest kristalsetest kivimitest ringvalli kohal.

Kärddla kraater, mille meteoriitne päritolu tehti kindlaks 1981. aastal, tekkis ligi 455 miljonit aastat tagasi Ordoviitsiumi-aegses madalmeres toimunud meteoriidiplahvatuse tagajärjel. Kergelt ellipsikujulise ringmurranguga piiritletud struktuuri pikem telg on 12 km ja lühem 8 km. Struktuuri keskmes asub 4-kilomeetrise läbimõõduga ning kuni 0,5 km laiuse ja 250 m kõrguse ringvalliga ümbritsetud päris kraater. Umbes 3 km läbimõõduga ja enam kui 500 m sügavuse kraatrisüviku keskel kerkib meteoriidikraatritele omane enam kui 130 m kõrgune ja kuni 800 m läbimõõduga kesk-kerge. Kraater on täielikult setete alla mattunud ja selle piirjoontest annab märku aluspõhjaliste küngaste ahelik Linnumäe–Hausma–Paluküla–Löpe–Tubala joonel.

Neugrundi meteoriidikraatri päritolu tehti kindlaks alles 1995. aastal. Kraater tekkis ligi 535 miljoni aasta eest Kambriumi-aegses madalmeres toimunud meteoriidiplahvatuse tagajärjel. Ringmurranguga ääristatud



Kattev kompleks:

- Kvaternaari setted
- Ordoviitsiumi lubjakivid
- Ordoviitsiumi rifilubjakivid
- Väljapaiske kiht

Täitev kompleks:

- Ordoviitsiumi lubjakivid
- Turbidiidid
- Tsunaami setted
- Pangasbretšad
- Impaktbretšad

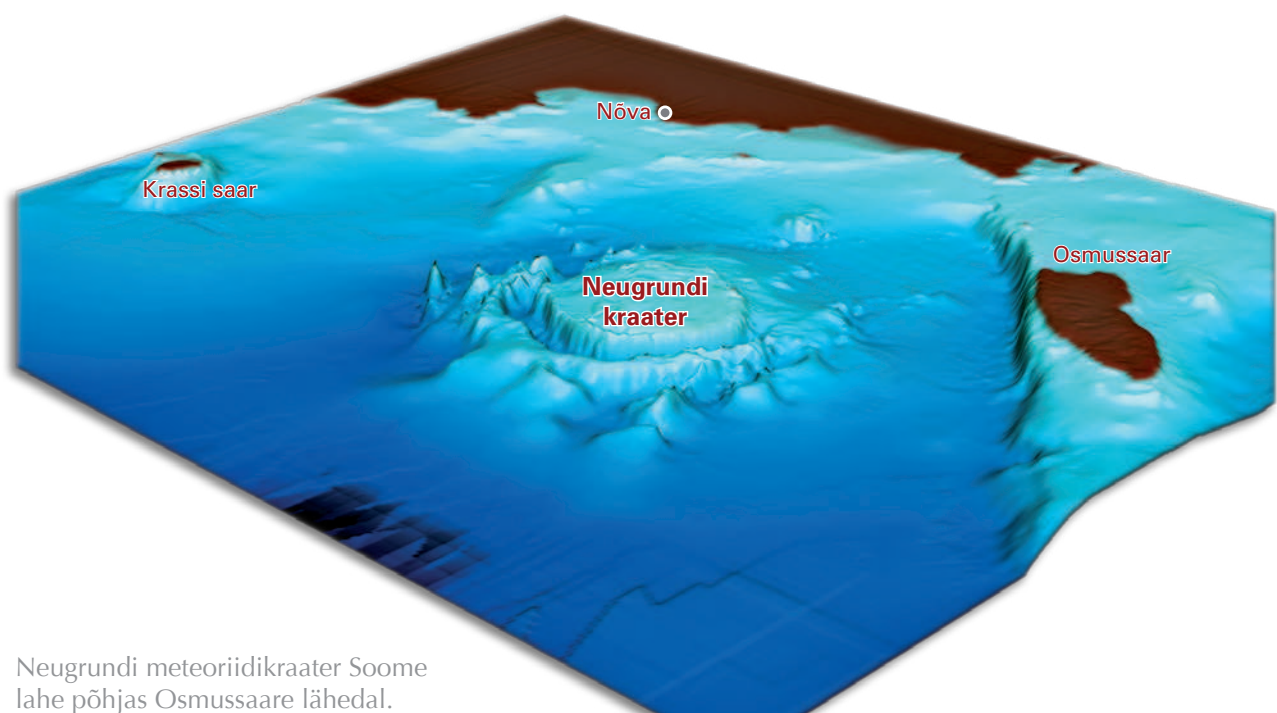
Aluse kivim:

- Ordoviitsiumi lubjakivid
- Ordoviitsiumi liivakivid
- Kambriumi liivakivid
- Kambriumi savid
- Kristalne aluskord

Kärdla meteoriidikraatri läbilõige.

struktuuri läbimõõt on umbes 18 km ja enam-vähem struktuuri keskel asub 6 km läbimõõduga ja mõnesaja meetri laiuse ringvalliga (ringahelikuga) ümbritsetud päris kraater. Ringmurrangu ja ringvalli vahelises 4–5 km laiuses vööndis on nii kristalse aluskorra kivid kui nende peal olevad plahvatus-eelsed settekiivid tugevasti deformeeritud ja hiiglaslike pangastena segi paisatud. Ringmurrangust väljaspool on

aga nii settekiivid kui aluskorra kivid rikkumata. Kraatrisüviku sügavus ei ole teada, sest see on setetega täidetud. Süviku kohal kõrgub merepõhjust kuni 80 m ülespoole umbes 5 kilomeetrise läbimõõduga ringikujuline paeplato, Neugrund madalik, mille lael on vett kohati vaid paari meetri jagu. Neugrund meteoriidikraatri puhul on tegu maailmamere kõige paremini säilinud meteoriidikraatriga.



Neugrund meteoriidikraater Soome lahe põhjas Osmussaare lähedal.

ALUSPÕHJA PEALISPINNA RELJEEF

Reljeef ehk pinnamood on üks maastiku kujunemise määravamaid komponente. Reljeefil on oluline mõju teistele looduse objektidele, samuti ka inimtegevusele. Inimene peab oma tegevuses arvestama pinnamoega ehitiste rajamisel ja üldise tegevuse korraldamisel. Ta ei tohi vallandada reljeefi kujundavaid protsesse ja sellega kaasnevaid ohte. Geomorfoloogia eesmärk ongi tunnetada pinnamoodi ja selle arengu seadusi, kasutada neid ära oma praktilises tegevuses.

Devoni ajastu järel oli Eesti ala pikka aega (ligikaudu 350 miljonit aastat) mandrilistes tingimustes, kus reljeefivormid moodustusid valdavalt kulutusprotsesside käigus. Sel ajal hakkasid välja kujunema aluspõhja reljeefi suurvormid, kus tähtsat osa etendasid aluspõhjakivimite lasumistingimused ja koostis. Devoni lõpuks olid olemas nõod praeguse Soome lahe, Peipsi ja Võrtsjärve kohal ning kõrgemad alad Pandivere, Otepää, Sakala ja Haanja kõrgustike alal.

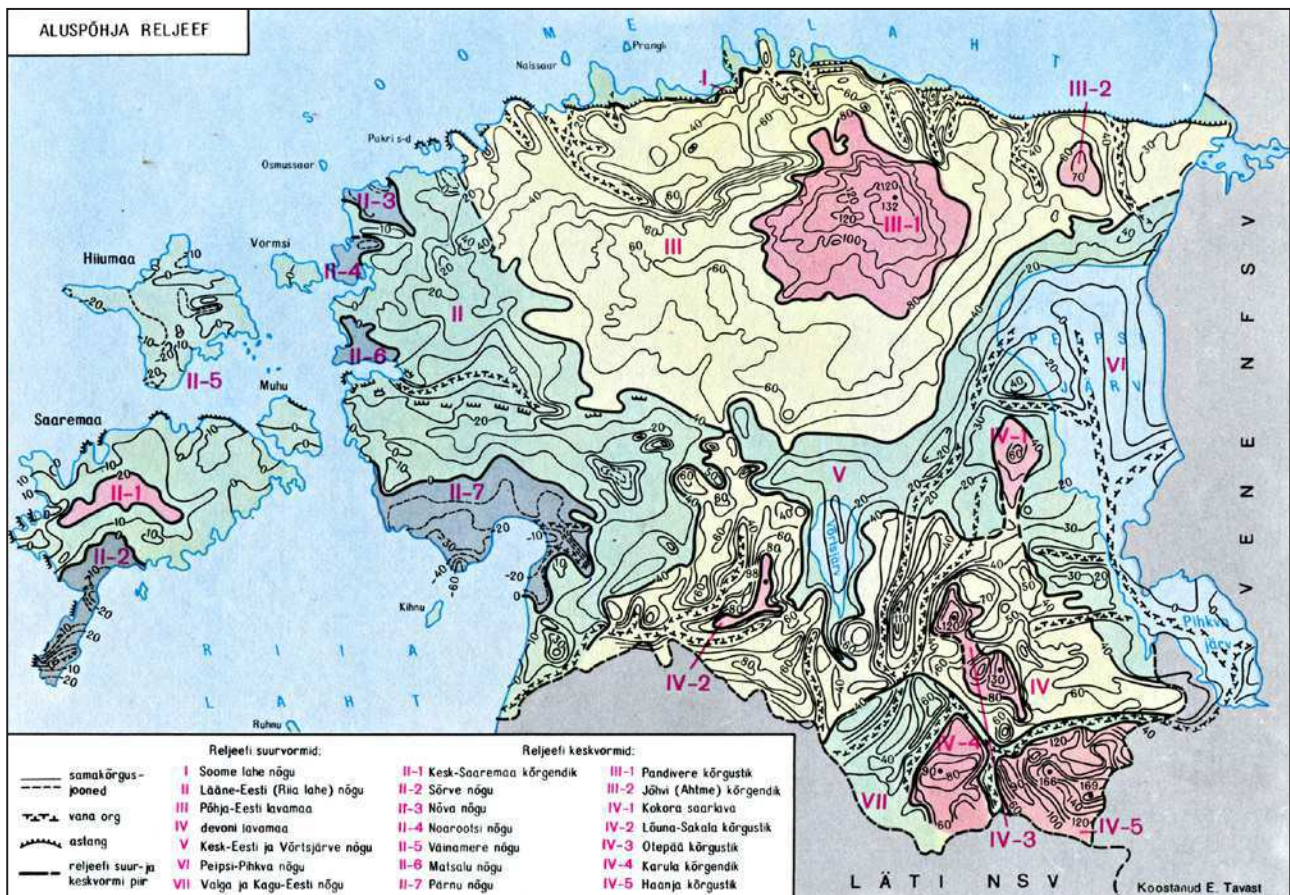
Oluliselt kujundasid aluspõhja reljeefi Kvaternaari jäätumised. Jää tasandas ja kandis ära kümnete meet-

rite paksuselt aluspõhjakivimite murenemisel kujunenud setteid, kohati põhjustas uute pinnavormide teket (kulutusnõod, silekaljud, kaljuvoored) ja süvendas orgusid ja nõgusid aluspõhjakivimites.

Aluspõhja reljeefis eristuvad suurvormidena Soome lahe nõgu (klindiesine tasandik), Lääne-Eesti tasandik, Viru-Harju lavamaa, Devoni lavamaa, Kesk-Eesti ja Võrtsjärve nõgu, Peipsi–Pihkva nõgu, Valga tasandik ning Võru–Piisa nõgu (joonis 1).

Soome lahe nõgu on Viru-Harju lavamaast eraldatud astangulise Põhja-Eesti paekaldaga. Aluspõhjalisi lavamaid liigestavad kõrgustikud (Pandivere, Haanja), kõrgendikud (kõvikud) ja orud. Suurvormid moodustavad kuestalaadse reljeefi, mis on tingitud aluspõhjakivimite erinevast kulumiskindlusest ja lõunasuunalisest kallakusest. Viru-Harju lavamaa ja valdavalt ka Lääne-Eesti tasandiku pealispind koosneb 40–50 meetri kõrgusele ulatuvatest kulumisele vastupidavatest karbonaatsetest kivimitest. Sealt kerkib kõr-

Joonis 1. Aluspõhja reljeefi kaart (Eesti nõukogude entsüklopeedia, 2. köide).



gemale Pandivere kõrgustik. Astanguline on ka Kesk-Eesti lavamaa põhjanõlv.

Lõuna-Eestisse, Võrtsjärve–Tartu joonest lõuna poole jääb ulatuslik Devoni lavamaa, samuti kuestalaadne pinnavorm, mis on orgude ja nõgudega liigendatud saarlavadeks (Sakala, Ugandi, Kokora) ja kõrgustikeks (Lõuna-Sakala, Otepää, Karula). Ülem-Devoni karbonaatkivimite avamusala Piusa orust lõuna pool on samuti kuestalaadne astang. Kõige kõrgem ala aluspõhjas on Haanja ja Karula kõrgustike piirkond.

Kõrgustikke ja lavamaid eraldavad nõod ja orud – Lääne-Eesti, Võrtsjärve, Peipsi-Pihkva, Võru-Piusa nõgu ja Valga tasandik.

Reljeefi kujundajaks on olnud ka jõgedevõrk. Soome lahe kohal oli Ürg-Neeva vagumus, kuhu lõuna poolt

ulatusid arvukad sügavalt aluspõhjakiivimeisse uuristunud lisaorud (Harku, Väana jt), mille põhi on kuni 145 m allpool nüüdisaegset meretaset. Peipsi nõo põhja oli samuti kulutatud org.

Tihe on orgude võrk Lõuna- ja Kagu-Eestis, kus orud on sügavad ja järsuveerulised (Abja, Otepää jt). Sügavamate orgude põhi jääb absoluutkõrgusele kuni –193 m.

Aluspõhja reljeefi suurvormid avalduvad mõningal määral ka nüüdisaegses reljeefis, kuigi on mattunud nooremate setete ja pinnavormide alla. Väiksemad vormid on aga täielikult jäänud nooremate pinnavormide alla ja ei avaldu nüüdisaegses pinnamoos.

Aluspõhja reljeef mõjutas oluliselt Eesti ala katnud mandriliustike (enam kui 11 000 aastat tagasi) liikumiskirust ja suunda ning uute kulutus- ja kuhjevormide teket.

NÜÜDISAEGNE RELJEEF JA PINNAVORMID

Eesti üldjoontes tasandikuline pinnamood on välja kujunenud mandrijää kulutava ja kuhjava tegevuse ning jääajajärgsete protsesside käigus. Kuigi Eesti alal on maapinna kõrgusvahed väikesed, on siin esinev pinnavormide kooslus mitmekesine. Pinnavorme liigitatakse kuju, suuruse ja mitmete teiste tunnuste alusel.

Kuju järgi on pinnavormid positiivsed ehk ümbritsevast alast kõrgemad (küngas, kuppel), negatiivsed ehk ümbritsevast alast madalamad (nõgu, org) ja neutraalsed (tasandid, lavad).

Suuruse järgi eristatakse mega-, makro-, meso-, mikro- ja nanovorme. **Megavormid** hõlmavad tuhandeid ruutkilomeetreid (kiltmaad, mäestikud), **makrovormid** on ka sadade ja tuhandete ruutkilomeetrite ulatusega (meil kõrgustikud, madalikud). **Mesovormide** pindala on mõne kuni mõnekümne ruutkilomeetri ulatusega – voorestikud, mõhnastikud. Eestis on mesovormideks loetud pinnavorme, mille suhteline kõrgus on üle kahe meetri. Suurima suhtelise kõrgusega on Eestis Vällamägi (84 m). Eesti mesoreljeefi pinnavormide morfoloogilise liigituse järgi (Arold 2005, tabel 1.1.1) eristatakse kõrgendikke (künkad, vaarad, vallid), nõgusid (lohud, orud) ja tasandikke.

Mikrovormideks on ebatasasused mesovormidel, väikesed kühmud ja nõod tasandikel, astangud, lohud ja väikesed karstinõod. **Nanovormideks** on maapinna

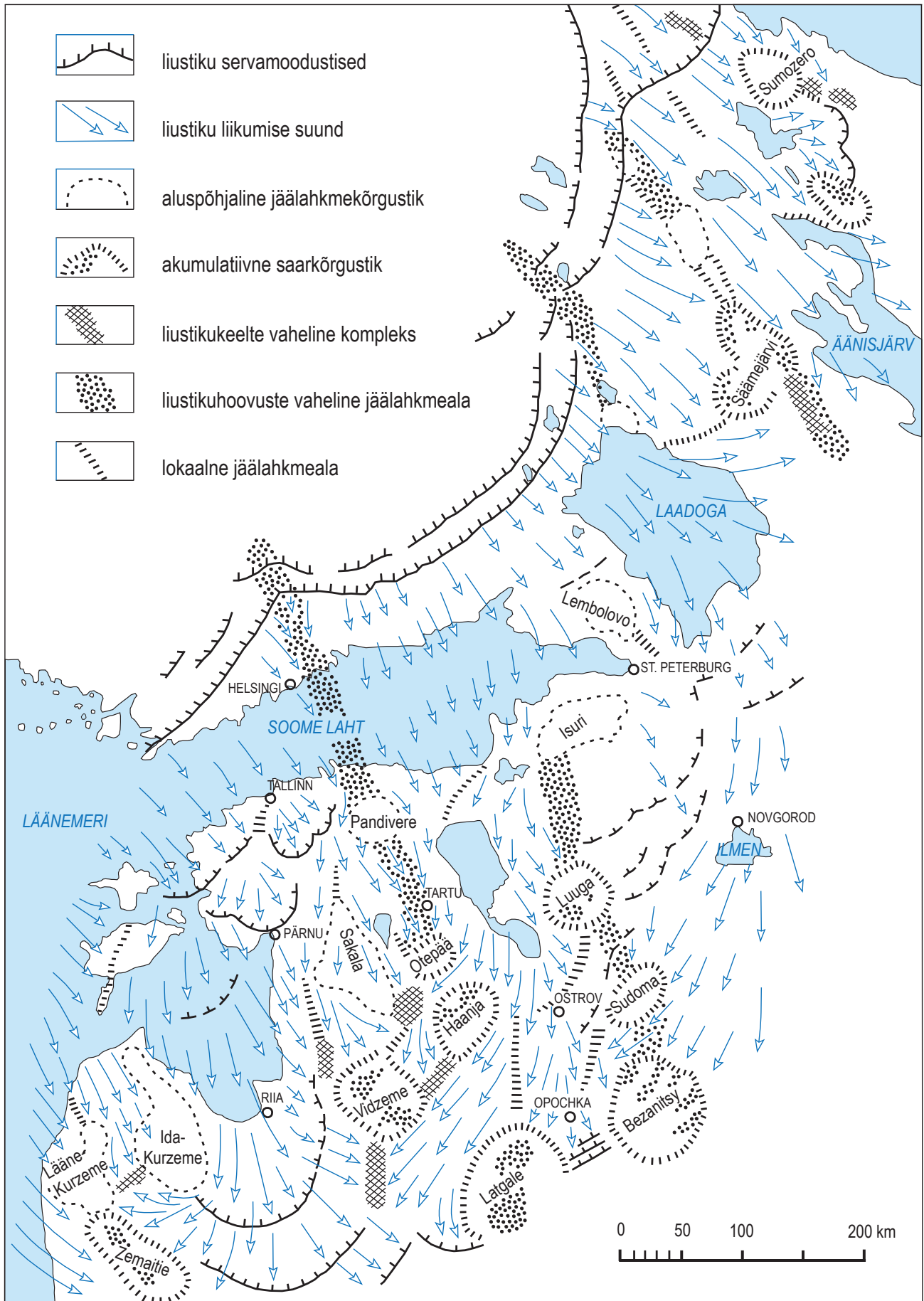
väiksemad ebatasasused nagu mättad, tuulevired, leetseljakud.

Põhiplaani alusel liigitatakse pinnavorme ümarateks (pikema ja lühema telje suhe 2:1), ovaalseteks (suhe 2–5:1) ja piklikeks (suhe 5:1), nõlva ja veeru kalde-nurga järgi väga laugeteks (nurk alla 5 kraadi), lauge-tekks (5–10 kraadi), kallakateks (10–15 kraadi) ja järsunõlvalisteks või -veerulisteks (üle 15 kraadi).

Pinnavormide hulgas on nii üksik-, liit- kui rühm-vorme. Üksikvormid on kujult lihtsad (korrapärased) ja keerukad (korrapäratud). Liitvormid on tekkinud üksikvormide liitumisel või jagunemisel, rühmvormid aga sarnaste üksik- või liitvormide kogumikena. Mitme erineva pinnavormi koosinemisel kasutatakse nime-tusi, kus valdava pinnavormi nimetus on liitsõna lõpus (kuppelküngastik).

Pinnavormide kirjeldamisel on vaja teada ka pinnavormide elemente: punkt (tipp), servad (perv, jalam, veelahe) ja tahud (lagi, põhi, külg, nõlv, veer, astang, terrass).

Oluline on nii üksikute pinnavormide kui suuremate alade pinnamoe tekkelugu ehk genees. Eristatakse peamiselt ühe teguri toimel tekkinud (monogeenseid) ja mitme teguri koosmõjul kujunenud (polügeenseid) pinnavorme. Tekkeviisi järgi eristatakse kosmogeenseid, geogeenseid, biogeenseid ja antropogeenseid



Joonis 3. Hilisjääaegse mandriliustiku liikumine Ida-Euroopa lausmaal. Koostanud Reet Karukäpp.

maa Keskkõrgustik ja pikk Risti–Palivere ooside ahelik. Lõplikult vabanes Eesti ala jääst umbes 11 100 aasta eest.

Mandrijäätekkeliste pinnavormide hulgas tuleb eristada liustikutekkelisi ehk glatsiaalseid, jääsulaveetekkelisi ehk fluvioglatsiaalseid ja jääpaisjärvetekkelisi ehk limnoglatsiaalseid pinnavorme (joonis 4).

Liustikutekkelised pinnavormid jagunevad jää pealetungil tekkinud kulutusvormideks, jää stabiilsuse ajal tekkinud kuhjevormideks ja kulutus-kuhjevormideks. Kõige väiksemad jää kulutusvormid on **jääkriimud**. Need on mõne millimeetri laiused lühikesed madalad vaonid tugeva lubjakivi siledal pinnal. Jääkriime kohtame peamiselt Põhja-Eestis. Liustikus olevad kivid kulutavad jää liikumisel aluspõhjaktivimeisse jääkriimudest suuremaid, paari sentimeetri laiusi ja umbes 10 sentimeetri sügavusi jää liikumise suunas orienteeritu vagusid, mida nimetatakse **jääkündevagudeks** (Vasalemmas, Rohukülas jm).

Kohati on jää vastupidavatest aluspõhjaktivimitest välja voolinud pikliku kujuga ja jää liikumise suunas orienteeritud künkaid – **kaljuvoori**. Kui kõvade kivimite all lamavad pehmemad kivimid, on voor kõrgema biohermse peaga ja kergemini kulutatavatest kivimitest sabaosaga (Salevere Salumägi, Kirbla astang, Lihula voor). Ühtlase tugevusega kivimitest voolitud kaljuvoored on leivapätsikujulised (Kopli kõrgendikud, Tõdva künnised, Kakumäe). Aluspõhjaktivimitest tuum on tavaliselt kaetud moreeni või hili-semate setetega. Liustiku kulutusvormid on ka ovaalse põhiplaani **kulutusunõod** või orulaadsed laiad **vagumused** (Võrtsjärve ja Peipsi nõgu).

Liustiku kulutava ja kuhjava koostöö tulemuseks on **voored** – ovaalse põhiplaani leivapätsikujulised künkad. Voorte liustikupoolne ots on alati kõrgem. Voored madalduvad laugelt kuni „sabani”, ka nende nõlvad on üldiselt lauged. Voorte suhteline kõrgus ulatub mõnest meetrist 20–80 meetrini. Koostiselt on voored kas tuumikvoored või moreenvoored (joonis 4). Esimestel on kas aluspõhjaktivimitest või jääsulavee setetest tuum, mida katab moreen. Moreenvoored koosnevad viimase jäätumise moreenist. Voorte piki-telg näitab jää liikumise suunda. Lisaks voortele esineb ka voorjaid künniseid.

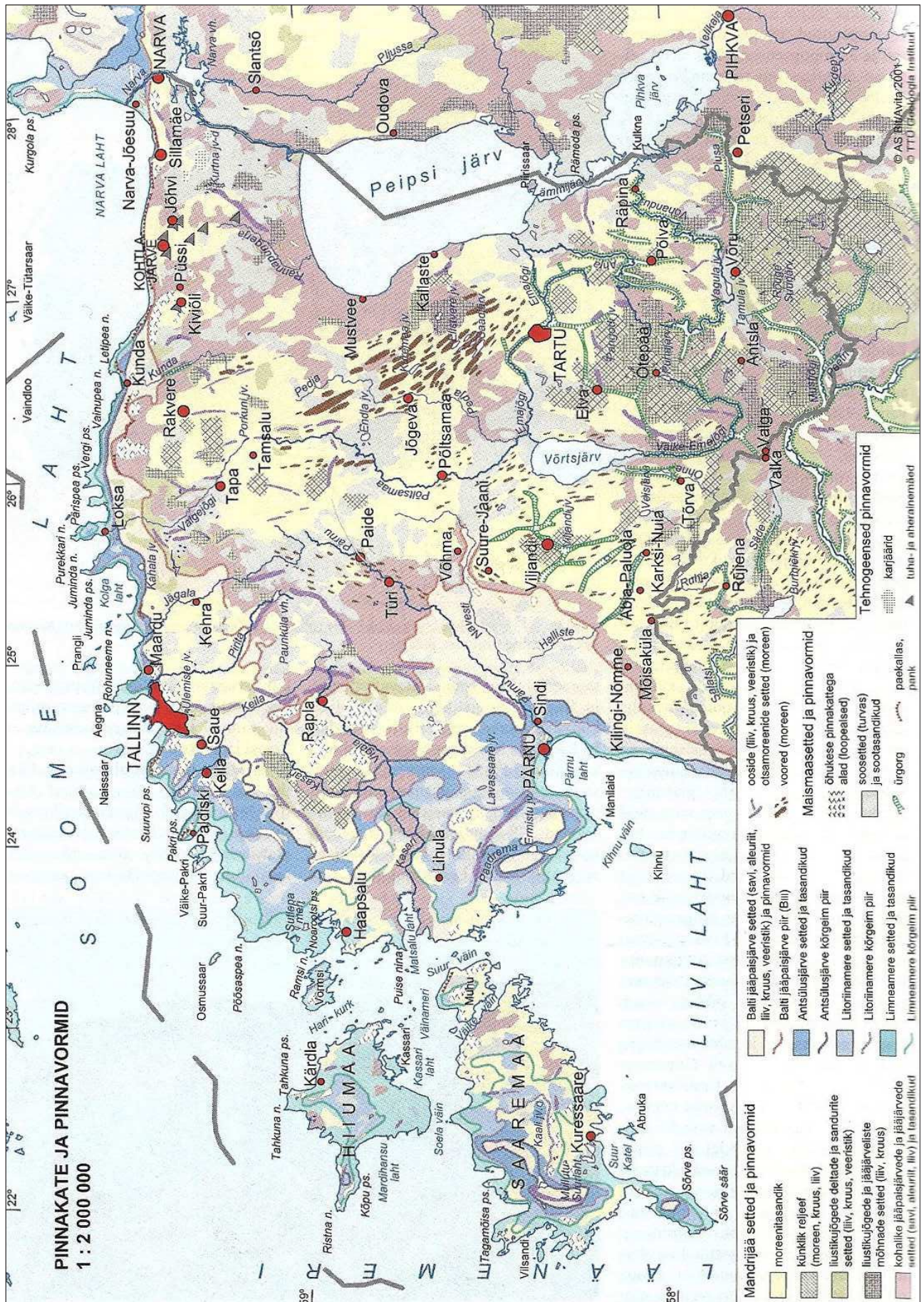
Üksikuid voori esineb harva. Tavaliselt levivad voored **voorestikena**, kus voortega vahelduvad sama orientatsiooniga soostunud nõod või järved. Eesti suuremad

voorestikud on Saadjärve ja Türi voorestik, Põltsamaa ja Kolga-Jaani ümbruse ning Sakala kõrgustiku nõlvade voored.

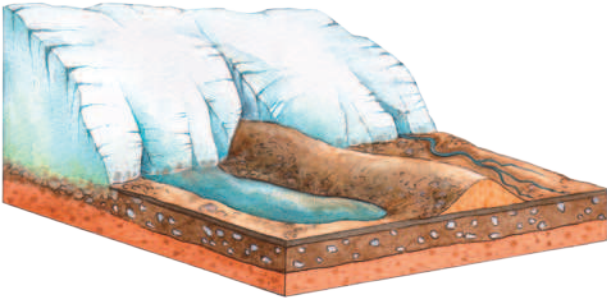
Liustikutekkelistest kuhjevormidest leidub Eestis kün-gastikke, peamiselt kõrgustikel, vähemal määral ka mujal. **Künklik moreenreljeef** on erineva morfoloogia, ehituse ja geneesiga. Siin esineb kupleid, seljakuid, kühme ja künniseid. Sageli tähistavad need jääserva seisakuid või ajutisi pealetunge. Liustikuserva ees tekkinud ja sellega paralleelseid piklikke vallikujulisi pinnavorme nimetatakse **otsamoreeniks**. Tekke järgi jaotatakse otsamoreene survelehteks ja kuhjeotsamoreenideks. Survelised otsamoreenid on kujunenud kokkulükatud pudedast settematerjalist pealetungiva jääserva ees. Kuhjeotsamoreenid on tekkinud liustiku pikema paigaloleku ajal, kui sulav jääserv kuhjas ja ka sorteeris kivimaterjali. Otsamoreenid on servamoodustiste võõndi lülidena tavalised pinnavormid Eestis. Silmapaistvamaks näiteks on Vaivara Sinimäed. Liustik on teisel danud paekaldast lahtimurtud lubjakivipankaid kilomeetreid lõuna poole. Need pankad ongi pinnavormi tuumaks. Kuhjeotsamoreeni näiteks on Saaremaa Keskkõrgustik.

Liustiku kuhjevormidest on levinud **moreentasandikud** – põhimoreeniga kaetud tasased või lainjad alad, kus suhteline kõrgus reljeefis jääb 5 meetri piiresse. Moreentasandikud esinevad valdavalt aladel, kus aluspõhjaktivimite pind on suhteliselt tasane ja maapinna lähedal. Need on kujunenud kas aktiivse liustikujää all või seisunud jää pindmisel sulamisel. Moreentasandikke on kaht tüüpi – esmased (primaarsed) ja teisesed (sekundaarsed). Esmaste moreentasandike pind on lainjas, kohati kõrgub sealt kühme või künniseid. Moreeni paksus on Põhja-Eestis 1–5 m, Lõuna-Eestis suurem, aga harva üle 10 m. Moreeni koostis oleneb suuresti liustikujää lamamiskohast. Teisesed moreentasandikud on uhutud moreentasandikud, mis jäid pärast mandrijääst vabanemist suurte jääpaisjärvede või mere alla ja on lainete poolt ümber kujundatud. Valdavalt jäävad need Madal-Eestisse. Moreen on kaetud välja uhutud liivaste või saviste setetega ja tasandiku pinnal esineb tihti kivikülve, eriti Põhja-Eestis.

Pinnamoe järgi eristatakse lausktaandikke, lainjajaid, künklik-lainjajaid ja orustatud moreentasandikke. Lausktaandikke esineb harva, neid leidub Kesk-Eestis ja Kagu-Eesti lavamaal. Lainjajaid moreentasandikke



Joonis 4. Pinnakate ja pinnavormid (Eesti nõukogude entsüklopeedia, 11. köide).

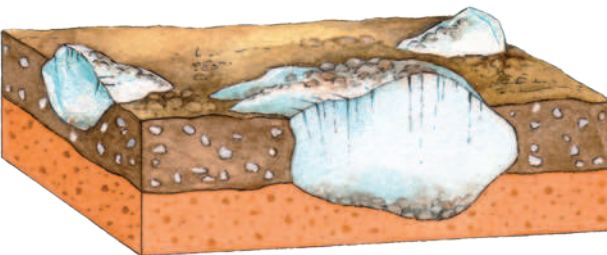


Joonis 5. Oosi teke.

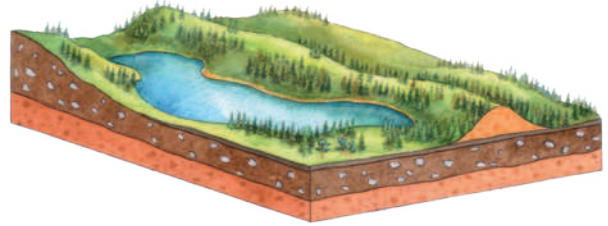
on ebatasase aluspõhjaga aladel, aga ka ebäühtlase paksusega moreenkattega aladel. Sageli on lainjad moreentasandikud voorestatud. Künklikel moreentasandikel on laugete nõlvadega madalaid künkaid ja lohke. Kõrgustike äärealadel lähevad sellised tasandikud üle künklikuks moreenreljeefiks. Orustatud moreentasandikud on jää sulavete poolt ümber kujundatud – neis on moreenikihti või ka aluspõhjakiivimite lõhedesse uuristatud erineva sügavusega orge (Kesk- ja Kagu-Eesti orustatud lavamaad).

Liustiku sulamisveetekkeline pinnavormid on kas liustikujõetekkeline (fluvioglatsiaalsed) või jääpaisjärvetekkeline (limnoglatsiaalsed). Nende pinnavormide hulgas eristatakse kuhje- ja kulutusvorme.

Liustikujõelisteks kuhjevormideks on **oosid** – järsunõlvilised kitsa harjaga kuni 40 meetri kõrgused seljakud. Oosid on kujunenud kas liustikualustena, liustikusisestena või liustikupealsetena. Enamus Eesti oose on ilmselt tekkinud liustiku avalõhedes või tunnelites – pikad järsunõlvilised teravaharjalised looklevad seljakud, mis jäid maha jäälohe seinte sulamisel (joonis 5). Eristatakse liustiku lõhedes või tunnelites kujunenud pikioose (radiaalsed) ja liustikuservaga paralleelsetes voolukanalites tekkinud põikioose (marginaalsed). Pikioosid moodustavad pikki oosiahelikke Pandivere kõrgustikul (Neeruti, Mõdriku–Paasvere jt). Põikioosid tähistavad jääserva asendit Risti–Palivere ja Lelle–Paluküla joonel. Eristatakse ka veel komeet-, helmes-, lava- ja harioose. Tavaliselt levivad oosid pikkade,



Joonis 6. Mõhnastiku teke.

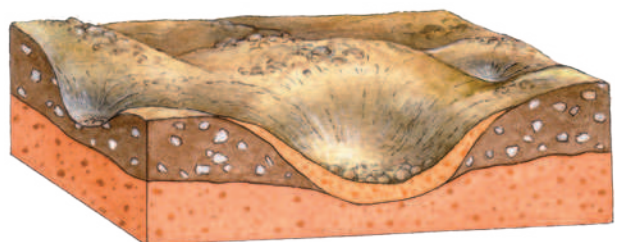


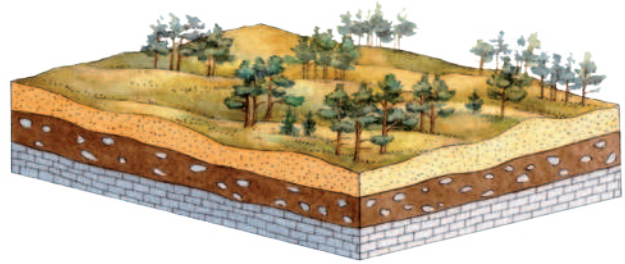
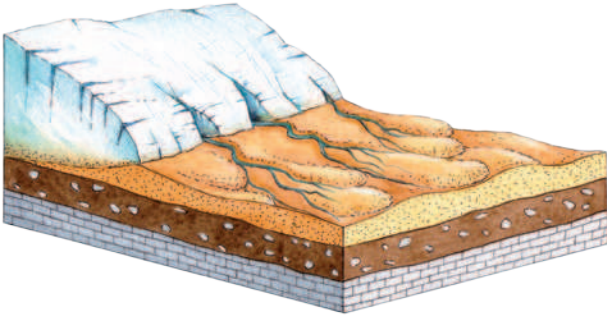
iseegi 150 kilomeetrini ulatuvate oosiahelikena (Linnuse–Sauga–Lelle–Pärnamäe), kus võib kohata erinevat tüüpi oose.

Oosid koosnevad valdavalt põimkihilistest jämedateralistest setetest: kruusast, liivast, veeristest, milles on ka munakaid ja rahne. Nõrga läbivooluga jääloheses settinud oosides võib kohata ka rõhtkihilisusega setteid. Kohati võivad jääjõesetted oosides olla kaetud moreeniga.

Jääjärvetekkelised pinnavormid on peamiselt kuhjevormid – mõhnad, kuhjetasandikud, mõhnterrassid. Kulutusvormidest esineb vaid murrutustasandikke ja –astanguid. **Mõhnad** on kujult korrapäratu põhijoonisega künkad, lühikesed künnised või lavajad vormid (joonis 6). Geneesi ja koostise alusel jagunevad mõhnad limnoglatsiaalseteks, fluvioglatsiaalseteks ja segamõhnadeks. Enamasti levivad mõhnad mõhnastikena (Kurtna, Illuka, Mustoja, Otepää ja Haanja kõrgustiku keskosa), harva leidub mõhnu üksikvormidena. Eesti mõhnastikud on tavaliselt väikese pindalaga, vaid mõne ruutkilomeetri suurusel. Suuremates mõhnastikes (Kurtna, Viitna) vahelduvad korrapäratult paiknevad künkad järvenõgudega.

Jääjõelised ehk fluviomõhnad koosnevad põimkihilistest liivadest-kruusadest ja on kujunenud rohkete lõhedega jääservas või jääpankade vahel avatud lõhedes. Jääjärvelised ehk limnomõhnad on kujunenud liustikujääst ümbritsetud järvedes ning koosnevad rõhtkihilisest liivast, liivsavist, savist, viirsavist. Mõhnastikes, ooside ja suuremate kõrgendike nõlvadele





Joonis 7. Sanduritasandiku kujunemine.

on kujunenud terrasse meenutavaid pinnavorme – mõhnterrasse. Need on tavaliselt kitsad (mõnekümnest meetrist mõnesaja meetrini) rõhtsad või veidi kallakud tasased või nõrgalt lainjad pinnad suuremate pinnavormide nõlvadel (Neerutis, Viitnal, Jõuga–Räätsma ümbruses).

Jäaserva ees laial pinnal voolanud sängita sulavesi kujundas jõgede setetest ulatuslikke ebatasaseid, distaalses suunas madalduvaid tasandikke – **sandureid** (joonis 7). Selliseid fluvioglatsiaalse kruusa- ja liiva-väljasid on Sakala kõrgustiku lõunaosas, Põhja-Vooremaal, Lõuna-Eesti nõgudes.

Liustikutekkelistest kulutusvormides on silmapaistvamad **jääsulavee äravooluorud**, mis on üldjoontes sarnased jõeorgudega, erinevad aga oma kujunemistingimustelt. Neid on mõnekümne meetri laiusi, 3–4 meetri sügavusi ja sadade meetrite pikkusi, kuid ka kilomeetri laiusi ja enam kui 50 m sügavusi. Äravooluorud on kujunenud liustiku ees või liustikust eemale voolanud vee toimel. Võimalik, et mõned on tekkinud liustikujää all voolanud sulavee toimel. Lõuna-Eestis on jääsulavee orge märgatavalt rohkem kui Põhja-Eestis. Seda on võimaldanud kergemini kulutatavad aluspõhjakiivid, varasemalt kuhjunud paksem pinnakate ja muutlikum vana reljeef. Jää sulavesi kasutas oma vooluteedeks ka enne viimast jäätumist uuristatud orge (ürgorge), süvendades ja laiendades neid. Surnud jääväljade sulamisel kõrgustikelt allavoolanud vesi uuristas sügavaid orge (Piusa, Pärlijõe, Rõuge ja Elva orud). Osa orge on tekkinud jääjärvede ühinemisel (Vooremaal).

Madal-Eestis esines veel pikka aega suuri jää sulamisel tekkinud veekogusid, mille rannajooni tähistavad jääjärvede erinevad kuhjevormid – tasandikud, murrutusastangud, terrassid jne (Peipsi ja Võrtsjärve madalikul, Kõrvemaal, Alutagusel).

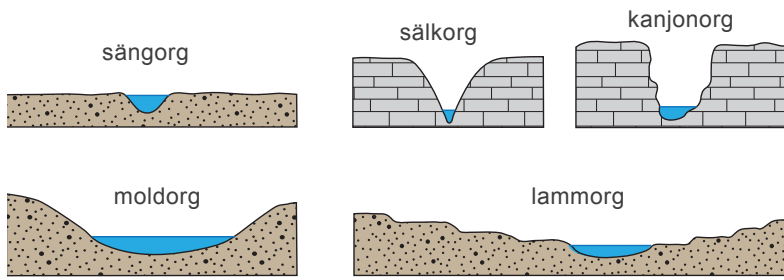
Suuremad pinnavormide kooslused on tekkinud rohkem kui ühe jääaja liustike pealetungil ja taganemisel. Aluspõhjalistele kõrgustikele (Otepää, Haanja) kuhjus suures paksuses jääd ja setteid ning moodustusid keerukad liustikuliste pinnavormide kompleksid – saar-kõrgustikud. Haanja kõrgustikul on valdav künklik reljeef, kus irdjäest väljasulanud moreenkattega künkad vahelduvad nõgude ja orgudega. Haanja kõrgustik saarkõrgustikuna ulatub lõunas Läti ja idas Venemaa territooriumile.

Otepää kõrgustik on orgudega piiritletud saar-kõrgustik, mis on põhja-kirde-lõuna-edela suunalise Pühajärve vagumusega jaotatud kahte ossa. Kõrgustik on keeruka pinnamoe ja eriilmeliste setetega. Pinnavormide koostises võib leida vähemalt viit erivanust moreeni. Suurte lavajate küngaste ja künniste lagedel on jääjärve savi (viirsavi).

Karula kõrgustik kujunes Võru–Hargla ja Võrtsjärve liustikuvoolu kokkupõrke alale, kuhu kuhjunud jää ja settematerjal tekitas järsunõlvalse kuplitaolise kungastiku (valdavalt mõhnad).

Vooluveetekkelised ehk **fluviaalsed pinnavormid** hõlmavad nii püsiva kui ajutise, nii kindlas voolusängis kui ka kindla voolusängita veevoolu (nõlvavoolu) tekitatud pinnavorme. Allpool käsitleme vaid silmapaistvamaid, s.o sängivoolutekkelisi pinnavorme, mille seas eristuvad ajutise ja püsiva sängivoolutekkelised pinnavormid. Siin on nii kulutus- kui kuhjevorme.

Ajutise sängivoolutekkeliste pinnavormidena nimetagem **jäärakut** (ovraagi), **uurakut** (balkat) ja **jäänuk-kõrgendikke**. Suuremate kõrgustike järsematesse nõlvadesse, orgude pervedesse ja järskudesse veerudesse lõikunud jäärakute sügavus ei ületa tavaliselt 10 meetrit. Nende suudmetesse on väljakanatud setetest moodustunud settekuhik, mille paksus võib ulatuda 5 meetrini. Aja jooksul jääraku veerud



Joonis 8. Orgude tüübid Arold 2005 järgi.

lamenduvad ja kamarduvad ning neist saavad uurakud (balkad). Harvem esineb jäänukkõrgendikke, mis kujutavad endast oru veerust ärälõigatud vorme.

Püsiva sängivoolu kulutusvormid on **jõeorud**. Kuju ja arenguastme järgi jaotuvad orud säng-, sälk-, mold-, lamm- ja kanjonorgudeks (joonis 8). **Sängorg** on noor nõrga uuristusega org, kus määratletav on vaid tugevasti looklev jõesäng. **Sälkorg** on juba sügavam, ristlõige on V-kujuline. Sätkoru edasisel arenemisel tekib U-kujuline moldorg, kus vesi ei täida kogu orgu ning põhja- ja küljeerosioon on tasakaalus. **Moldorud** on iseloomulikud Lõuna-Eesti kõrgustikele ja Kagu-Eesti lavamaale. Arengu järgmises astmes kujuneb **lammorg**, kus küljeerosioon ületab põhjauuristused. Jõe lang on väike ja looklevus suur. Oru ristlõike selgelt eristatavad elemendid on lamm, veer, perv.

Suurvee ajal ujutatakse tasandikel oru lame põhi üle ja sinna kuhjuvad vooluga kaasaskantud setted – lammi-alluuvium, sängi servadele kuhjub jämedam settematerjal ja tekib kaldavall. Looklev lamm võib kohati esineda oru ristprofiilis vaid ühel pool. Lamm on üleujutuste ajal tavaliselt vee all. Kui üleujutus lammile enam ei ulatu, on tegemist kõrglammiga.

Lammorgudes kujuneb arengu käigus rida väiksemaid pinnavorme. Kui vesi murrab jõelooke (meandri) läbi, eraldub sängist soot (vanasäng). Jõeloogete rändamisel tekib oru põhjas kõrgemaid saarekujulisi moodustusi – piirdekõrgendikke.

Orgude areng on seotud erosioonibaasi (mere või järve veetaseme) kõrgusega. Erosioonibaasi alanemisel lõikub jõesäng sügavamale ning lammist jäävad alles terrassid – jõe poolt astanguga ääristatud mõnekümne meetri laiused peaaegu rõhtsad pinnad oru veerul. Erosioonibaasi kõrgenemise ajal ujutatakse lamm ja varasemad terrassid üle ja need mattuvad noorema alluuviumi alla. Terrasside teke on seostatav jääjärvede ja hiljem Läänemere veetaseme (erosioonibaasi) muu-

tustega, nende uurimine annab andmeid erosioonibaasiks olevate veekogude arengust.

Tekkeviisi järgi on terrassid kuhje- ja kulusterrassid. Kuhjeterrassid arenevad orus paksudes alluviaalsetes setetes, kulusterrassid aga on välja voolitud kas aluspõhjakiivimeis või vanemates purdsetetes. Nende pinnal ei ole alluviaalseid setteid või need on väga õhukesed. Vanades orgudes võib kohata ka mitmel korral väljatöötatud terrasse.

Eritüüp orgu on **kanjonorud** – järskude püstloodsete veerudega orud. Nende tekkeks peab jõe uuristamiskiirus olema suurem kivimite murenemiskiirusest. Kanjonorge esineb piirkondades, kus jõgi läbib vastupidavaid kivimeid (Narva ja Kunda jõgi, Valgejõgi mõningates lõikudes). Sõltuvalt jõe langust ja erineva kõvadusega kivimitest kujunevad orgu kärestikud – kivise põhjaga madalad sängid, ja kosed – suure languga jõelõigud, kus voolukiirus on suur. Vabalt alla langeva veega järskudel astangutel on joad. Viimaseid on Soome lahte suubuvatel jõgedel (Narva, Keila, Jägala).

Mere- ja järvetekkelised pinnavormid. Mere tegevus pinnavormide tekkes on sarnane suurte järvedega (Peipsi, Võrtsjärv). Pinnavormid on tekkinud lainete purustava (abrasiooni) või kuhjava (akumulatsiooni) tegevuse toimel. Lainete purustaval tegevusel kujunevad järsunõlvilises rannavööndis murrutusastangud ja -järsakud. Murrutusastangud kulutatakse pudedatesse kivimitesse, murrutuspaangad aga tugevatesse aluspõhjakiivimitesse – Osmussaare, Väike-Pakri, Saaremaa ja Muhu paangad (joonis 9). Kui murrutusjärsaku jalamil paljanduvad vähem vastupidavad kivimid, kulutab lainetus neisse murrutuskulpaide (Pakril, Suurupi pangal). Murrutuse tagajärjel taanduvad järsakud maa poole ja järsaku ette jalamile kujuneb ebataasane murrutuslava (abrasioonilava).

Kuhjevorme on Eesti rannikul mitmesuguse kuju ja tekkega, kus olulist osa etendab setete pealekande (toitmise) viis. Settematerjal kuhjub lainetuse ja hoovuste liikumisel. Setete kanne toimub risti rannajoonega (põhjatoiteline) kui ka piki rannajoont kindlas suunas. Tuntumad pinnavormid on **rannavallid** – rannajoonest kõrgemal ja rannajoonega paralleelsed mõne meetri



Joonis 9. Mustjala panga lõunapoolne osa.

kõrgused ja mitmesaja meetri pikkused kruusast ja liivast vallid või seljakud. Rannavalle iseloomustab järssem merepoolne ja laugem maapoolne nõlv. Need võivad kujuda ka varasemate rannavormide peale. Liivastel rannanõlvadel, kus lained murduvad, tekivad rannajoonega paralleelsed **veealused vallid** – rannabarrid. Neid võib esineda erineval sügavusel ja setete kuhjumisel võivad ulatuda üle veepinna. Mere taandumisel jäävad barrid maismaale (Juminda poolsaarel), nende taha jäävad siis tavaliselt soostunud laguunid. Rannabarrid on üldiselt 50–100 m pikkused, kuid võivad ulatuda ka kilomeetriteni, kõrgus jääb 1–2 meetri piiresse.

Rannikutel on levinud ka **kuhjelised rannaterrassid** – mere või järve suunas kaldu paiknevad tasandikud, mis tekivad põhjatoiteliselt või setete pikirände teel. Rannaterrasside koostises on valdavaks liiv ja aleuriit, sette paksus võib ulatuda isegi 10–20 meetrini. Rannaterrassidel on tihti rannavalle ja teisi kuhjevorme.

Setete pikirändel kuhjuvad merre liivast ja kruusast ebasümmeetriliste nõlvadega vallid – **maasääred** (Sõrve sääär, Sääre tirp Kassaris), mis ühe otsaga on maismaale kinnitunud. Merre pikenedes võib maasäär sulgeda lahe. Maasäärte kuju ja suurus oleneb settematerjali hulgast ja koostisest, alusreljeefist ja paljudest teistest teguritest. Need võivad kujuda ka aluspõhjalise kõviku jätkuks (Vääna maasäär). Balti mere varasemate staadiumide maasääri kohtame tänapäeval maismaal (Iru, Kirbla maasäär). Kuhjumistingimuste ja kuju järgi eristatakse silmusjaid ja nooljaid

maasääri. Maasäärte liitvormiks on **tombolo**, kuhjevorm, mis ühendab mandrit lähedal asuva saarega või kaht saart. Tombolo näiteks on Toompea klindisaare ühendus Tõnismäega (Antsüluse ajast).

Pisipinnavormidena esineb vähepäisivaid laineviresid, rõõneid ja lookeid.

Tuuletekkelised pinnavormid. Tuuletekkelisi ehk eoolilisi pinnavorme esineb peamiselt mere- ja järvesetete levikualal. Tuul paigutab liiva ümber seal, kus liivased setted on kamardumata. Mere ja järve rannas või vanemate pinnavormide kamardumata nõlvadel tekitab tuul **tuuleviresid** – 1–5 cm kõrguseid paralleelseid looklevaid liivavallikesi, mis paigutuvad risti tuule suunaga. Sagedased eoolilised kuhjevormid on **luited** – randades või rannast kaugemal paiknevad asümmeetrilise ristlõikega liivavallid, mille tuulepealne nõlv on järssem ja tuulealune laugem. Eesti luited on enamasti 5–15 m kõrgused ja 50–150 m pikkused vallid või kaared, mis sageli on liitunud luiteahelikeks ja luites-tikeks (Peipsi, Narva-Jõesuu, Vääna-Jõesuu jt). Muutliku tuule suunaga tekivad korrapäratud luitestikud (Kõpu poolsaarel). Taimkatteta luidete edasikandel tuulega kujunevad rändavad luited.

Tuul tekitab ka kulutusvorme ehk **ärapuhumisnõgusid** – piklikke ovaalseid nõgusid valitsevate tuulte suunas. Vanade suuremate luidete pealtnuulenõlvalt puhutakse liiva ära ja sinna tekivad **tuulekraavid**. Ärapuhutud liiv kuhjub altnuulenõlvale uueks luitteks (Peipsi luitestik).



Joonis 10. Vilsandi karriväljadel on kivimite pealispind karstunud. Foto: I. Tuuling.

Merelainete murrutava tegevuse toimel on luitestikud sageli oma esialgse kuju kaotanud ja saanud ebatüüpilise kuju. Ebasoodsalt mõjuvad tegurid on ka maatõus, veekogu taseme muutused jm. Maatõusul jäävad luited oma toitealast kaugemale. Veekogude veetaseme tõusul (transgressioonil) kannab murrutus luitet ära, kuid samas toob kohale ka uut settematerjali. Eesti suuremad luited ongi seotud Balti jääpaisjärve, Antsülusjärve ja Litoriinamere transgressiivsete faaside rannajoontega (Häädemeeste ümbruses, Tõstamaa poolsaarel jm). Luidete looduslik kinnistumine taimkattega on aeglane, seda kiirendab inimtegevus.

Korrosioonilised pinnavormid. Sademete vesi ja kivimite lõhedes liikuv vesi tungides kivimite pooridesse hakkab kergesti lahustuvaid kivimeid lahustama. Lahustunud osakeste ärakandel tekivad kivimitesse tühikud, õõnsused, lõhed. Seda protsessi nimetatakse karstumiseks ja tekkinud pinnavorme **karstivormideks**. Karstivormide teke ja levik sõltuvad eelkõige ala geoloogilisest ehitusest ja kivimite iseloomust. Oluline on ka intensiivne vee liikumine. Eestis on karst levinud peamiselt Ordoviitsiumi ja Siluri kivimite avamusalal, vähem Kagu-Eestis Devoni karbonaatsete kivimite avamusel.

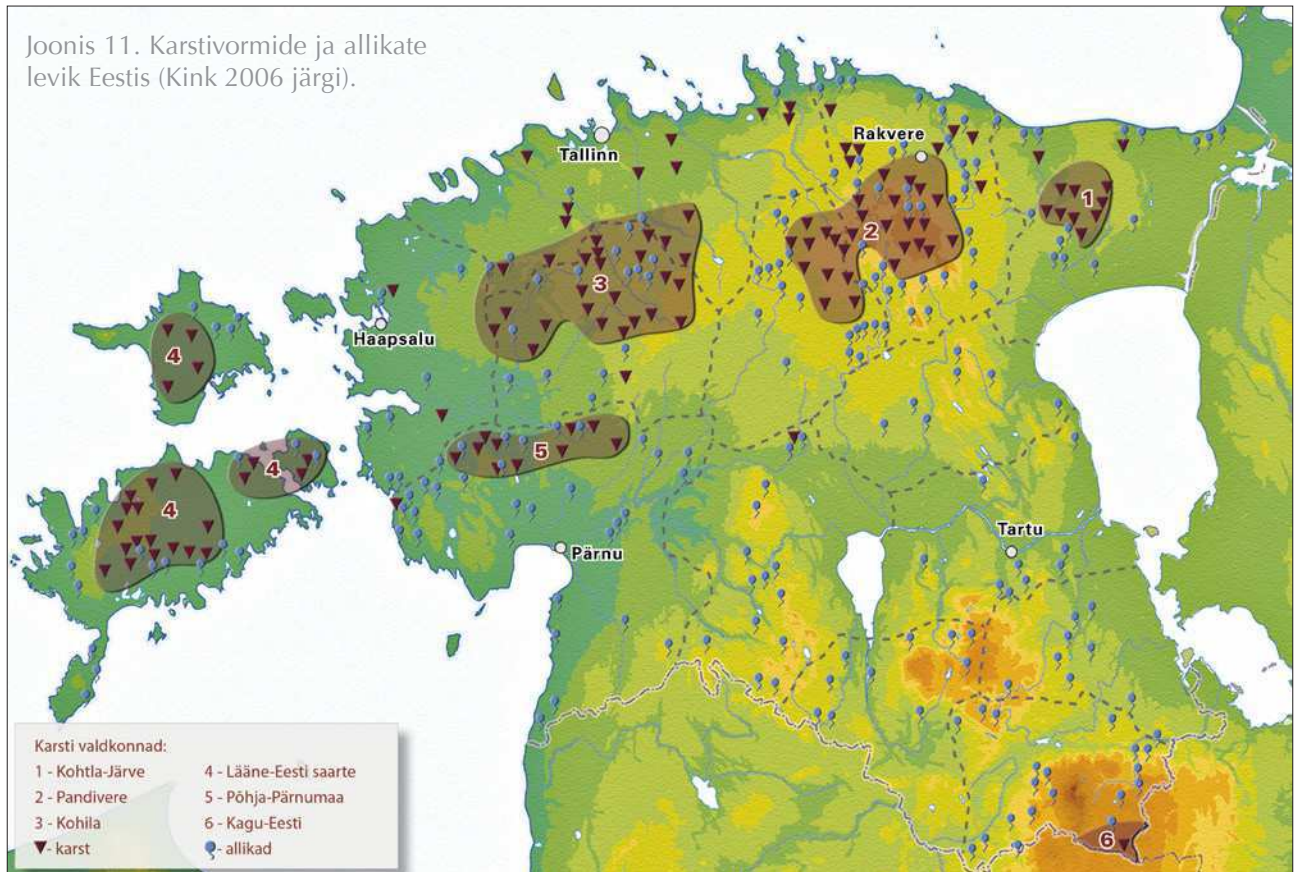
Karst jaguneb paljaskarstiks ja mattunud ehk vene karstiks. Paljaskarsti korral ulatuvad karstunud kivimid maapinnale, mattunud karst kujuneb alal, kus kergesti lahustuvaid kivimeid katavad kas kobedad setted või raskemini lahustuvad kivimid. Kõige lihtsamaks

karstivormiks on konarlikuks lahustunud tasase lubjakivi pind ehk karr. **Karrid** on karsti arengu algetapp. Karre kohtame Vilsandi ja Vaika saartel, kus meri murrutab aluspõhja pinda ja lahustab kivimeid, aga ka loopealsetel (joonis 10). Karre on kahte tüüpi – korrapäratu kujuga lohukesed ja pikemad (kuni 10 m) vaod tektooniliste lõhede kohal.

Karbonaatsete kivimite pinnal tekivad avused ja lõhed, mida mööda vesi tungib

sügavamale kivimisse ning uuristab uusi maapealseid karstivorme – avalõhesid, karstilehtreid, kurisuid, häile ja karstiorge. **Avalõhed** võivad väga õhukese pinnakattega aladel olla mitme meetri sügavused. **Karstilehtrid** on piklikud koonusjad süvendid, kuhu koguneb pinnavesi, mis veevaesel ajal kaob. Suuremate lehterjate süvendite põhjas võib sade- ja sulavesi neelduda lõhedesse. Neid pinnavorme nimetatakse **kurisuteks**, mis oma olemuselt on langatuslehtrid suurte karstitühimike kohal. Kurisud võivad tekkida ka tühimike lagede sisselangemisel. Kurisud on Eestis enamlevinud karstivormid (Aravetel, Jõelähtmes, Kostiveres). Kurisute liitumisel kujunevad karstiorud – järsuveerulised kastikujulise põhjaga nõod, mille pikkus võib olla kilomeetreid, sügavus on aga karstuvate kivimite paksusest. Kuival perioodil kaob orgudest vesi (Tuhalas, Pandivere kõrgustikul, Uhakus, Kostiveres). Kurisute liitumisel tekkinud tasase põhja ja järskude veerudega nõgu nimetatakse **hailuks**. Hailu põhjas võib olla ajutise iseloomuga karstijärv, kust kuival ajal vesi kaob ning nõo põhi kamardub.

Maa-alused karstivormid tekivad siis, kui lahustav vesi jõuab põhjavee tasemeni ja liigub horisontaalselt. Lõhede ristumis- ja hargnemiskohtades võib kujuneda suuremaid ja avaramaid tühimikke – **karstikoopaid** ja käikude liitumisel tunnelkoobaste süsteeme. Karstikoopaid leidub Põhja-Eestis ja Lääne-Eesti saartel, aga ka Kagu-Eestis Devoni karbonaatsete kivimite avamusalal. Maa all mööda koopaid ja tühimikke voolavad **salajõed**. Maapealne jõgi kaob karstialal kurisute kaudu maa alla ja väljub maa peale tagasi



karstiallikana. Karstiallikad liigitatakse lange- ja tõusuallikateks. Langeallikad on enamasti nõlvadel ja jalamitel, kus vabapinnaline põhjavesi voolab välja ja moodustab oja alguse (paljud Pandivere kõrgustikult algavad jõed). Tõusuallikad esinevad alal, kus põhjavesi tõuseb hüdrostaatilise jõu mõjul lohkude või nõgude põhjas üles (Tuhala).

Eestis on eraldatud kuus karsti valdkonda (joonis 11): Kohtla-Järve, Pandivere, Kohila, Lääne-Eesti saarte, Pärnu ja Kagu-Eesti, kus esineb erinevaid karstivorme.

Karstumine on inimese majandustegevuses üks kõige olulisem looduslik protsess, millega peab arvestama maavarade otsingutel ja kaevandamisel, ehitustegevuses, veemajanduses, asulate planeerimisel jm.

Raskusjõulised ehk **gravitatsioonilised pinnavormid rusukalletena** paiknevad peamiselt Põhja-Eesti pae-kaldal või aluspõhja lõikunud järsuveerulistest orgudes ning kujutavad paelahmakatest, liivakivist ja muust murendmaterjalist kuhjatisi veeru jalamil. Rusukalde teket soodustavad püstitõhed. Rusukalle jääb püsima vaid seal, kus kukuvad alla suured pankad ja on palju murendmaterjali. Rannalähedasel alal kannab laine-tus suure osa murendmaterjalist ära. Merest kauge-male jäävate pankade alune rusukalle kaitseb panga jalamit murrutuse eest.

Maalihe on pinnasekihi või -kihtide (maalihekeha) liikumine nõlval raskusjõu mõjul. Maalihked võivad olla aktiivsed või passiivsed. Kuju järgi eristatakse liuglihkeid, trepplihkeid ja maaroomi. Maalihkeid esi-neb pankrannikul, kus jalami ees paljandub sinisavi, ja viirsavidesse lõikunud orgudes. Lihke põhjustab nõlva jalami uhtumine, järsk veetaseme langus orgu-des või inimese ebaõige ehitustegevus.

Maalihkeid on teada Lääne-Eesti viirsavidesse lõiku-nud jõeorgudes ja nõlvadel, kus peamiseks põhjuseks on lihekeha ülekoormamine ja puudulik vastukaal, harvem jõekalda erosioon. Suuremaid maalihkeid on olnud Pärnu, Sauga, Keila ja Vääna jõel.

Elutekkelised ehk **biogeensed pinnavormid** seostu-vad eelkõige soodega. Sooks loetakse liigniisket tur-base pinnakattega ala, kus turba paksus on vähemalt 30 cm. Õhema turbaga alasid nimetatakse soostunu-teks. Soode areng Eesti alal algas varsti pärast viimase jääaja lõppu umbes 10 000–9000 aasta eest.

Sood tekivad maismaa soostumise tulemusel või vee-kogude kinnikasvamisel. Soode tekkeks ja arenguks on vaja, et sademete hulk ületaks aurumist maapin-nalt ja pinnas oleks halvasti vettjuhtiv. Peab tekkima turvas, mis on sisuliselt sootaimede surnud osade



Joonis 12. Kaasikjärve raba Endla soostikus.

lagunenud mass. Eesti pinnamood ja savikad setted soodustavad soostumist.

Tekketingimuste järgi on sood maismaatekkelised ja järvetekkelised. Arenguastme järgi on Eestis kolme tüüpi soid: madal-, siirde- ja kõrgsood ehk rabad.

Madalsoo on soode esimene arenguaste ja sellele on omane toitumine mineraalainerikkast põhja- ja pinnaveest. Turvas on tekkinud puude ja rohttaimede lagunemisel. Soo pind on tasane või nõgus. **Siirdesoo** on üleminekuetapp madalsoost rabaks. Soo pind on tasane, esineb mätaid, mätastel kasvavad rabataimed, lohkudes madalsootaimed. **Kõrgsoo** ehk **raba** on soo viimane toitainetevaene arenguaste. Toiteallikaks on ainult sadeveed ja taimestik on eelmistest etappidest liigivaesem, ülekaalus on samblaturbad.

Madalsoode hulgas eristatakse allikasoid, lammi-soid, lubjarikkaid ja lubjavaeseid soid. **Õõtsiksood** on tekkinud lainetuse eest kaitstud veekogude kinnikasvamisel õõtsuva kamaraga. **Lammisood** kujunevad perioodilise üleujutusega jõgede lammidel, harvemini järvede ääres madalatel luhtadel. Lammisood toituvad toitainerikkast tulvaveest. **Allikasood** paiknevad survele põhjavee avamusalal orgude veerudel, nõlvade jalamil, ka veekogude kaldail. Karbonaatiderikas põhjavesi setitab allikate ümbruses allikalubja kuhjatisi. Allikaid kohtab eelkõige Pandivere ja Sakala kõrgustiku äärealadel, Korva luhal, Emajõe orus.

Eesti ala rabad jagunevad kahte geomorfoloogilise tüüpi: järskude nõlvadega keskelt tasased **plato-**

rabad ja kumerad laugete nõlvadega **kumerrabad**.

Platoorabad paiknevad enamuses Lääne-Eestis. Rabarinnak võib ulatuda suurematel soodel isegi enam kui 5 meetri kõrguseks. Kumerraba profiil on selgelt kumera joonega ja tüüp on iseloomulik just Ida-Eesti rabadele. Rabapinna kumerus määrab vee liikumise. Suurtes rabades vee väljavoolu tee pikeneb ja raba kõrgema keskosa ümber tekivad ringidena veekogud – **älved**

ja **laukad**, nende vahele jäävad peenrad (joonis 12). Arengu käigus võivad soid liigestada ojad, sood võivad ka üksteisega liituda ulatuslikeks soostikeks. Eestis esineb soid igas kandis, kuid enam Peipsi järve nõos ja Lääne-Eesti madalikul. Sood, eriti aga rabad, on veehoidlad, kus vesi talletub turbas, laugastes ja soojärvedes. Soo on puhta vee säilitaja, seega keskkonnakaitselise tähtsusega, geoloogilisest aspektist ka maavara leiukoht (turvas, turbamuda).

Inimtekkelised ehk **tehnogeensed pinnavormid**. Inimtegevuse mõju pinnavormidele on suhteliselt hiljutine. Inimene hakkas muutma looduslikke ja tekitama uusi pinnavorme linnamägede ja vallikraavide rajamisega, siis ka paemurdmise ja savivõtuga. Muinasajal aga ka hiljem kaevati varjumiseks pelgukoopaid, eriti Lõuna-Eestis liivakivi avamusalal (Koorküla, Helme, Ahja ja Võhandu jõe orus). Põllunduse arenedes hakati kivistama maad, kaevati kraave, tiike ja süvendati jõesänge. Tööstuse ja transpordi arenedes ehitati teetamme, hakati kaevandama ehitusmaterjale – Kirde-Eestis põlevkivi, Maardus fosforiiti, mitmetes kohtades savi jne. Kaevandamise käigus kuhjusid ka aherained ja tuhamäed.

Ka tehispinnavormid võib jagada positiivseteks, neutraalseteks ja negatiivseteks. Suurema levikuga on negatiivsed pinnavormid: arvukad põlevkivi-, savi-, liiva-, pae- ja turbakarjäärid. Siia kuuluvad ka maalusel kaevandamisel tekkinud varingunõod. Kõige suuremad negatiivsed vormid on Kirde-Eestis põlevkivi tootmisalal, kus näiteks Vanaküla karjäär on üle

14 m sügav. Neutraalsed tehispinnavormid on tasandikulised alad, kuhu on kuhjatud puistanguid, mis hiljem on tasandatud, ja ka freesimisjärgsed tasandikulised turbaväljakud soodes. Positiivsete tehispinnavormide seas on silmatorkavamad tuhaterrikoonikud (Kiviõli „mägi“ ulatub 115 meetrini ja Kohtla-Järvel üle 50 meetri). Koonilisi künkaid on ka Maardus fosforiidi kaevandamise piirkonnas. Hilisemal ajal on hakanud maastikku ilmestama prügilate rajatised. Omapäraseks pinnavormiks on inimtekkelised koopad, mis on loodud kas pelgu- või elupaikadeks, keldriteks või liivakivist liiva ammutamiseks (Ülgase käigud fosforiidi väljamiseks, Aruküla koopad Tartus, Piusa klaasiliiva kaevandus).

Inimtegevus on reljeefi muutnud ja pinnavorme ka hävitanud. Kruusa ja liiva kaevandamisega on hävitatud fluvio- ja limnoglatsiaalseid mõhnu, oose (Vooremägi, Uljaste oos, Pahnimägi jt).

Lugemissoovitus

Arold, I. 2005. Eesti maastikud. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, 453 lk.

Arold, I., Raukas, A., Viiding, H. 1987. Geoloogia alused. Valgus, Tallinn, 198 lk.

*Eklund, O., Soesoo, A. 2007. Kristalsed kivimid Lõuna-Soomes ja Eestis. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

*Ilomets, M., Kimmel, K., Sten, C., Korhonen, R. 2007. Sood Eestis ja Lõuna-Soomes. Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

Kajak, K. 1995. Eesti kvaternaarisetete kaart. Mõõtkava 1:2 500 000. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 20 lk.

*Kleesment, A., Nestor, H., Soesoo, A. 2006. Devon Eestis. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

*Maa-amet. 2015. Eesti geoloogilise digitaalkaardistamise (mõõtkavas 1 : 50 000) juhendi seletuskiri (versioon 2.4), 55 lk.

Mander, Ü., Liiber, Ü. 2014. Üldmaateadus. Õpik kõrgkoolidele. Tartu Ülikool, Loodus- ja tehnoloogia-

giateaduskond, Ökoloogia ja maateaduste instituut, Tartu, 486 lk.

*Nestor, H., Soesoo, A. 2006. Silur Eestis. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

*Nestor, H., Soesoo, A., Linna, A., Hints, O., Nõlvak, J. 2006. Ordoviitsium Eestis ja Lõuna-Soomes. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

Pirrus, E. 2001. Eesti geoloogia. Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut, Tallinn, 71 lk.

*Pirrus, E., Nestor, H., Soesoo, A., Linna, A. 2006. Vend ja Kambrium Eestis ning Lõuna-Soomes. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

*Puura, V., Vaher, R. 1997. Tectonics. Raukas, A., Teedumäe, A. (toim.) Geology and mineral resources of Estonia. Institute of Geology, Estonian Academy Publishers, Tallinn, 163–180.

Raukas, A. 1988. Eestimaa viimastel aastamiljonitel. Valgus, Tallinn, 279 lk.

Raukas, A. (koostaja) 1995. Eesti. Loodus. Valgus, Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 606 lk.

*Raukas, A., Karhima, A. 2007. Liustike pärandus Lõuna-Soomes ja Põhja-Eestis. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

Rõõmusoks, A. 1983. Eesti aluspõhja geoloogia. Valgus, Tallinn, 224 lk.

Suuroja, K. 2005. Põhja-Eesti klint. Eesti Geoloogiakeskus. 220 lk. [internetis: Põhja-Eesti klint – Eesti looduse sümbol].

Suuroja, K. 2008. Kärkla meteoriidikraater. Eesti Loodusmonumendid. GeoTrail KS, 64 lk.

*Tiirmaa, R., Puura, V., Soesoo, A., Suuroja, S. 2006. Eesti meteoriidikraatrid. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 31 lk.

* leitav internetist.

3. EESTI ALUS- JA PEALISKORRA KIVIMID

Kivim on loodusliku kristalliseerumise või ümberkristalliseerumise teel tekkinud kõvastunud mineraalide kogum. Tekkeviisi järgi jagatakse kivimeid kolme rühma: tard-, moonde- ja settekivimid.

Maapõue sügavusest kerkinud magmast sündinud tardkivimeist saab tuule, vee ja temperatuuri mõjul liiv, savi ja lubi, mida vooluveed siis hoolega settebasseinidesse (veekogudesse) kannavad. Veekogudesse kuhjunud setted tihenevad ja kõvastuvad aegapidi kivimeiks. Liivast saab liivakivi, savist savikilt, lubimudast lubjakivi jne.

Mandriilaamade kokkupõrke tsoonis (subduktsioonivööndis) ookeanilise maakoore plokkidega maapõue sügavustesse kantavatest settekivimitest saavad sealse kõrge temperatuuri ja rõhu tingimustes moondekivimid: kvartsiivakivist kvartsiit, arkoosliivakivist graniitgneiss, lubjakivist marmor, dolomiidist (dolokivist) amfiboliit, savikildast vilgugneiss, savi ja liivakivi segudest mitmesugused gneisid jne. Kusagil 40 km sügavuses ja enam kui 700 °C temperatuuril saab

maapõues settekivimitest jälle sulakivim – magma. Lõhevöönditesse koondunud vulkaanide kaudu kerkitab vasttekkinud magma uut ringi alustades maakoore ülaossa. Ka moondekivimite lasund ei leia subduktsioonivööndis rahu ning moondekivimite kurrutatud ja üksteise peale surutud plokid alustavad mäetekke (orogeneesi) käigus teed üles päevavalguse poole, et sealt siis jälle uut kiviringi alustada.

Eesti vanimateks kivimiteks arvatakse olevat Lõuna-Eesti gneisid (umbes 1,9 miljardit aastat). Enam kui miljardi aasta vanuseid kivimeid leidub pea kõigi kontinentide tuumikuks olevate vanade jäigastunud kontinentaalset tüüpi maakoore plokkide südames. Teistsugune on lugu ookeanide puhul, kus maakoore on palju noorem (mitte üle 180 miljoni aasta), liikuvam ja õhem (2–10 km). On kindlaks tehtud, et maakoore ei olegi nii püha ja puutumatu nagu mõne suurriigi territoorium, vaid et seda tekib ookeani keskahelike piires juurde ja teisel (subduktsioonivööndites) jälle hävib (sukeldub vahevöösse ja sulab üles).

TARDKIVIMID

Tardkivimid tekivad vahevööst maakoore tunginud sulakivi ehk magma tardumisel maakoore, maapinna läheduses või siis lausa maapinnal. Tardumiskohast lähtuvalt jagatakse tardkivimid **süvakivimeiks** (kristalliseeruvad aeglaselt sügavamal maapõues), **soonkivimeiks** (kristalliseeruvad suhteliselt kiiresti soontena) ja **purskekivimeiks** (kristalliseeruvad väga kiiresti maapinnal). Purskekivimid jagatakse omakorda kaino- ja paleotüüpseteks. See jaotus ei põhine otseselt kivimite vanusel, vaid sellel, kas nad on värsked või muutunud. Vulkaanilist klaasi sisaldavad ainult kainotüüpsed purskekivimid, kuid ka neis on vulkaaniline klaas juba mingil määral ümber kristalliseerunud ja peitkuni peenkristalliliste mineraalide massiga asendunud.

Tardkivimeid klassifitseeritakse valdavalt nende keemilise ja mineraalse koostise alusel. Keemilisest koostisest lähtudes on määravaks ränidioksiidi (SiO_2) ja leelisoksiidide (K_2O , Na_2O) sisaldus. Ränidioksiidi sisalduse alusel jaotatakse tardkivimid **happelisteks** ($\text{SiO}_2 > 65\%$, graniit jt), **keskmisteks** (SiO_2 52–65%, dioriit jt), **aluselisteks** (SiO_2 45–52%, gabro jt) ja

ultraaluselisteks ($\text{SiO}_2 < 45\%$, pürokseniit jt). Leeliskivimid on leelisoksiide sisaldavad keskmise koostisega tardkivimid (süeniit jt).

Maapinnal on enam levinud keskmise (andesiidid) ja aluselise (basalidid) koostisega purskekivimid ning neid on kuni neli korda rohkem kui happelisi vulkaaniite (rüoliite). Süvakivimite seas on olukord aga vastupidine – üle 90% neist on happelised (graniidid ja granodioriidid). Tekkelt üsna tardkivimite sarnased, kuid samas ka settekivimitega mitmeid ühiseid jooni omavad, on vulkaanipursetel õhku paisatud materjali mahasadamisel tekkinud **püroklastilised kivimid**.

Püroklastiliste kivimite hulka saab Eestis lugeda Ordoiviitiumi ja Siluri paekivide lasundis olevaid arvukaid vulkaanilise tuha ehk K-bentoniidi (varem metabentoniidid) kihte. Vulkaanilise tuha kihtide paksus on tavaliselt mõnest kuni kümnekonna sentimeetrini, aga Hiiumaal, Kärkla meteoriidikraatri süvikus, küünib selle regiooni түседama Kinnekulle bentoniidi paksus kuni 80 sentimeetrini.

Happeliste kivimite tunnusmineraal on kvarts ehk ränioksiid (SiO_2). Keskmistes ja leeliselistes kivimites on kvartsi vähe, aluselistes ja ultraaluselistes kivimites puudub kvarts aga sootuks. Happeliste ja leeliseliste tardkivimite tunnusmineraal on kaaliumpäevakivi. Pea kõik tardkivimid sisaldavad plagioklasse. Hapelistes ja leeliselistes tardkivimeis on valdavaks naatriumi-rikkamad plagioklassid (albiit, oligoklass) ning keskmistes kuni aluselistes kaltsiumi-rikkamad plagioklassid (bütauniit, labrador) ja ultraaluselistes anortiit.

Päevakivid, millest koosneb ligi 60% maakoorest, on kõige laiemalt levinud kivimit moodustavad mineraalid Maal. Kuigi päevakivi nimetuses sisaldub sõna „kivi“, ei ole tegemist mitte kivimite, vaid mineraalidega. Päevakivid kuuluvad pea kõigi tardkivimite koostisesse ja neid on rohkesti ka moondekivimites. Hoolimata sellest, et päevakivid on suhteliselt kergesti murendatavad, on nad ka purdsetetes kvartsi järel tähtsuselt teiseks mineraalirühmaks.

Keemilise koostise alusel jagunevad päevakivid – leelispäevakivideks ehk kaalium-naatriumpäevakivideks ($(\text{K},\text{Na})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) ja plagioklassideks ehk naatriumkaltsiumpäevakivideks ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]-\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$). Leelispäevakivid ei ole leeliselised selle sõna otseses mõttes, vaid nende nimi tuleb sellest, et kaalium ja naatrium on leelismetallid. Pea puhas naatrium-

päevakivi ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) on albiit ja kaltsiumpäevakivi ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$) – anortiit. Nende kahe äärmise vahele jäävad kaltsiumi osakaalu suurenemise järjekorras oligoklass (10–30%), andesiin (30–50%), labrador (50–70%) ja bütauniit (70–90%).

Ka tumedad mineraalid (vilgud, amfiboolid, pürokseenid, granaadid jt) kannavad olulist informatsiooni tardkivimite päritolu ja koostise kohta. Tumedatest mineraalidest on biotiit levinum vilk hapelistes, amfiboolid keskmistes ja leeliselistes ning pürokseenid aluselistes ja ultraaluselistes tardkivimites. Tardkivimite mineraalne koostis allub kindlatele reeglitele ja nii ei saa kivim korruga sisaldada aluselist ja hapelist plagioklassi, kaaliumpäevakivi ja aluselist plagioklassi, kvartsi ja oliviini.

Happelised tardkivimid ei ole mitte ainult heledamat värvi, vaid ka väiksema tihedusega (kuni $2,7 \text{ g/cm}^3$). Keskmiste kivimite tihedus on kuni $2,9 \text{ g/cm}^3$, aluselisel kuni $3,1 \text{ g/cm}^3$ ja ultraaluselistel kuni $3,3 \text{ g/cm}^3$.

Tardkivimi struktuur peegeldab kivimi koostisosade (kristallide) suurust, kuju ja vastastikust suhet. Kivimi tekstuur – see on eelkõige kristallide orientatsioon. Kivimi struktuur ja tekstuur koos annavad tunnistust aga kivimi tekketingimustest. Mida jämedamakristallilisem on tardkivim, seda sügavamal maapõues ja aeglasemalt see kristalliseerus. Väga kiiresti maapinnal laavavooludes tahkunud tardkivimid võivad endas

Tabel. Tardkivimite tüübid

Kivimirühm	Kivimitmoodustavad mineraalid	Süvakivim	Pool süvakivim	Purskekivim	
				Paleotüüpne	Kainotüüpne
Happelised	kvarts, K-päevakivi, Na-plagioklass, biotiit, amfibool	graniit	graniit-porfüür	kvarts-porfüür	rüoliit (lipariit)
	K-päevakivi, Na-plagioklass, kvarts, biotiit, amfibool	granodioriit	granodioriit-porfüür	datsiit-porfüür	datsiit
Leeliselised	K-päevakivi Na-plagioklass, biotiit, amfibool	süeniit	süeniit-porfüür	trahhüüt-porfüür	trahhüüt
Keskmised	Na-Ca plagioklass amfibool, biotiit, kvarts	kvarts-dioriit	kvarts-dioriit-porfüür	kvarts-porfüür	andesiit
	Na-Ca plagioklass amfibool, pürokseen, biotiit	dioriit	dioriit-porfüür	andesiit-porfüür	andesiit
Aluselised	Ca-plagioklass pürokseen, amfibool	gabro	gabro-porfüür diabaas	basalt-porfüür	basalt
Ultraaluselised	pürokseen, oliviin	pürokseeniit	–	–	pikriit kimberliit



Porfüüritaolise struktuuriga rabakivi. Foto: K. Suuroja.

sisaldada kristallitult ehk amorfset ainet – vulkaanilist klaasi (obsidiaani).

Kristalli suuruse järgi eristatakse **jämedakristallilisi** (üle 5 mm), **keskmisekristallilisi** (1–5 mm), peenekristallilisi (alla 0,1–1 mm) ja **psi-** ehk **mikrokristallilisi** (alla 0,1 mm) tardkivimeid. Jämedakristalliliste kivimite struktuuri nimetatakse **pegmatiidiliseks**, kui osakeste mõõtmed on üle 20 mm. Mineraalide suhtelise suuruse järgi eristatakse **võrdteralist**, **eriteralist**, **porfüürilist** ja **porfüüritaolist** struktuuri.

TARDKIVIMITE KIRJELDUSI

Graaniit koosneb pea võrdselt kvartsist, kaaliumpäevakivist ja happelisest plagioklassist. Väheimal määral (kuni 10%) esineb graaniidis tumedaid mineraale (vilke, amfibooli jt). Graaniidi tihedus on 2,55–2,7 g/cm³. Selle happelise (SiO₂ > 65%) tardkivimi nimi tuleneb ladinakeelsest sõnast *granum* – tera.

Eestis on graaniit levinuim tardkivim ja seda nii kristalises aluskorras kui rändkivide seas (ligi 80% rändkividest võib nimetada tingimisi graaniidiks).

Tuntud soome geoloog Pentti Eelis Eskola (1883–1964) ütles, et on olemas nii graaniidid kui ka graniidid. Sellega tahtis ta öelda, et graaniidid võivad välja kristalliseeruda magmast, aga tekkida ka süvamoondel.

Võrd- ja eriteraliste erimitega on asi selge. Porfüürilist ja porfüüritaolist struktuuri iseloomustab mõne siliikaatse mineraali (sagedamini päevakivide) peenemakristallilisest põhimassist eristuvad suuremad kristallid. Porfüürilise struktuuri puhul on kivimi põhimass klaasjas ehk peitkristalliline. Porfüüritaolise struktuuri puhul on põhimass peene- kuni keskmisekristalliline.

Porfüürilise struktuuriga kivimiks Eesti aluskorras on Undva kvartsporfüür ja tinglikult ka Neeme rabakivimassis soontena leviv apliitne rabakivi. Rändkivides leidub Läänemere ja Suursaare kvarts- ja plagioklassporfüüre. Laiemalt levinud porfüüritaolise struktuuriga kivimiks Eestis on rabakivid ja neid võib leida nii kristalises aluskorras kui ka rändkivide seast.

Tardkivimite tekstuudid võivad olla massiivsed ja orienteeritud. Massiivse tekstuuriga on tavaliselt tardkivimid, orienteeritud tekstuuriga moondekivimeid. Tüüpiline orienteeritud tekatuur on gneisiline, kus kivimis paiknevad mineraalid ja nende kogumikud on selge orientatsiooniga. Vöödilise (vööline) tekatuur on kivimites, kus selgelt vahelduvad eriilmelised (erivärvilised) kihid. Poorne tekatuur on iseloomulik purskekivimitele, milles esinevad silmale nähtavad erikujulised tühikud ja poorid.

Tardkivimi nimi on enamasti mitmeosaline koosnedes üldnimest (näiteks graaniit või gabro) ja mineraalsest koostisest tulenevatest täiendustest (näiteks plagioklass-mikrokliingraaniit või amfiboliseerunud gabro).

del. Kui kuiva graaniidi sulamistemperatuur tavarõhul on 1215–1260 °C, siis veeauru juuresolekul ja mõne kilobaarise rõhu juures ehk tingimustel, mis valitsevad süvamoondel, alaneb see kuni 650 °C. Graaniitide teket süvamoondel nimetataksegi graaniidistumiseks. Selle protsessi käigus tekivad esialgu varigraniidid. Varigraniit on migmatiidi erivorm, mille graaniitses massis on säilinud veel algkivimi jäänukid. Graaniidiga sarnase keemilise koostisega peenekristallilist purskekivimit nimetatakse rüoliidiks. Graaniitseid kivimeid on eriti palju maakoore ülaosas ja seepärast nimetataksegi kontinentaalse maakoore ülaosa mõnikord ka graaniitseks maakooreks. Graaniit on Soome rahvuskivi.



Graniit.

Graniidimassiivide kontaktidega on seotud arvestatavad Sn, W, Mo, Cu, Pb, Zn jt maardlad. Graniidi kasutatakse ehituskivina. Graniitne killustik, olgu ta siis graniidist või amfiboliidist, ongi sageli kõrgekvaliteetse killustiku üldnimetus. Seejuures peab aga meele pidama, et killustiku valmistamiseks kõlbavad üksnes graniidi peene- ja keskmisekristallilised erimid.

Rabakivi (soome *rappakivi*; ingl *rapakivi*; saksa *Rapakivi*) – see kivim ja sõna on eelkõige soomlaste kingitus maailmale, sest termini "rabakivi" tõi geoloogilisse kirjandusse soome geoloog Jakob Johannes Sederholm (1863–1934). Kivimi nimetus tuleneb eesti keeleski kergesti äratuntavast soomekeelsest sõnast "rapua" – rabe. Ja seda see porfüürilaadse struktuuriga leelisgraniidi erim tõesti ka on. Rabakivi põhimass koosneb keskmisekristallilisest kvartsist, plagioklassist ja tumedast mineraalset (biotit, amfibool), milles on lõheroosa kaaliumpäevakivi suuri (1–10 cm) ovaalseid kristalle. Eestis levivate rabakivide seas eristatakse kaht rabakivi tüüpi: viiburgiiti ja piiterliiti.



Viiburgiidne rabakivigraniit.

Viiburgiit on rabakivi, milles kaaliumpäevakivi ovaalsed kristallid (ovoidid) on ümbritsetud plagioklassist (oligoklassi) äärisega. Viiburgiit – see päris õige ja klassikaline rabakivi, on nime saanud Viiburi rabakivimassiivilt, viimane omakorda aga Viiburi linnalt.

Piiterliidis puuduvad kaaliumpäevakivi kristallidel äärised. Nime on piiterliit saanud Kagu-Soomes Viiburi massiivil asuvalt Piiterlahtilt, kus asus ajalooliselt tuntud karjäär.

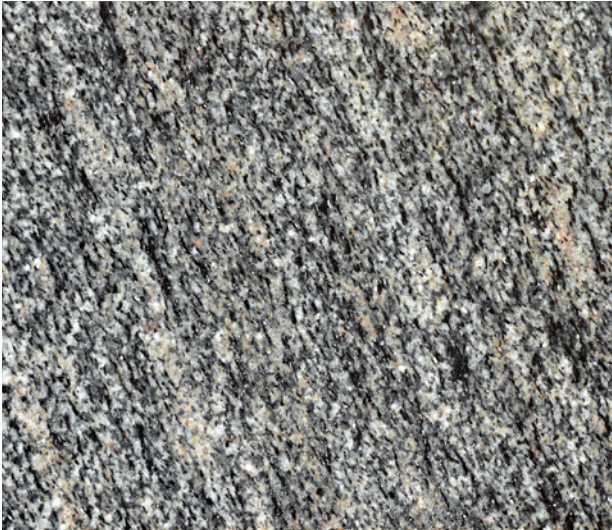
Eestis on rabakivi rohkesti. Piiterliitset tüüpi rabakivi väiksemaid massiive leidub ka Eesti kristalses aluskorras: Märjamaa, Naissaare, Neeme, Ereda ja Taebla piirkonnas. Saaremaale ulatub hiiglasliku Riia rabakivimassiivi põhjaosa.

Rabakivi on ka levinuim kivimtüüp Eesti suurte rändrahnude seas. Põhja-Eesti idaosa rabakivist rändrahnud pärinevad Viiburi massiivilt, keskosas Soome lahe põhjaranniku ja lahe põhjas olevatelt väiksematelt rabakivimassiividelt. Eesti lääneosa rabakivirahtud pärinevad aga Edela-Soome ja Ahvenamaa rabakivimassiividelt.

MOONDEKIVIMID

Moondekivimid tekivad sette-, tard- või siis esmastest moondekivimitest moonde tagajärjel. Suurt osa moondes (metamorfismis) etendavad kivimi poorides olevad lahused ja gaasid ning väljastpoolt juurde kantud komponendid. Vastavalt sellele, milline tegur on moondel valdavaks, eristatakse süva-, kontakt-, purustusmoonet.

Süvamoone (ka regionaalmoone) on moone selle sõna kõige laiemas tähenduses. Kui kivimid maakoore plokkide vertikaalsetel liikumistel laamade pörkepiirkonnas kantakse suurde sügavusse kõrge rõhu ja temperatuuri tingimustesse, siis maapinna läheduses kujunenud kivimite mineraalne koostis satub vastuollu uue keskkonna tingimustega. Nii hakkavadki



Gneiss.

kivimeis toimuma muutused, mis püüavad viia kivimi mineraalset koostist ja struktuuri vastavusse uute tingimustega.

Süvamoone toimub maapõues 20–30 km sügavusel, 600–700 °C temperatuuril ja 5000–10 000 atmosfäärise rõhu all. Temperatuuri ülemine piir on määratud kivimite ülesulamise piiriga (umbes 700 °C). Sellest kõrgemal temperatuuril sulavad kivimid üles ja moondekivimist saab sulakivim ehk magma. Süvamoondel saab kvartsiivakivist kvartsiit, lubjakivist marmor, dolomiidist (dolokivist) amfiboliit või pürokseengneiss, päevakividerikkast arkoosliivakivist gneissgraniit, savikivimist granaat-vilgugneiss, basaldist amfiboliit jne. Võimalusi nii nagu kivimeidki, on palju. Süvamoonde tipp hetkel ehk enne kivimite ülesulamist tekkisid migmatiidid ja varigraniidid.

Moondekivimeid jaotatakse ka moondel valitsetud rõhu ja temperatuuri järgi, mis on vastavalt 1000–10 000 atm ja 200–800 °C. Rõhu suurenemise alusel eristatakse rohekiltade, epidoot-amfiboliitset, amfiboliitset ja granuliitset moondekeskkonda (faat-

siest). Lisaks sellele eristatakse kõrgrõhulisi (rõhk üle 6000 atm) glaukofaankiltade (madalatemperatuuriline, ca 400 °C) ja eklogiitide (kõrgetemperatuuriline, üle 600 °C) faatsiesi. Eesti kristalse aluskorra moondekivimid on tekkinud valdavalt amfiboliitse (550–700 °C; Põhja- ja Lääne-Eesti) ja granuliitse (700–800 °C; Lõuna-Eesti) faatsiese tingimustes.

Kontaktmoone on magmamassiivi poolt kantud soojuse ja lahuste või gaaside (fluidide) koosmõjul ümbriskivimite esile kutsutud muutused. Graniidimassiivide ja karbonaatkivimite kontaktmoondel kujunevad maake (raud, vask jt) ja mitmeid vääriskive (granaate jt) sisaldavad skarnid.

Purustusmoone on suuremate kivimilaamade liikumisel kontaktitsoonis aset leidev kivimite purustus. Seejuures olulisi mineraalseid muutusi algkivimis ei toimu, toimub vaid mineraalide purustus. Seeläbi tekkinud kivimeiks on müloniit (jahutaolise massini purustatud kivim) ja kataklasiit (vähem purustatud kivim). Kui müloniite ja kataklasiite leidub nii Eesti kristalses aluskorras kui rändkivide seas, siis kõrgsurve tagajärjel tekkinud glaukofaankiltu ja eklogiite Eesti aluskorrast ega rändkivide seast ei ole leitud. Ka vulkaani- või meteoriidiplahvatustel tekkinud bretšasid loetakse purustusmoonde produktideks.

Moondekivimite struktuurid ja tekstuudid on väga mitmekesised. Struktuuride määramisel arvestatakse ümberkristalliseerumise, purustuse ja säilinud reliktsete struktuuride osatähtsust. Tekstuudid osas on iseloomulik mineraalide orienteeritus.

Moondekivimite (tavaliselt gneisid või amfiboliidid) põhinimetuses on kivimis esinevad iseloomulikud mineraalid reastatud nende hulga kasvavas järjekorras vasakult paremale. Tihti võib sellise gneisi nimetus olla mitmeosaline, näiteks granaat-kordierit-biotiit-gneiss sillimaniidiga.

MOONDEKIVIMITE KIRJELDUSI

Amfiboliit (kreeka sõnadest *amphibolos* – kahemõtteline ja *lithos* – kivi) on rohekas kuni must aluselise koostisega moondekivim, mis koosneb ligilähedaselt võrdsest kogusest amfiboolist (küünekivist) ja aluselise või keskmisest plagioklassist. Amfiboliiti nimetatakse rahvapäraselt ka varesekiviks.

Amfiboliit tekib kas merglite või siis aluseliste vulkaaniliste või tardkivimite (gabro, basalt jt) süvamoondel amfiboliitse faatsiese tingimustes. Reeglina on amfiboliidil moondekivimeile omased orienteeritud struktuurid nõrgalt välja kujunenud. Amfiboliidi tiheus on 2,9–3,2 g/cm³ ja see leiab kasutamist nii killus-



Amfiboliit.

tiku kui ka viimistluskivi valmistamisel. Eesti kristalses aluskorras on amfiboliiti rohkesti, vähemal määral leidub seda ka rändkivide seas.

Gneiss on süvamoondel tekkinud kivim, mida iseloomustab tumedate (vilgud, küünekivi jm) ja heledate (kvartsi, päevakivid jm) mineraalide kihtide vaheldumisest tekkinud vöödilise tekstuur. Sõltuvalt koostisest tuntakse biotiit-, amfibool-, granaat-, graniitgneiss jne). Nime esimene pool võib viidata ka gneisierimi struktuursetele iseärasustele (silmsigneiss). Gneisside seas, mis tekivad süvamoonde viimasel etapil, eristatakse algvimmi päritolu järgi orto- ja paragneisse. Ortogneissid on tekkinud magmakivimite ja paragneissid settekivimite süvamoondel.

Gneissi on migmatiidist sageli keeruline eristada, sest osaliselt ülesulanud gneiss ongi migmatiit. Samas ei ole selge, mil määral peab gneiss olema üles sulanud, et olla migmatiit. Sellist kivimit nimetatakse siis migmatiidistunud gneissiks.

Gneissid kuuluvad Maa vanimate kivimite hulka ja nii on Kanada kilbil leitud Acasta gneisside vanuseks saanud ligi neli miljardit aastat. Eesti kristalses aluskorras on gneissid kõige levinum kivimtüüp ja ka rändkivide seas on neid rohkesti.

Kvartsiit koosneb valdavalt kvartsist (üle 50%). Kvartsiidid tekivad kvartsilivakivi moondel (nn esmased kvartsiidid), aga ka nende kontaktmoondel happeliste purske- ja magmakivimitega (nn sekundaarsed kvartsiidid). Lisaks kvartsile võivad kvartsiidid sisaldada veel vilke, kloriiti, päevakive, rauaoksiide jm. Olenevalt lisandeist varieerub kvartsiidi värvus valgest kuni mustani. Esineb ka kollase, roosa, pruuni ja punase



Silmsigneiss.

tooniga kivimit. Kvartsiit erineb tsementeerunud liivakivist selle poolest, et siin ei ole terade piirjooned palja silmaga eristatavad, need on justkui kokku sulanud.

Eesti kristalses aluskorras leidub nii primaarseid kui sekundaarseid kvartsiite. Kvartsiidist on Uljaste ja Assamalla saarmägede tuumikud. Rändkivide seas on kvartsiite üsna harva.

Magnetiitkvartsiit on tumehall heleda-tumeda vöödilise põhiliselt magnetiidist ja kvartsist koosnev moondekivim. Magnetiitkvartsiit on enimlevinud rauamaak maailmas. Maailma suurimad rauamaagi leiukohad (Kurski magnetiline anomaalia ja Krivoi Rog Ukrainas, Olenogorsk Koola poolsaarel, Kostomukša Karjalas, Ülemjärvistu leiukohad USA-s ja Kanadas jt) on seotud magnetiitkvartsiitidega.

Eestis esineb magnetiitkvartsiit Jõhvi rauamaagi leiukohas (pikemalt Eesti sügavamate puuraukude peatükis).

Migmatiit (kreeka keeles *migmatos* – segu) on segakivim tard- ja moondekivimitest. Kord happelisem või aluselisem, tumedam või heledam, roosakas või hallim, vöödilise ja kümme keerdu krussis – selline see migmatiit ongi.

Süvamoonde kõrge temperatuuri ja rõhu tingimustes on tekkinud mitmesugused voolamist meenutavad sooned, mis ei märgista vedela magma voolamist, vaid kivimitmoodustava ainese valikulist ümberpaiknemist. Olenevalt tekstuuridest, s.t tumedama ja heledama komponendi jaotusest, eristatakse migmatiitide seas veel mitmeid erimeid: bretšalaadne, läätsjas-vööline, porfüroplastne, ptigmatiitne (ussjalt vonklevate soontega), silmjase ja vööline.



Migmatiit.

Eestis on migmatiit üheks levinumaks moondekivimiks nii kristalses aluskorras kui rändkivide seas. Viimaste hulgas on migmatiite ligi 20%.

Pegmatiit on suurekristalliline soonkivim, mis tekkinud fluididerikka jääkmagma kristalliseerumisel või moondel. Nimi tuleneb kreeka keelsest sõnast *pēgma* – liitunud ja selle võttis esmakordselt (1801) tarvitusele tuntud prantsuse mineraloog R. J. Haüy (1743–1822). Esialgu oli nimi mõeldud tähistama pegmatiidiga sageli kaasnevat kivimit – kirigraniiti (juudikivi). Levinumad on graniitse koostisega pegmatiidid, mõne tumeda mineraali kristallid on aga tavalisest tunduvalt suuremad ja moodustavad kohati (tühemikes) hästi välja kujunenud kristallipesi – druuse. Rakenduslikust aspektist lähtuvalt eristatakse pegmatiitide seas järgmisi alatüüpe:



Pegmatiit.

1) keraamilised – suured kaaliumpäevakivi kristallid on keraamiliseks tooraineks; 2) vilgurikkad – suured muskoviidikristallid leiavad kasutamist elektroonikatööstuses; 3) haruldasi muldmetalle sisaldavad – neist saadakse paljusid haruldasi muldmetalle; 4) haruldasi metalle sisaldavad – neist saadakse Ce, Li, Rb, Be, Ta ja ka mõningaid nendega seotud vääriskive; 5) väärismetallid – sisaldavad suurt osa kristallidena esinevaid vääriskive (mäekristall, rubiin, safiir, smaragd, väärismetallid, krüsoberüll, berüll, topaas, turmaliin, granaadid jne).

Eestis on pegmatiite nii kristalses aluskorras kui rändkivide seas. Herbert Viidingu (1929–1988) andmetel on kuni 3% meie rändkividest mingil määral pegmatiidid ja ligilähedalt samapalju võib neid olla ka meie kristalses aluskorras.

SETTEKIVIMID

Settekivimid tekivad kivimiosakeste settimisel ning sellele järgneval tihenemisel ja kõvastumisel. Settekivimite arvele langeb vaid 5% maakoore massist, aga maapinnal avanevaist kivimeist hõlmavad nad ligi kaks kolmandikku. Ligi pooled settekivimeist (48%) on savikivimid, üle neljandiku (28%) karbonaatkivimid (paekivid), veidi alla neljandiku (23%) liivakivid ja alla 1% soolad. Kui arvestada ka madal mere alasid, siis tõuseb settekivimite osakaal ligi kolmveerandini. Settekivimitega on seotud üle kolmveerandi maapõuest ammutatavatest maavaradest (nafta, süsi, põlevkivid, fosforiidid, mangaani- ja rauamaagid, ehitusmaterjalid jt).

Eesti aluspõhja seni uuritud osas moodustavad settekivimid ligi 95%. Üle poole meie settekivimitest on karbonaatkivimid, alla poole on liivakivid ning vaid mõni protsent langeb savikivimitele. Tekkeolude poolest saab settekivimeid jagada kolmeks: purdkivimid, biokeemilised ja keemilised settekivimid.

Purdkivimid (savi, aleuroliit, liivakivi, graveliit, konglomeraat, bretša jt) on tekkinud algkivimi, olgu selleks siis tard-, moonde- või settekivim, murenemisproduktide settimisel veekogus või kuival maal ning sette järgneval kõvastumisel.

Biokeemilised settekivimid (lubjakivi, ränikivimid, põlevkivi, fosforiit, merevaik jt) on kas otseselt (põlev-

kivi, kivi- ja pruunsüsi) või kaudselt tekkinud organismide elutegevuse kaasabil.

Keemilised settekivimid (dolokivi, kivisool, kips, allikalubi, fosfaatiderikkast settest tekkinud fosforiit jt) tekivad mineraalide väljakristalliseerumisel üleküllastunud lahustest.

Purdkivimite koostisosade suuruse klassifikatsioonid geoloogilise kaardistamise, maavarade ja geotehnoloogiliste uuringute jaoks on erinevad. Üldistatult esinevad nende koostises **savi** (läbimõõt < 0,002 mm), **aleuriidi** (0,002–0,063 mm), **liiva** (0,063–2 mm), **kruusa** (2–64 mm), **veerise** ja **munaka** (64–1024 mm) ning **rahnu** (> 1024 mm) suurusega osakesed.

Settekivimites esineb sageli koos nii keemiliselt settinud karbonaatset muda, organismide skeletifragmente kui purdsetetele omaseid koostisosi (savi, liiv jt). Karbonaatkivimite klassifitseerimisel on aluseks kaltsiidi, dolomiidi ja savimineraalide sisalduse suhe. **Lubja- ja dolokivis** on kivimit moodustavaks mineraaliks vastavalt kas kaltsiit või dolomiit. Lahustumatu komponendi (põhiliselt savi ja aleuriit, vähem liiv) osa neis on kuni 25%. **Merglites ja domeriitides** (dolomiidistunud mergel) on lahustumatu komponenti 25–75%. **Savides** on lahustumatu komponenti 75–100%.

Savisisaldust karbonaatkivimites hinnatakse välitingimustes ka visuaalselt. Savikad lubjakivid jagatakse **nõrgalt savikateks** (sisaldus 10–15%), **keskmiselt savikateks** (15–20%) ja **tugevalt savikateks** (20–25%) (Oraspõld 1975). Savi osakaalu hindamisel lähtutakse põhiliselt kivimi värvuse muutumise seaduspärasusest, kus savivaene lubjakivi on helehall ja tugevalt savikas lubjakivi on rohekas- või sinakashall. Rahuldava tulemuse annab kirjeldatava kivimi võrdlemine etalonkivimite komplektiga, mille koostis on laboratoorselt kontrollitud. Täpse tulemuse annab ikkagi laboratoorne analüüs.

Dolomiidistumise astme järgi jagatakse lubjakivid **nõrgalt dolomiidistunud** (= dolomiidikas lubjakivi), (2) **keskmiselt dolomiidistunud** ja (3) **tugevalt dolomiidistunud** (= dolomiitlubjakivi) lubjakiviks. Dolomiidistumise erinevast mõjust kivimile annavad märku kivimi pinnal esinevad poorid ja tühikud, muutused värvitoonis või kristallide suuruses.

Karbonaatkivimite struktuuride nimetamiseks on kasutusele võetud mitmeid klassifikatsioone. Kristalli suuruse järgi (Loog, Oraspõld 1982) jagatakse karbonaat-

kivimid: **peit-** (< 0,005 mm), **mikro-** (0,005–0,01 mm), **psi-** (0,01–0,05 mm), **peene-** (0,05–0,10 mm), **keskmise-** (0,1–1,0 mm) ja **jämedakristallilisteks** (> 1,0 mm).

Settekivimite kõige tähtsamaks tekstuurseks tunnuseks on kihilisus, mis väljendub selgepiiriliste kihtide järgnevuses läbilõikes. Kihhi paksuse järgi jagatakse kivimid **mikro-** (< 0,2 cm), **peene-** (0,2–2 cm), **keskmise-** (0,2–10 cm) ja **paksukihilisteks** (10–50 cm) ning **massiivseteks** (> 50 cm). Kihilisuse puudumine (massiivsus) on iseloomulik sellistele kivimitele, mis on tekkinud algse kihilisuseta setetest (näiteks rifid) või kus intensiivne organismide elutegevus on kihilisuse hävitanud. Algset kivimi kihilisust rikub ka intensiivne dolomiidistumine või ümberkristalliseerumine. Kihilisuseta tekstuudid on veel konglomeraadiline ja bretšaline, kus erineva läbimõõduga kivimite tükid, vastavalt ümardatud ja ümardamata, esinevad neid tsementeerivas peenema koostisega põhimassis. Nii konglomeraadi kui bretša koostises võib esineda nii sette-, moonde- kui tardkivimite tükke.

Karbonaatkivimite kihid moodustavad veel **muguljaid tekstuure**, kus tavaliselt kivimi mägara- või läätsekujulised kogumid on savirikka ümbriskivimi lainjate kihtide vahel. Mugulate maksimaalse vertikaalse kõrguse järgi eristatakse **jäme-** (> 5 cm), **kesk-** (2–5 cm) ja **peenmuguljaid** (< 2 cm) tekstuure. Kui mugulaid on läbilõikes vähe ja nad on väga ebakorrapärased või isegi nurgelised, siis nimetatakse kivimit **poolmuguljaks**.

Settekivimite tekstuuride detailsemal kirjeldamisel pööratakse veel tähelepanu kihipindade kujule, katkestuspindadele, virgmärkidele, stüloliitpindadele ja kuivalõhedele. Nendele sette- või kivimimoodustamise keskkonnas tekkinud tekstuuride järgi on võimalik kivimikomplekse omavahel korreleerida.

Settekivimite nimetamisel lähtutakse põhimõttest, et põhikomponenti/tunnust märkiv sõna on viimane ja väiksemas hulgas esineva komponendi/tunnuse nimetused seisavad lisandina põhisõna ees, näiteks dolomiitlubjakivi.

Puurimisvõtete valiku seisukohast nõuavad enam tähelepanu need kivimite läbilõiked, kus esineb erineva savikusega kivimite kihtide vaheldumine, tugev dolomiidistumine, lõhedest ja pragudest läbitud kivimid või esineb karstitühikuid.

SETTEKIVIMITE KIRJELDUSI

Sinisavi (ingl *blue clay*) – sellise nime andis Alam-Kambriumi Lontova lademe savile Peterburis tegutsenud inglise diplomaat ja asjaarmastajast geoloog W. Strangways 1821. aastal. Sinisavi kuni 80 m paksune ja enam kui 530 miljoni aasta vanune savilasund, mis avaneb Põhja-Eestis klindiastringu jalamil Tallinnast ida pool, on vanim Eestis paljanduv settekivimite lasund.

Sinisavi settimise aegu ligikaudu kümnekonna miljoni aastat jooksul leidis aset ka Kambriumi plahvatuslik elu areng Maal. Kambriumi „plahvatus“ jälgil on võimalik näha ka sinisavis. Lasundi alaosa võib leida maailma vanimate toeseega habeloomade organismide *Sabellidites cambriensis* skelette, püriidistunud ussikäike, rõngasusside *Platysolenites* jäljendeid. Lasundi ülaosas ilmuvad aga esimesed trilobiidid, molluskid ja brahhiopoodid.

Vaatamata kõrgele vanusele näeb sinisavi siiski üsna nooruke välja ja on säilitanud kõik savile iseloomulikud omadused ega ole muutunud veel savikildaks nagu teised nii vanad savid maailmas. Kui üsna kõva sinisavitükk asetada vette, siis peagi taastuvad savi omadused – ta muutub plastseks ja nätskeks. Kui sama teha savikildaga, siis kivi jääb ikka kiviks. Sinisavi koosneb põhiliselt savimineraalset illiidist. Illiidi sulamistemperatuur on madalam kui teistel savimineraalidel (kaoliniidil) ja seetõttu ei kõlba sinisavi kuuma-kindlate toodete valmistamiseks.

Sinisavi on tooraineks ehituskeraamika- ja tsemenditööstusele. Eestis kaevandatakse sinisavi Kundas (tsemendi valmistamiseks) ja Aseris (telliste ja katusekivide tootmiseks), varem ka Tallinnas ja Loksal.

Laminariitsavi on roheka varjundiga hall peenekihtiline (paksus 0,5–5 mm) aleuriitne savi, mis rütmiliselt vaheldub õhemate (0,2–1 mm) aleuroliidikihtidega. Kihipindadel esineb orgaanilise aine kilesid. Kompleksi ülaosas muutuvad aleuroliidikihid kuni 10 cm paksuseks. Need savid moodustavad valdava osa Ediacara ladestu piiridesse jäävast Kotlini kihistust, mille ülemine, murenemiskooriku osa on kuni 6,5 m ulatuses värvunud ookerkollaseks.

Laminariitsavi on nime saanud kihipindu kohati katvatelt kollakaspruunidelt õhukestelt orgaanilise ainese (bakterite või vetikate elutegevuse jäljed) kiledelt.

Laminariitsavi Eestis ei paljandu, kuid selle enam kui 30 m paksune lasund on avatud arvukate puuraukudega. Laminariitsed kiled, millel vanust ligi 600 miljonit aastat, on vanimateks elutegevuse jälgedeks Eesti kivimites.

Argilliit (kreeka keeles *argillos* – savi ja *lithos* – kivi) on moodsa surve all tihenunud savikivim. Keemilise ja mineraalse koostise poolest argilliit savist ei erine, küll aga ülejäänud omaduste (tihedus, kõvadus jne) poolest. Argilliit ei ole enam savi, kuid mitte veel ka kiltkivi. Kilt on moonde läbi teinud savi, aga argilliit mitte. Olenevalt lisandeist leidub mitmesuguseid argilliite, kuid levinumaks ja huvipakkumaks neist on orgaanikat sisaldavad argilliidid, mida nimetatakse sageli ka põlevkiviks.

Eestis on argilliidi tuntumaks erimiks graptoliitargilliit ehk maarjas- või diktüoneemakilt.

Graptoliitargilliit (maarjaskilt, diktüoneemakilt, diktüoneemaargilliit, kerogeenne argilliit, konnatahvel; ingl *alum shale*) on tumepruun orgaanikarikas püriiti sisaldav savikivi ehk argilliit. Kivim levib Põhja-Eesti klindist lõuna poole jäävas Alam-Ordoviitsiumi Pakerordi lademe Türisalu kihistus. Kihistu suurim paksus

Sinisavi.



Loode-Eestis künib kuni kuue meetrini. Levila lõuna-piiriks on Haapsalu–Narva joon. Graptoliitargilliiti võib pidada ka madala kütteväärtusega (4,2–6,7 MJ/kg) põlevkiviks, mis jääb oma kütteväärtuselt küll veidi alla Eesti päris põlevkivile – kukersiidile.

Nimi „maarjaskilt“ pärineb varasematel aegadel kivimist toodetud maarjaselt ehk maarjajäält. Viimast on kasutatud vee puhastamiseks, kanga tulekindluse suurendamiseks, naha parkimiseks ja lõnga värvimiseks ehk seal, kus nüüd kasutatakse alumiiniumsulfaati. Maarjajääd on kasutatud ka meditsiinis väiksemate verejooksude peatamiseks ning toiduainetööstuses happesuse regulaatorina ja stabilisaatorina.

Nimi „diktüoneemakilt“ anti kivimile ajal, kui sealt leiti graptoliidi *Dictyonema* jäljendeid. Hiljem selgus, et kivimist leitud graptoliit kuulub hoopiski perekonda *Rhabdinopora*.

Graptoliitargilliit on Põhja-Eesti klindil paljanduvaist kivimeist üks perspektiivikam ja seda eeskätt kivimist leiduvate radioaktiivsete elementide (uraan, toorium) ning vanaadiumi ja molübdeeni kõrgendatud sisalduse tõttu. Sillamäel kaevandatud maarjaskildast saadud uraani kasutati esimeste nõukogude aatomipomide valmistamisel. Aastatel 1950–1989 toodeti ka Rootsis sealsest maarjaskildast uraani. Tootmine lõpetati, sest mujalt sisseostetud uraan osutus odavamaks.

Pruun graptoliitargilliit ja selle peal lasuv roheline glaukoniitliivakivi Põhja-Eesti paekalda läbilõikes.



Aleuroliit on valdavalt aleuriidist (terasuurus 0,02–0,0625 mm) koosnev settekivim. Aleuroliidi nimetus tuleb kreekakeelsetest sõnadest *áleuron* – jahu ja *lithos* – kivi. Tõesti, üsna jahu sarnane on see liivast peenematest ja savist jämedamatest purdosakestest koosnev purdkivim.

Aleuroliit meenutab mõneti liivakivi, kuid on sellest peenemate teradega ja siledama pinnaga. Kuigi aleuroliiti aetakse vahel savikildaga segi, puudub aleuroliidil savile omane lõhelisus. Terakeste suuruse järgi eristatakse aleuroliidi peene- ja jämedateralisi erimeid. Mineraalsest koostisest lähtuvalt on aleuroliitide seas kõige levinum kvartsist koosnev erim ehk kvarts-aleuroliit. Tsementerivaks materjaliks on aleuroliitidel kas savi- või lubiaines, harvem rauaühendid. Aleuroliidile annab värvi põhiliselt tsement – helehallid toonid viitavad lubitsemendile, punakad rauaühenditele ning rohekate toonide tagant võib otsida nii savi kui ka mineraali glaukoniiti.

Eestis on aleuroliiti palju ja seda leidub nii Ediacara, Kambriumi kui ka Devoni kivimite seas.

Liivakivi koosneb peamiselt liivateradest (0,063–2 mm) ja neid ühendavast tsemendist. Liiva mineraalses koostises valdab enamasti kvarts, tsementerivaks aineks on kas savi, kaltsiit, dolomiit, rauaühendid või kips. Puhas monomineraalne liivakivi on hea tooraine klaasitööstusele.

Kagu-Eestis on klaasi tootmiseks kasutatud Piusa raudteejaama lähistel leiduvat Ülem-Devoni Gauja lademe/kihistu heledavärvilist nõrgalt tsementerunud peeneteralist liivakivi (koosneb kuni 95% ulatuses kvartsist). Aastatel 1922–1976 kaevandati siin klaasiliiva maa-alustest käikudest, millest on nüüd jõe kaldale jäänud inimesele silmarõõmu ja nahkhiirtele varjupaika pakkuvad koopad ja kuni kümme kilomeetrit käike. 1969. aastast

hakati liiva kaevandama karjäärist. Piusa klaasiliiva veeti Järvakandi klaasitehasesse, kus sellest valmistati akn klaasi, tehnilist vitriini- ja mustriklaasi ning klaasisolaatoreid. Klaasitoormeks kasutati Piusa klaasiliiva kõrval veel Tamsalu lubjakivi ja sisseveetavat soodat. Alates 1993. aastast toodetakse Järvakandis üksnes klaastaarat.

Piusa karjäär on tänaseks suletud. Selle asemel on kasutusel nüüd Gauja lademe liivakivid ürgse Võru–Petseri vagumuse veerul paiknevast Imara–Tabina klaasiliiva leiukohast. Geoloogiliste uuringutega on kindlaks tehtud, et Imara–Tabina leiukoha liivakivis on kvartsisisaldus kohati isegi üle 98% ja rauaühendeid väga vähe. Looduslikul kujul on Imara–Tabina maardla liivakivi kvaliteedinäitajate poolest parim Eestis ja sobib ka kvaliteetse klaasi tootmiseks.

Glaukoniitliivakivi on rohelist värvi glaukoniiti sisaldav kvartsi liivakivi. Mida rohkem on liivakivis kihtsilikaatide klassi mineraali glaukoniiti, seda tugevam on kivimi roheline värvus.

Glaukoniitliivakivi lasund on seotud Alam-Ordoviitsiumi Hunnebergi lademe Leetse kihistuga. Glaukoniiditeri (läbimõõt 0,05–0,5 mm) on kivimis enamasti 60–80%. Kihistu paksus ulatub kümnekonnast sentimeetrist viie meetrini Loode-Eestis. Leetse kihistu tüüpjaljand on Pakri poolsaare idarannikul Leetse pangal.

Glaukoniiti kasutatakse veepehmendamisel, ehitusmaterjalide, kaaliväetise ja värvipigmentide tootmisel. Eestis oleks glaukoniidi kasutusele võtmine perspektiivne koos fosforiidi ja graptoliitargilliidiga.

Bretša (ingl *breccia*, soome *breksia*) on nurgelistest mineraali- või kivimtükkidest koosnev kivim, mis on tsementeeritud samade kivimite peenpurdse (terasuurus alla 1 mm) massiga või mõne teise kivimi või mineraaliga (kaltsiit, lubjakivi, kips, savi, ränioksiid, rauahüdroksiidid jm). Bretša tekkepõhjusi on palju. Enamik bretšasid viitab ikkagi plahvatuslikult kiirelt toimunud protsessile. Bretšastumist võivad põhjustada tektoonilised liikumised, moondeprotsessid, maalihked, karst, vulkaani- ja meteoriidiplahvatused.

Eestis esineb bretšasid nii aluspõhjas, pinnakattesetes kui rändkivides.

K-bentoniit (ka metabentoniit) on kaaliumirikka bentoniitsaviga asendunud vulkaaniline tuhk. Eesti Siluri ja Ordoviitsiumi karbonaatkivimite läbilõikes



Neugrundbretša.

on kümneid K-bentoniidi kihte – Ordoviitsiumi ja Siluri ajastul Kaledoonia mägedes (tänapäeval Norra põhjaosa) tegutsenud vulkaanidest meile kandunud tuhk. Kui tavaliselt on K-bentoniidi kihid mõne kuni 20 cm paksused, siis Kärda meteoriidikraatri süvikus on kahekümnest seal esinevast kõige paksem (80 cm) Kinnekulle bentoniit – 455 miljonit aastat tagasi vulkaanilisest tuhast moodustunud kiht, mille levik on jälgitav ka Norras, Rootsis ja Venemaal.

K-bentoniidi kiht Koela F-348 puursüdamikus (Haljala lade; 118.9–119.0 m).



Domeriit on Eesti geoloogide poolt kasutusele võetud sõna dolomiitmergli asemel. Sõna autoriks on akadeemik Dimitri Kaljo.

Domeriit on hall, rohekas- kuni pruunikashall või kirju karbonaatkivim, mis koosneb peamiselt dolomiidist ja savist. Domeriidi erimites on savi ja teiste lahustumataute komponentide sisaldus 25–75%. Domeriit võib sisaldada veel kaltsiiti, kvartsi, päevakive, vilke, rauaühendeid, kipsi jm. Domeriit on dolomiidist (dolokivist) pudedam, laguneb purustamisel teravkillulisteks tükkideks ja ei reageeri lahjendatud soolhappega. Domeriiti esineb Eesti läbilõigetes mitmel tasemel, aga kõige enam Devoni ladestus ja eelkõige Narva lademes.

Lubjakividest on Eestis enam tuntud paekivi erimiks **Lasnamäe lubjakivi**, mis levib Ordoviitsiumi ladestu Lasnamäe lademe Väo kihistus 6–9 m paksuse lasundina. Lasnamäe lubjakivi avaneb Põhja-Eesti klindi ülaosas ja on põhjuseks, miks enamasti liivakivist ja sinisavist koosnevat klindiastangut sageli paekaldaks nimetatakse (50 m kõrguses klindiastangus on paasi maksimaalselt 15 m). Lasnamäe lubjakivi on ehituskivina üks Eesti rahvuskivi – paekivi – väarikaim esindaja (paekivi kinnitati rahvuskiviks 4. mail 1992).

Eesti arhitektuurimuuseumi hoone (endine Rotermanni soolaladu) on ehitatud Lasnamäe ehituslubjakivist.



Lasnamäe lubjakivis on välja eraldatud kümneid erinevaid kihte, millele paemurdjad on sajandite jooksul nimed andnud: nutukord, kollalõug, ratsatäkk, papa, mamma, tige seitsmene, tolline nahk, mädakord jne. Kõik need nimed on omistatud Lasnamäe ehituslubjakivi erinevate omadustega kihtidele. Otsekoheised ja siirad nagu paekihid isegi.

Lasnamäe ehituslubjakivi erinevates toonides halli pinda elustavad veel lubimudast sette kujunemise ajast pärit erineva kujuga settekatekestustele viitavad pinnad, organismide skeletifragmendid ja elutegevuse jäljed. Neid muustrilisi kivipindu on kasutatud sajandeid nii ehitiste sise- kui välisviimistluses. Kogu Põhja-Eesti alates Osmussaarest ja lõpetades Narvaga uhkeldab oma Lasnamäe ehituslubjakivist ehitistega.

Glaukoniitlubjakivi on nime saanud lubjakivis olevate roheliste glaukoniiditerakeste järgi. Toila kihistu ühendab endas Volhovi ja Billingeni lademes levivaid glaukoniitlubjakive. Toila kihistu paksus on 1–3 m. Õigem oleks rääkida glaukoniiti sisaldavast lubjakivist, sest glaukoniiti on selles tavaliselt alla 10% (vaata ka glaukoniitliivakivi).

Karplubjakivi (ingl *coquina*) ehk rõngaspaas on Siluri Juuru lademe Tamsalu kihistu biomorfne lubjakivi, mis koosneb põhiliselt käsijalgse (brahhiopoodi) *Borealis borealis*'e kojapoolmetest ja nende purrust. Sellest keemiliselt puhtast lubjakivist toodeti lupja Tamsalus ja Rakkes. Karplubjakivi on ka suurepärase dekoratiivsete omadustega ja sobilik kaunistama ehitisi, parke ning koduaedu. Eriti kaunid on Tamsalu rõngaspaae kollakas-roosakates toonides dolomiidistunud erimid. Suuremate monoliitide saamine sellest paest on raske ja seetõttu ei ole see ka viimistlus- ja dekoratiivkivina laialdasemat kasutamist leidnud.

Karplubjakivi kaevandati varem ka Lääne-Virumaal Rakkes ja Kamarikul, kuid viimasel ajal üksnes Järva- ja Karu maakonnas Karjääris.

Vasalemma “marmor” on helehall jämedateraline, põhiliselt tsüstiidide (merikerad) skeletiosistest koosnev keskmise- ja paksukihiline lubjakivi. Vasalemma kihistu (Ülem-Ordoviitsium) tervikuna koosneb valdavalt biomorfsetest lubjakividest (biohermid), vähem peitkristallilistest lubjakividest. Siin on tegemist Eesti aluspõhja vanimate riffidega, mille ehitajateks on olnud põhiliselt okasnahksed, sammalloomad ja korallid.



Glaukoniitlubjakivi.

Tsüstiidide skeletifragmentidest koosnevad kivimit kutsutakse marmoriks kivimi dekoratiivsuse, kristallilise ehituse ja hea poleeritavuse tõttu. Tegemist ei ole ehtsa marmoriga, mis saab tekkida ainult lubja- ja dolokivide moondel. Seda päris Vasalemma “marmorit”, mida kaevandatakse Harjumaal Vasalemma ja Rummu karjäärides, on väheväärtuslike lubjakivide lasundis vaid väiksemate läätsetena.

Vasalemma “marmor” on keemiliselt puhas (kaltsiidisisaldus 96–98 %) ja seega sobiv kasutamiseks tehnoloogilise kivina. Sellest on ehitatud Vasalemma mõisa-hoone, valmistatud skulptuure, karniise, hauaplaate ja tarbekunsti esemeid.

Ungru paekivi on kollakas- kuni sinakashall, ebakorrapäraselt kihiline, põimkihiline või massiivne, nõrgalt dolomiidistunud peeneteraline purdlubjakivi, mis on oma nime saanud Läänemaal Haapsalu ümbruses levivast paekivist. Kivimis esinev karbonaatne purd-

Vasalemma „marmor“.



Tamsalu kihistu karplubjakivi.

materjal läbimõõduga 0,05–1 mm on hästi ümardunud. Ungru paekivi kuulub Siluri ladestu Raikküla lademe Pusku kihistikku.

Ungru paekivist on ehitatud nii keskaegne Haapsalu piiskopilinnus kui neobarokses stiilis Ungru loss. Paekivi enam ajaloolistest murdudest ei murda, küll aga Ridala valla paemurdudest. Ungru paekivi kasutatakse põhiliselt sise- ja välisviimistluses.

Travertiin (allikalubi) on allikates lubja sadestumisel tekkinud kerge poorne ja suhteliselt rabe kivim, mis keemilise koostise poolest on sama mis lubjakivi – kaltsiumkarbonaat (CaCO_3). Allikalubjas on valdavaks mineraaliks kaltsiit, aga selles võib leiduda ka saviosa-kesi ja jämedamat purdmaterjali (liiva, kruusa). Allikalubja värvus on valdavalt valge või hall, kuid sõltuvalt lisandeist võib see olla ka roosa, punakas või pruun. Tihedus on väike ($1,4\text{--}1,8 \text{ g/cm}^3$).

Dekoratiivsest Ungru paekivist laotud müür.



Travertiin on hinnatud ehitusmaterjal. Kuulsaimateks ehitusteks on Colosseum ja Püha Peetri kirik Roomas. Eestis leidub allikalupja laiemalt Lõuna- ja Kagu-Eesti ürgorgude nõlvadel, kus Devoni karbonaatkivimitest lubjarikas põhjavesi välja voolab. Kui põhjavesi surve alt vabaneb ja selles olnud süsihappegaas eraldub, siis lubiainese lahustuvus alaneb järsult ja nõnda see allikalubi välja settib ning üsna ruttu ka kivistub.

Allikalubi on sobiv happeliste muldade lupjamiseks. Lõuna-Eestis on seda varem parema tooraine puudumisel kasutatud ka lubja põletamiseks. Tuntumad allikalubja leiukohad on Reolas ja Raudna orus. Lätis on travertiini kasutatud ka ehitusmaterjalina. Travertiinist oli tehtud ka Eesti Vabadussõja (Võnnu lahingu) monument Cesises. Monumendi taastamisel sellise kvaliteediga travertiini enam Cesise lähedal asuvast leiukohast ei leitud ja nii tehtigi uus sammas Saaremaalt toodud Kaarma dolokivist.

Dolomiit või dolokivi on mineraalset dolomiit koosnev karbonaatne settekivim (paekivi). Enamasti on nad tekkinud lubjakivide dolomiidistumisel (sekundaarsed dolomiidid). Vähem on teada primaarseid dolomiite, mis on moodustunud keemilisel sadestumisel. Dolomiidid (dolokivid) sisaldavad lisandina kaltsiiti, savimineraale, kvartsi, päevakive, glaukoniiti, rauahüdrokekseid jne. Puhtas dolokivis on mineraali dolomiiti 80–100%, lubjakas dolokivis 65–90%, lubidolokivis (45–75%).

Dolokivi eristamiseks lubjakivist kasutatakse välitingimustes 3–10%-list soolhapet või 10%-list äädikhapet. Lubjakivi pinnal tekib happelaigus intensiivne kihisimine, dolokivi pinnal aga mitte.

Dolokivid on erinevates toonides hele- või tumehallid, tavaliselt mikro- kuni jämedakristallilised, erineva savikuse ja kihilisuse ning kõvadusega.

Eestis levivad Ordoviitsiumi, Siluri kui Devoni ladestu dolokivid. Dolokivi mitmed kasulikud omadused (kõvadus, dekoratiivsus, kõrge magneesiumisisaldus) on teinud sellest Eesti oludes tähtsa maavara, mida kasutatakse ehitus- ja viimistluskivina ning tehnoloogilise maavarana.

Fosforiit (ingl *phosphorite*) on kivim, milles fosfaatse ainese (P_2O_5) sisaldus on vähemalt 15%. Eestis on seni arvatud fosforiidiks kivimit, milles P_2O_5 sisaldus on vähemalt 6,0%.



Maardu fosforiit (P_2O_5 sisaldus > 15%).

Eesti fosforiit on settekivim, mida nimetatakse ka oobolusliivakiviks või -fosforiidiks või karbifosforiidiks. See on moodustunud merepõhja settinud käsi- ja algsete ehk brahiopoodide kodadest, nende purustatud fragmentidest ja kvartsiivakivist. Fosforiidikihi kõige arvukamad kivistised on lingulaadid perekondadest *Obolus*, *Ungula* ja *Schmidtites*. Nende kojapoolmed sisaldavad 35–38% P_2O_5 , mis koosneb apatiidi erimitest. Oobolusliivakivi sisaldab kodade skeletifragmente 10–90% (keskmiselt 30%). Oobolusliivakivi on sageli põimkihiline, mis viitab selle tekkele rannalähedases liikuvus vees.

Kivimiliselt eristatakse Eestis oobolusliivakivi ja -konglomeraati. Ooboluskonglomeraat koosneb valdavalt ooboluste tervetest kojapoolmetest, nende jämeprürust ja vähesel määral eriteralisest kvartsiivast. Kui tavaliselt on ooboluskonglomeraadi kihi paksus paarkümmend sentimeetrit kuni pool meetrit, siis Rakvere maardlas Assamalla ümbruses on konglomeraadikihi paksus kohati kuni kolm meetrit. Ooboluskonglomeraadis võib P_2O_5 sisaldus olla 20–25%.

1924. aastal rajati Jõelähtme kihelkonda Ülgasele fosforiidi allmaakaevandus ja selle juurde sorteerimistsehh. Kasuliku kihi paksus kaevanduses oli alla meetri. Toodang oli kuni 10 000 tonni aastas. 1938. aasta kevadel sõlmiti leping Saksamaaga, mille kohaselt tuli kümne aasta jooksul Saksamaale tarnida 33% P_2O_5 sisaldusega fosforiidikontsentraati kuni 340 000 tonni aastas. Ülgase kaevandus põles aga sama aasta detsembris maha ning kaevandus suleti. Ülgase kaevandusest kujunenud koobastik on säilinud

tänapäevani ja seal on kaitsealune nahkhiirte talvituspaik. Saksamaa lepingu täimiseks rajati 1940. aastal Maardusse Narva maanteest põhja poole Kroodi oja paremale kaldale uus fosforiidikaevandus, mille võimsuseks projekteeriti 370 000 tonni kaevist ehk 100 000 tonni P_2O_5 kontsentrati aastas. 1954. aastal alustati ka fosforiidi karjääriviisilist kaevandamist. Maardu allmaakaevandus suleti 1965. aastal ja see täitis veega. Fosforiiditootmine Eestis lõpetati 1990. aastal.

Kukersiit (ingl *kuckersite*; sks *Kuckersit*) on Eesti tähtsaim maavara – põlevkivi. Oma spetsiifilise nime on ta saanud Kukruse (sks *Kuckers*) mõisalt, mille lähedal seda ligi poolteist sajandit tagasi kaevandama hakati.

Kukersiit on pruun, orgaanilisest ainest ehk kerogeenist (20–50%), lubiainesest (25–50%) ja savikast lisan-dist (20–40%) koosnev põlevkivi. Kukersiit vaheldub tootsas lasundis (paksus Eesti leiukohas 1–3 m) lubjakivikihtide ja -mugulatega. Kukersiidi tihedus, sõltuvalt kerogeeni sisaldusest, on 1,5–1,8 t/m³. Kukersiidi kütteväärtus on 7,6–9,4 MJ/kg, millega ta jääb ühele korralikule kivisöele pea kaks korda alla.

Eesti põlevkivi kvaliteedinäitajad on järgmised: kütteväärtus 4–20 MJ/kg; õlisaagis 8–35%, rikastatud põlevkivi puhul 22–25%; väävlisisaldus 1–2%; niiskus – looduslik 5–8%, töödeldes (rikastades) niiskuse sisaldus kasvab kuni 15%-ni, tuhasus 35–70%.

Teine, Tapa põlevkivilasund, paikneb Lääne-, Viru- ja Järvamaal 50–160 m sügavuses 1150 km² suurusel alal. Kukruse lademesse kuuluva tootsa põlevkivi III kihi paksus on 2,0–2,3 m. Seni ei ole seda kasutusele võetud.

Kukersiit lubjakivikihtide vahel.



Kukersiit on tekkinud umbes 450 miljoni aasta eest (Vara-Ordoviitsiumi ajastikul Kukruse eal) soojema-poolses elurikkas madalmeres. Kukersiidi orgaaniline aine ehk kukersiin pärinevat salapärasest ja uhkenimelisest sinivetikast *Gloeocapsomorpha prisca*. Tootmisväärse põlevkivi varuks Eestis on hinnanguliselt ligi viis miljardit tonni ja sellest peaks praeguse kaevandamismahu juures jätkuma ligi sajaks aastaks.

Põlevkivi kaevandamise ajaloos on kindel koht Kukruse mõisa sõjaväelasest ajalooühilisel omanikul Robert von Tollil (1802–1876). Tema eestvedamisel asuti 1860-ndatel aastatel mõisa maid kuivendama ja paelasundisse sügavaid kraave kaevama. Paelasundist leitud põlevkivi, mida peeti pea sama väärtuslikuks kui kasepuitu, põletati koos puudega viinaköögi ahjus ja mõisa kaminas. Peamiselt lubjakivi kaevandamiseks rajati samasse ka väike paemurd. Lubjakivi kaevandamisel välja tulnud põlevkivi aastaseks koguseks oli umbes 3000 puuda (50 tonni) ja selle kasutamiseks olla R. Toll ka valitsuselt loa taotlenud. Suure väävlisisalduse tõttu lõhkus põlevkivi kiiresti viinaköögi rauast aurukatla ja korstna ning seepärast põlevkivist peagi loobuti. Sealtsamast, nn Tolli kraavist, alustas vene geoloog Nikolai Pogrebov 50 aastat hiljem ehk 1916. aasta juulis Eestimaa põlevkivitööstusele aluse pannud põlevkiviuuringuid. Eesti geoloogia suurkuju baltisakslane Carl Friedrich Schmidt andis 1879. aastal tervele põlevkivikihtidele nime Kukruse kiht.

Lugemissoovitus

*Aaloe, A., Bauert, H., Soesoo, A. 2006. Kukersiit – Eesti põlevkivi. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

Kalm, V., Kirs, J., Kirsimäe, K., Kurvits, T. 1999. Mineeraalid ja kivimid. Tartu Ülikool, Geoloogia Instituut, Tartu, 96 lk.

Loog, A., Oraspõld, A. 1982. Settekivimite ja setete (setendite) uurimismeetodid. Tartu Riiklik Ülikool, Geoloogia kateeder, 83 lk.

*Märss, T., Soesoo, A., Nestor, H. 2006. Saaremaa pangad. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

*Perens, H., Kala, E. 2007. Paekivi – Eesti rahvuskivi. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Üli-

kooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

*Pirrus, E. 2007. Karst Eestis. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

*Pirrus, E. 2009. Eestimaa suured kivid. Suurte rändrahnude lugu. TTÜ Geoloogia Instituut, Tallinn, 120 lk.

*Puura, I. 2006. Eesti kivistisi. Tartu Ülikooli Loodusmuuseum, Tartu Ülikooli geoloogia instituut, Tallinna

Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 31 lk.

*Soesoo, A., Miiel, A. 2007. Eesti rändkivid. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Turu Ülikooli geoloogiaosakond, GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk.

Viiding, H. 1984. Eesti mineraalid ja kivimid. Valgus, Tallinn, 248 lk.

* leitav internetist

4. HÜDROGEOLOOGIA

Hüdrogeoloogia on teadus põhjaveest ja veekihtidest, nende säästlikust kasutamisest ja kaitses, mis eeldab teadmisi mitmes valdkonnas nagu geoloogia, hüdroloogia, füüsika, keemia, mikrobioloogia, matemaatika ning insenerioskused. Käesolevas peatükis antakse üldine ülevaade põhjavee kasutamisel ja kaitsel, sealhulgas puurkaevude puurimisel vajalikest teadmistest. Peatüki koostamisel on kasutatud Eesti Põhjaveekomisjoni poolt väljaantud raamatu „Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse“ (2004) materjale, mille koostamisest võttis osa ka käesoleva peatüki autor.

Hüdrogeoloogiliste uurimistööde põhiline eesmärk on saada vajalik kompleks informatsiooni mitmesuguste majanduslikult tähtsate ülesannete lahendamiseks ja prognooside põhjendamiseks. Uuringutele esitatavad nõuded olenevad lahendatavate ülesannete spetsiifilisusest. Sõltumata hüdrogeoloogiliste uurimuste konkreetsest eesmärgist peavad tööde tulemusel olema lahendatud kõige tähtsamad hüdrogeoloogilised probleemid ja protsessid, mis võivad muuta piirkonna hüdrogeoloogilisi tingimusi erinevate inseneritehniliste ehitiste rajamisel.

PÕHJAVESI

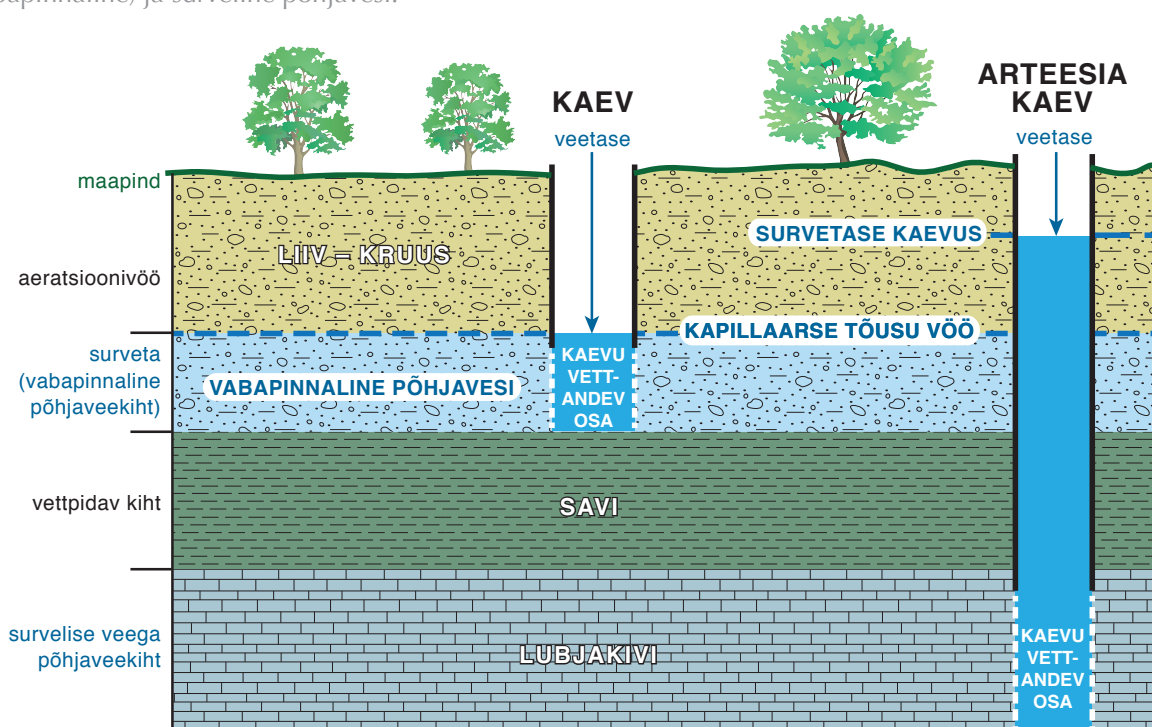
Põhjavee all mõistetakse maakoore ülaosa kivimite ja setete poorides ja lõhedes olevat vett, mis võib liikuda raskusjõu või rõhu toimel. Kui kaevata või puurida vett läbilaskvasse pinnasesse auk, siis täitub see teatud sügavuses veega. Seejärel kaevandis stabiliseerunud surveta veetase on põhjaveetase ja sellest allpool pinnases olev vesi on põhjavesi.

Allpool põhjaveetasel on pinnas veeküllastunud (küllastusvöö). Kapillaarjõudude mõjul tõuseb vesi pinnase poorides põhjaveetasemest pisut kõrgemale.

Ülalpool põhjaveetasel, mitteüllastunud kihis, sisaldab pinnas erineval määral vett, kuid seda pole võimalik kasutada (niiskus, seotud vesi, infiltreeruv vesi). Maapinna ja põhjaveetaseme vahele jäävat vahemikku nimetatakse aeratsioonivööks (joonis 1).

Maapinnalähedane põhjavesi on vabapinnaline ja järgib üldiselt maapinna reljeefi, olles madalikel ja orgudes maapinna läheduses, kuid kõrgematel aladel sügavamal. Sel moel peegeldab maapinnalähedase põhjavee pind maapinna reljeefi mõnevõrra madalamal ja “silutud” kujul.

Joonis 1. Maapinnalähedane (enamasti vabapinnaline) ja surveiline põhjavesi.



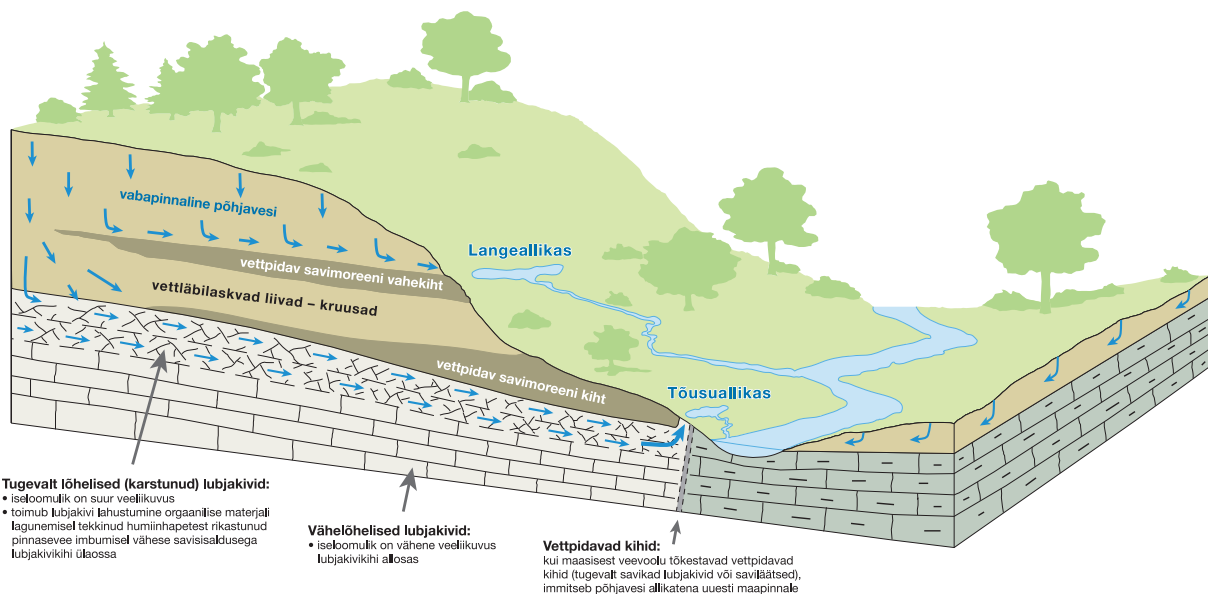
Sügavamal esineb põhjavesi harilikult vettpidavate kihtide vahel ning on seetõttu survealine. Survelist põhjavett nimetatakse ka arteesia veeks. Arteesia vesi on maakoore vettpidava kihi all olev põhjavesi, mille survetase on kõrgemal vettpidava kihi alumisest pinnast ning mis võib soodsatel tingimustel ise maapinnale voolata. Kaevu rajamisel survealisse põhjaveekihti tõuseb veetase kaevus tunduvalt kõrgemale vettandva pinnase lasumissügavusest.

Maapinnale langenud sademete maasse imunud osa täiendab põhjaveevaru. Et kevad- ja sügisperioodi kõrgvesi saaks kiiresti maasse valguda, peab põhjaveetase olema piisavalt sügaval ja maapind hea imamisvõimega. Põhjavesi liigub raskusjõu mõjul kõrgematelt aladelt madalamatele, jõudes filtratsioonivooluna (põhjavee liikumine veega küllastunud setete ning kivimite poorides ja lõhedes) allikatesse, pinnaveekogudesse või merre. Sademetevaesel ajal toimub põhjavee väljavool pinnaveekogudesse kõrgemate alade põhjaveetaseme alanemise arvel. Ilma põhjavee juurdevooluta jõed kuivavad või muutuvad suvel veevaeseks.

Põhjavee toitumine

Sademete keskmisest aastasummast 600–800 mm, moodustab pinnavee äravool 260 mm. Sademete hulk on suurem kõrgustikel. Eesti alale langevatel sademetest läheb põhjavee toiteks keskmiselt 70 mm aastas ehk 10%. Infiltreruva vee arvel kujuneb põhjaveevaru.

Joonis 2. Põhjavee toitumine ja veeliikuvus.



Kõige intensiivsem on põhjavee toitumine Pandivere kõrgustikul, ulatudes 200–300 mm aastas, väiksem on põhjavee toitumine Lääne-Eestis ja liigniisketel aladel (sood, märgalad), jäädes seal vahemikku 0–50 mm aastas. Oluline on ka taimkatte iseloom. Püsirohmaalt ja eriti metsamaalt on aurumine taimede kaudu (transpiratsioon) suurem kui põldudel. Seepärast on põhjavee toitumisel suur osatähtsus põllumaadel ja seal moodustunud põhjavee kvaliteedil.

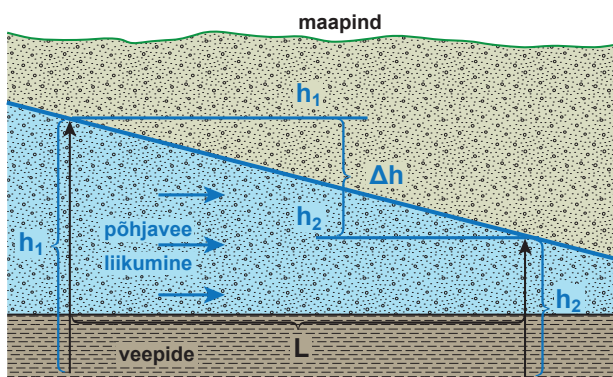
Intensiivne infiltratsioon põhjavette toimub kevadel, sügisvihmade ja talviste sulade ajal, kui külmunud pinnas sulab ning lumesulavesi imub läbi pinnakatte ja jõuab maapinnalähedase põhjaveeni. Hiliskevad- ning suvel ning talvel võib hoolimata sademetest põhjavee toitumine olla väike, enamik sademeveest suveperioodil aurub, talvel aga jääb lumena külmunud pinnasele.

Põhjaveetaseme sesoonse kõikumise muutused ei ületa harilikult 2 m, kuid kõrgustikel ja karstialadel tulenevalt toitumise lokaalsest iseloomust võib amplituud olla suurem. Põhjavesi voolab välja madalamatel aladel nagu kõrgendike nõlvad ja jõgede orud (joonis 2). Sademetevaesel ajal toimub põhjavee väljavool pinnaveekogudesse veetaseme alanemise arvel. Sel moel on põhjavesi looduses pidevas tsüklilises liikumises.

Põhjavee liikumine

Põhjavesi liigub kõrgema veetasemega toitealadelt madalamatele, järgides veepinna kallet, mida nimetatakse ka **põhjavee gradiendiks** (surve/rõhu vähe-

nemine filtratsioonitee ühiku kohta). Põhjavee liikumise põhiprintsiibid poorses keskkonnas sõnastas 19. sajandi keskel hüdraulikaga tegelenud prantsuse insener Henry Darcy (1803–1858), kes võttis kasutusele mõiste **filtratsioonikoefitsient** (k). Darcy seadus kõlab järgmiselt: põhjavee kogus (Q), mis läbib ajaühikus kivimit, on võrdeline rõhu langusega ($h_2 - h_1 = \Delta h$) ning veevoolu ristlõike pindalaga (A) ja pöördvõrdeline vee liikumise pikkusega (L). Valemina: $Q = kA (\Delta h / L)$. Rõhu languse ja vee liikumise pikkuse suhet $I = \Delta h / L$ nimetatakse hüdrauliliseks kaldeks ehk gradiendiks. Seega $Q = AkI$ ja **filtratsioonikiirus** $v = kI$ (joonis 3).



Joonis 3. Vabapinnalise põhjavee liikumine.

Filtratsioonikiirus pole tegelik vee voolukiirus kivimikihi poorides ja tühikutes. Selline oleks voolukiirus, kui veevool hõlmaks tervet ristlõiget A . Tegelik vee voolukiirus on filtratsioonikiirus jagatud vett sisaldava kihi efektiivpoorsusega (omavahel ühenduses olevate pooride maht, mida mööda saab vesi vabalt voolata), suhtarvuna väljendatud.

Seega võib tegelik vee liikumiskiirus sama gradiendi juures kordades erineva võrdse filtratsioonikoefitsiendiga pinnastes ning sõltub eelkõige vett sisaldava pinnase poorsusest. Põhjavee tegelikku liikumiskiirust on vaja teada reostuse liikumiskiiruse hindamiseks. Veepinna levinumad looduslikud kalded Eestis on 0,01–0,001 ja ligikaudne vee tegelik liikumiskiirus erinevates pinnastes on: tolmlivas 5 m/aastas; peenliivas 20 m/aastas; keskliivas 70 m/aastas; kruusliivas 250 m/aastas; puhtas kruusas 5 m/päevas ja karstunud lubjakivis üle 100 m/päevas.

Hüdrogeoloogiliste arvutuste (veehaarete mõju, saadavad veekogused jne) juures iseloomustab põhjaveekihi omadusi enim **põhjaveekihi veejuhtivus** (km),

mis on vettandva pinnase filtratsioonikoefitsiendi (k) ja veekihi paksuse (m) korrutis.

Põhjavee leiukoha all mõistetakse vettandva süsteemi ruumiliselt piiratud osa, mille piires looduslike või tehnilike faktorite mõjul moodustuvad soodsad tingimused vajaliku põhjaveekoguse saamiseks võrreldes ümbritsevate aladega. Erinevat tüüpi põhjavee leiukohtade hüdrogeoloogiliste tingimuste keerukus sõltub nende vettandvate kivimite lasuvusest, veekihtide ehitusest, paksusest ja filtratsiooniomadustest. Veeseadus eristab põhjaveemaardla, mis on põhjavee võtmiseks määratud kinnitatud põhjaveevaruga maa-põue osa.

Euroopa Liidu veepoliitika raamdirektiivi (2000/60/EÜ) kohaselt on looduslik põhjaveeressurs veekihi keskmine pikaajaline toitumismäär, millest on lahutatud pinnaveekogude ökoloogilise kvaliteedi säilitamiseks vajalik vooluhulk. **Põhjaveevaru** on vee kogus põhjaveeressurssist, mida lubatakse veehaarete abil kasutusele võtta nii, et oleks tagatud põhjavee hea seisundi säilimine. Põhjaveevaru jaguneb uurituse detailsusest sõltuvalt **tarbevaruks** T1 või T2 või **prognoosvaruks** P. Põhjaveevaruga maa-ala nimetatakse põhjaveevaru arvestuspiirkonnaks ehk põhjaveemaardlaks. **Veehaare** on rajatis vee võtmiseks veekogust või põhjaveest (viimasel juhul puurkaev, salvkaev või kaevude grupp).

Põhjavee leiukoha uuringute läbiviimiseks peab olema **hüdrogeoloogiliste tööde tegevusluba**. Veehaarde, mille all Veeseaduse kohaselt mõistetakse ehitist vee võtmiseks veekogust või põhjaveekihist, töötamise aeg määratakse vastavalt põhjavee kvaliteedi säilitamise võimalikkusele. Joogivee, tehnilise vee ja mineraalvee kvaliteeti hinnatakse vastavalt kehitivele standardile, tehnilistele tingimustele ja tarbija tellimusele.

Põhjavee kasutamise otstarbekust joogi- või tehnilise veena, võrreldes pinnaveega, hinnatakse tehnilis-majanduslike põhjenduste alusel. Põhjaveet võib kasutada tootmise vajaduseks, kui seda nõuab tootmistehnoloogia või kui pinnavee kasutamine on seotud ülemääraste kulutustega.

Ravikategooriasse kuuluvat põhjavett kasutatakse esmajärjekorras raviks ja kuurortide tarbeks. Ravi-mineraalvee kasutamist muuks otstarbeks reguleerib selleks pädev ametkond.

PÕHJAVEE KIHILISUS, VEEAND JA TEMPERATUUR

Veekihid ja veepidemed

Vastavalt EL veepoliitika raamdirektiivi 2000/60/EÜ määratlusele hõlmab põhjaveekiht üks või mitu maaalust kivimikihti või muud geoloogilist kihti, mis on piisavalt poorsed ja läbilaskvad, et põhjavesi saaks seal märkimisväärses ulatuses voolata või sealt saaks olulises koguses põhjavett võtta. Põhjaveekihi filtratsioonikoefitsient peab olema suurem kui 1×10^{-5} m/s (~ 1 m/ööp). Kui veekiht on oluline piirkonna veevarustuses võib filtratsioonikoefitsient lokaalselt ka väiksem olla.

Endisaegsetelt suurmeistritelt pärineb arusaam, et vesi liigub maapõues mööda "veesooni", millele tuleb rajada kaev. Sellist arusaama on võimalik veevarustuse praktikaga siduda veeküllastunud liivasoonte otsimisega moreenpinnases või lõhevööndite ja karstiöönsustega lubjakivides. Enamik puurkaevudest rajatakse siiski lihtsalt veeküllastunud pooride või lõhedega pinnastesse, kus vesi liigub raskusjõu mõjul kogu kihi ulatuses.

Kivimite erinevast veejuhtivusest tingituna on maapõues hulk vaheldumisi lasuvaid vettandvaid ja vettapidavaid kihte (joonis 1). Veekihtide läbilaskvust hinnatakse vastavalt filtratsioonikoefitsiendi k väärtusele (m/ööpäevas ehk m/d) järgmiselt: väga väike (0,01–1); väike (1–3); keskmine (3–10); suur (10–30); väga suur (30–70) ja ülisuur (> 70).

Kihtide läbilaskvus kihilisusega paralleelses (lateraalses) suunas võib olla kuni 100 korda suurem kui kihi-pindadega ristuv (transversaalses) suunas.

Veepide ehk vettpidav kiht on pinnase- või kivimikiht, mis ei lase vett läbi. Kihipinnaga ristsuunaline filtratsioonikoefitsient (k_1) on üldjuhul väiksem kui 10^{-2} m/ööpäevas. Eristatakse veepidavuse astmeid: nõrk (10^{-4} – 10^{-2} ehk 0,0001–0,01); keskmine (10^{-6} – 10^{-4}); tugev 10^{-8} – 10^{-6} ja väga tugev ($< 10^{-8}$).

Ükski niisuguste filtratsiooniomadustega veepide pole absoluutse isolatsioonivõimega. Isegi tugevad veepidemed lasevad läbi üles- või allapoole suunduvaid põhjaveevoole, mille koguhulk suurtel pindaladel võib ulatuda suurusjärguni $104 \text{ m}^3/\text{d}$.

Üksteisel lasuvad veekihid võivad olla, ent ei pea olema eraldatud veepidemetega. Ühtses lasuvusjärg-

nevuses kivimikompleksi, mis koosneb samalaadsete hüdrauliliste omadustega, kuid erineva kivimilise koostisega veekihtidest ja veepidemetest, nimetatakse **veekompleksiks**.

Tegeliku veevarustuse seisukohast eristatakse piisavalt vettandvaid veekihte ning veekomplekse (kaevude valdav erideebit ehk kaevu tootlikkus arvatuna ühe meetrise alanduse kohta $q > 0,1 \text{ l/(s}\cdot\text{m)}$, $> 10 \text{ m}^3/\text{d}$, $k > 1 \text{ m/d}$) ning nõrgalt vettandvaid veekihte ja veekomplekse ($q < 0,1 \text{ l/(s}\cdot\text{m)}$, $k < 1 \text{ m/d}$). Veekihid ja veekompleksid võivad olla piisavalt või nõrgalt vettandvad kas kogu oma levikualal või sporaadiliselt.

Veejuhtivuse tüübilt jagunevad Eesti kivimid poorse- teks või lõhelisteks kollektoriteks. Põhjavee toitumise seisukohalt on eriti oluline, et sademete vesi imbub põhjavette läbi aeratsioonivöö. Selle paksusest ja iseloomust oleneb suurel määral põhjavee looduslik kaitstus. Enamasti koosneb aeratsioonivöö Kvaternari setetest, kuid pinnakatte väikese paksuse korral haarab aeratsioonivöö ka aluspõhja ülemisi kihte. Olenevalt pinnasevee sügavusest on aeratsioonivöö tusedus väga muutlik, kõikides mõnekümnest sentimeetrist (sood, jõeorud) kuni paarikümne meetrini (kõrgustikud). Aeratsioonivöö eriliikidena võib vaadelda ülavett ja mullavett. Maapinnalähedane veekiht või veekihid esinevad enamasti pinnakattes, õhukese pinnakatte puhul ka aluspõhja kivimeis sügavusel 10–30 m maapinnast.

Veeand

Veeküllastunud kihi veeand oleneb vett sisaldava pinnase poorsusest ja selle iseloomust. Pinnas võib küll sisaldada palju vett, kuid põhjaveekihi puhul huvitab meid vee kogus, mis liigub raskusjõu mõjul (veeand). Näiteks turvas ja savi võivad palju vett sisaldada, kuid vesi sealt välja ei valgu. Puhta kruusa ja jämeliiva veeand on kuni 0,3 mahuosa (survetus vees sama kui efektiivpoorsus), tolmlilival ja savikal liival (samuti madalsooturbal) 0,05–0,1, saviliival ja liiv-savil 0,02–0,05, savi ja rabaturba veeand on nullilähedane. Lubjakivide veeand on sõltuvalt lõhelisusest 0,001–0,02 mahuosa.

Põhjavee temperatuur

Maakoore 10–30 m paksuses ülemises kihis sõltub kivimite ja põhjavee temperatuur õhutemperatuuri aastaringsest kõikumisest. Sügavamal on suhteliselt püsiva temperatuuriga vahemik, millest sügavuse suunas liikudes hakkab kivimite ja põhjavee temperatuur suurenema.

Sügavusvahemikku meetrites, kus kivimite ja põhjavee temperatuur tõuseb ühe kraadi võrra, nimetatakse **geotermiliseks astmeks**. Kasutatakse ka mõistet geotermiline gradient, mis näitab, mitu kraadi tõuseb maakoore temperatuur sügavamale minnes iga 100 m kohta. Geotermilise gradiendi keskmine väärtus on umbes 3 °C 100 m kohta.

PÕHJAVEE KEEMILINE KOOSTIS

Põhjavee keemilise koostise kujunemine

Vihm ja lumi sisaldavad samu ioone, mis esinevad pinna- ja põhjavees: kaltsium-, magneesium-, vesinikkarbonaat-, naatrium-, kaalium-, kloriid-, sulfaat-, nitraat- jt ioone. Kui sademevesi on läbinud allapoole valgudes aeratsioonivöö, saavutab vesi selle piirkonna maapinnalähedasele põhjaveele iseloomuliku keemilise koostise.

Põhjavee keemiline koostis sõltub veekihi lasumis-sügavusest. Maapinna lähedal on hapnikurikas tsoon, kus esinevad nii nitraat- kui ka sulfaatioon. Sügavuse suurenedes kaob veest vaba hapnik, seejärel kasutavad mikroorganismid ära nitraat- ja sulfaatiooni hapniku ning vette ilmuvad mangaan ja raud, hiljem ka väävelvesinik.

Mikro- ja makrokomponendid

Üldiselt mõistetakse põhjavee kvaliteedi all tema keemilise koostise ja mikrobioloogiliste näitajate vastavust kehtivatele joogiveestandardi nõuetele. Keemiline koostis on omakorda määratud vee makro- ja mikrokomponentide sisaldusega.

Tavaliselt mõistetakse vee põhiliste makrokomponentide all Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} ja K^+ -ioone, mis moodustavad ühtlasi maakoore mineraalse koostise põhiosa.

Vee hüdrokeemilise tüübi määrab vees esinevate makrokomponentide sisaldus, mida väljendatakse nende reastamisega sisalduse alanevas järjekorras, anioonid ees, katioonid järel (näiteks $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca-Mg}$).

Mikrokomponentide sisaldus on vees tunduvalt väiksem ja need komponendid ei määra vee geokeemilist tüüpi. Rida vees lahustunud komponente on makro- ja mikrokomponentide vahepealsed. Siia kuuluvad H^+ ,

NH_4^+ , NO_3^- , Fe^{2+} ja orgaaniline aine. Veest lahustunud mineraalainete hulka väljendatakse kas mg/l või g/l ja nimetatakse vee mineraalsuseks.

Kloriididel on suur migratsioonivõime. Kuna nii naatriumi, magneesiumi kui kaltsiumi kloriidid on väga hea lahustuvusega, leiame märkimisväärsel hulgal Cl^- praktiliselt igas põhjavee analüüsis. Algselt on Cl^- sattunud vette kivimite murenemise teel. Eesti tingimustes on oluline koht paleogeograafilisel faktoril. Nii põhjavee vertikaalse kui horisontaalse hüdrogeokeemilise võõndilisuse kujunemisel on suur tähtsus olnud Lääne-Eestit ja saari üleujutanud Holotseeni merelistel veekogudel. Ligi kolme aastatuhande kestel oli valdav osa saarest üle ujutatud Litoriiinamerest, mille soolsus (8–15 promilli) ületas ligi kahekordselt praeguse. Soolane kloriididerikas merevesi tungis vettandvatesse aluspõhjakiivimitesse ja muutis ka põhjavee soolakaks. Merest vabanenud aladel algas sademete ja pinnavee infiltreerumise tulemusel põhjavee magedumine. Sügavamates aluspõhjakiivites on aga soolakas kloriididerikas vesi säilinud. Käesoleval ajal peame arvestama merevee võimaliku sissetungi-ohuga põhjavee intensiivse tarbimise piirkondades.

Cl^- levik põhjavees on väga muutlik. Kõrge Cl^- -sisaldus (üle 350 mg/l) on iseloomulik kristalse aluskorra veele, suurele osale Kambriumi–Vendi ja Ordoviitsiumi–Kambriumi veekompleksist ja Siluri–Ordoviitsiumi veekompleksile Saaremaa, Hiiumaa ja Lääne-Eesti rannikupiirkondades.

Sulfaatioonid omavad samuti head liikumisvõimet ning jäävad selles suhtes alla ainult kloriididele. Põhiliseks sulfaatide allikaks põhjavees peetakse sette-kivimeid, mis sisaldavad mitmesuguseid sulfiidseid mineraale. Eesti tingimustes on kõige olulisem püriidi esinemine lubjakivis ja graptoliitargilliidis. Püriidi oksüdeerumise tulemusena satub vette ka SO_4^{2-} .

Selline protsess on laialt levinud põlevkivikaevanduste ümber, kus veepinna suure kõikumise tagajärjel lubjakivis sisalduv püriit oksüdeerub, mille tulemusena ületab SO_4^{2-} -sisaldus kohati 250 mg/l ehk joogivee lubatud piirsisalduse.

Karbonaatide sisaldus põhjavees ei olene sellest, kas vesi liigub karbonaatkivimites, kruusas, moreenis või liivakivi lõhedes (ka liivakivis on tsementeerivaks aineks karbonaatne materjal), vaid vees lahustunud vaba CO_2 hulgest. Seepärast on Eestis maapinnalähedane põhjavesi kõikjal (välja arvatud rabad ja suured liivaalad) sarnase keemilise koostise ja mineraalsusega.

Vesinikkarbonaatioonid on põhjavee keemilise koostise tähtis osa. Üldtunnustatud on seisukoht, et HCO_3^- allikaks on mitmesugused karbonaatsed kivimid (lubjakivi, dolomiit, mergel) ja teiste settekivimite karbonaatne tsement.

Kaltsiumioonid on Eesti põhjavee kõige levinumad katioonid. Nagu eespool kirjeldatud, on Ca^{2+} allikaks aluspõhjas laialt levinud karbonaatsed kivimid. Kuid ilmselt veelgi olulisem on vee rikastumine Ca^{2+} -ga infiltratsiooniteekonnal läbi mulla ja pinnakatte.

Magneesiumioonid on oma keemiliste omaduste poolest sarnased kaltsiumile. Mg^{2+} -ioonid satuvad põhjavee põhiliselt dolomiidi ja mergli murenemise tagajärjel. Haruldane ei ole ka Mg^{2+} ülekaal katioonide hulgas. Kuna Eesti joogiveestandard Mg^{2+} sisaldust ei normeer, pole olnud tema esinemisega ka probleeme.

Vee karedus on vees lahustunud kaltsiumi- ja magneesiumisoolade sisaldus, mida väljendatakse 1 liitris vees sisalduvate kaltsiumi- ja magneesiumioonide hulgana milligramm-ekvivalentides (mg-ekv/l) või kareduskraadides (°dH).

Naatriumioonid on põhjavee koostise üks tähtsamaid komponente. Kuna naatriumisoolad paistavad silma kõrge lahustuvusega, on ka nende migratsioonivõime võrdlemisi suur. Suurem osa Na^+ -ioonidest on Eesti põhjavees tasakaalustatud Cl^- -ioonidega.

Kaaliumioonid on omadustelt ja esinemise poolest analoogsed Na^+ -ioonidele. Erinevus on selles, et K^+ esineb maakoos ja põhjavees võrreldes Na^+ -ga väga väikestes kogustes. Seepärast pole ka K^+ sisaldusele põhjavees osutatud erilist tähelepanu. Enamasti viidatakse temale kui Kirde-Eesti elektrijaamade põlevkivituhaast tulevate õhusaaste indikaatorile.

Vesinikioonide kontsentratsioon (pH) on loodusliku vee happelisust ($\text{pH} < 7$) või aluselisust ($\text{pH} > 7$) iseloomustav näitaja, mis mõjutab paljusid hüdrogeokeemilisi protsesse. Eesti joogiveestandard lubab kasutada vett pH väärtustega 6,5–9,5.

Raud on litosfääri üks levinumaid elemente. Põhjavees esineb ta kahevalentse Fe^{2+} - või kolmevalentse Fe^{3+} -ioonina. Vaba hapniku olemasolu korral läheb Fe^{2+} kergesti üle suhteliselt väheliikuvasse Fe^{3+} olekusse. Olmevees on raud üks tülikamaid komponente, ummistades filtreid ja kraane ning määrides ämbreid ja isegi pesu. Kuigi üldraua mediaaniline sisaldus on enamikus Eesti veekihtides 0,3–0,5 mg/l, ei ole haruldased puurkaevud, kus tema sisaldus on üle 1 mg/l. Valdav enamus tegutsevatest veehaaretest (puurkaevudest) tuleks varustada rauaärastusseadmetega, kuna joogivee lubatud piirsisaldus on ainult 0,2 mg/l.

Lämmastikühendid esinevad põhjavees NH_4^+ -, NO_2^- - ja NO_3^- -ioonidena, mis omavahel on geneetiliselt seotud ja võivad minna üksteiseks üle.

NH_4^+ sisaldust mõõdetakse sajandike, harvem kümendike milligrammidega liitris. Tema esinemine maapinnalähedases põhjavees ($> 0,5$ mg/l) annab tunnistust värskest reostusest. Ka Kambriumi–Vendi veekihtide põhjavees on kohati kõrgendatud NH_4^+ sisaldus, kuid see on loodusliku päritoluga ja seotud tõenäoliselt Põhja-Eesti ürgorgudes ladestunud orgaanilise ainesega.

NO_2^- sisaldus ei ületa tavaliselt mõnd kümnendikku milligrammi liitris. Nagu NH_4^+ , viitab ka NO_2^- esinemine põhjavee suhteliselt värskele reostusele. Kuna ta on suhteliselt ebapüsiv komponent, siis ka tema esinemine põhjavees on juhuslikku laadi. NO_2^- kõrgendatud sisaldus võrreldes Eesti joogiveestandardiga (0,5 mg/l) annab tunnistust reostusest.

NO_3^- on põhjavee lämmastikühenditest reostuse lõpp-produkt. Vaatamata heale lahustuvusele ei ole NO_3^- liikuvus kuigi suur, kuna teda omastatakse ka taimede poolt ja taandavas keskkonnas võib aset leida denitrifikatsioon kuni vaba lämmastiku eraldumiseni. Sisaldused üle 50 mg/l iseloomustavad otsest punkt-reostust või tootmiskeskuste ümbruse põldude väga intensiivset väetamist. Reostamine on inimtegevuse tulemusena ainete või soojuse otsene või kaudne õhku, vette või maasse viimine, mis võib osutada kahjulikuks inimeste tervisele või veeökosüsteemide

või veeökosüsteemidest otseselt sõltuvate maismaa-ökosüsteemide kvaliteedile. Vee reostamine on vee kasutamise piiramist põhjustav vee omaduste halvendamine reostusallika poolt. Reostunud põhjavesi sisaldab inimtekkelist reoainet üle keskkonnakvaliteedi standardi ($\text{NO}_3^- > 50 \text{ mg/l}$) ning on inimese tervisele ja keskkonnale ohtlik.

Orgaaniline aine esineb suuremal või vähemal määral peaaegu alati looduslikus vees. Orgaaniliste ainete keemiline koostis on äärmiselt mitmekesine ja sõltub nende tekkeviisist. Suurem osa orgaanilisest ainest on vees kolloidses olekus, tema sisaldust on hinnatud oksüdeeritavusega, s.o hapniku hulgaga (mgO_2/l), mis kulub tema hapendamiseks. Eesti joogiveenõuete lubatud piirväärtus on $5 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

Fluori suurt sisaldust esineb peamiselt Siluri–Ordoviitsiumi veekihtide vees Lääne- ja Kesk-Eestis. Kõikjal mujal Eestis on fluoriiooni sisaldus põhjavees tunduvalt madalam. Madalates puurkaevudes (sügavusega alla 30 m) on fluoriiooni sisaldus lubatud normi piires

(< $1,5 \text{ mg/l}$). Kontsentratsioonid $4\text{--}7 \text{ mg/l}$ esinevad 100 meetrist sügavamates puurkaevudes. Sügavate puurkaevude vees on lisaks fluoriioonile kohati ka suur boorisaldus.

Radionukliidid põhjavees on põhiliselt uraani ja raadiumi, vähemal määral seatina ja kaaliumi radioaktiivsed isotoobid, mis pärinevad kristalse aluskorra kivimitest (graniit, gneiss jt). Sellest tingituna on nende suurem sisaldus seotud Kambriumi–Vendi veekihtide veega, kus nad põhjustavad lubatust suurema joogiveega saadava efektiivdoosi. Efektiivdoos on kõikides inimese organites või kudedes neeldunud kiirgusenergia summa, mille ühikuks on Sv (siivert). Joogiveega saadav (arvestuslik kogus täiskasvanule on 2 liitrit ööpäevas) aastane efektiivdoos ei tohi olla üle $0,1 \text{ mSv}$.

Mineraalvesi (ka ravimineraal- ehk tervisevesi) on põhjavesi, millel on mineraaloolade, gaaside, mikroelementide jt ainete rohke sisalduse või muude omaduste (radioaktiivsuse, temperatuuri, happesuse jm) tõttu tervisele kasulik toime.

EESTI HÜDROGEOLOOGILINE ÜLEVAADE

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv 2000/60/EÜ (veepoliitika raamdirektiiv) võtab riigi vesikondade veemajanduskavade elluviimiseks ja põhjavee seisundi määramiseks kasutusele põhjaveekogumi mõiste. Direktiivi järgi on **põhjaveekogum** piiritletav põhjaveekogus põhjaveekihis või -kihtides. Kehtiv Veeseadus annab põhjaveekogumi terminile järgmise tähenduse: põhjaveekogum on põhjaveekihis või -kihtides selgesti eristatav veemass. Eestis levivad põhjaveekihid on hüdrostratigraafilisel põhimõttel jagatud gruppidesse, mida on nimetatud kas **veekompleksideks** või veekihtideks.

Põhjaveekogumi ulatuse määramisel arvestatakse põhjaveekogumi hüdrogeoloogilisi tingimusi, s.h põhjavee looduslikku keemilist koostist, kivimite füüsikalise-keemilise omadusi, veevahetuse kiirust, tundlikkust hüdrokeemiliste mõjurite suhtes, inimtegevuse võimalikku mõju ning sotsiaalmajanduslikke aspekte.

Sügaval lasuvad geoloogilised üksused, mis ei ole seotud maismaaökosüsteemidega ja mille vesi ei sobi looduslikult kõrge soolsuse tõttu joogiveena kasutada või mille kasutamine ei ole majanduslikult õigusta-

tud, ei ole raamdirektiivi mõistes veekihid ega seega ka põhjaveekogumid. Sellest tulenevalt ongi Kambriumi–Vendi ja Ordoviitsiumi–Kambriumi veekihid arvatud põhjaveekogumiteks ainult Põhja-Eestis, kus Kambriumi–Vendi ja Ordoviitsiumi–Kambriumi vee keemiline koostis on vastav joogiveeallika kvaliteedinõuetele. Tingituna Eesti geoloogilise ehituse omapärast (suhteliselt homogeense kivimilise koostisega platvormsete geoloogiliste üksuste lai levik ja neis sisalduva põhjavee lähedased hüdrogeoloogilised tingimused) on aluspõhjalistes veekihtides eristatud põhjaveekogumid suhteliselt suure pindalalise levikuga.

Põhjaveekogumite piiritlemine on tehtud arvestades eelkõige neid moodustavate veekihtide hüdrostratigraafilist asendit, paiknemist vesikondade suhtes, rannajoont ja riigipiiri. Sügaval lasuvate Ordoviitsiumi–Kambriumi ja Kambriumi–Vendi põhjaveekihtides paiknevate põhjaveekogumite piiritlemisel on arvestatud kloriidide sisaldusega 350 mg/l , millest suurema sisaldusega vesi ei vasta joogiveeallika kvaliteedinõuetele.

Põhjaveevoolu erinevast iseloomust tulenevalt eristatakse poorseid põhjaveekihte, kus põhjavee liikumine toimub valdavalt teralistest kivimite pooride kaudu, ja lõhelis-karstilisi põhjaveekihte, kus põhjavee liikumine toimub mööda karstikäike ja lõhesid. Suhteliselt veerikkad glatsiofluviaalsed setted ja nendega seotud veekihtid on võrdlemisi piiratud levikuga ja sedagi valdavalt Lõuna-Eestis. Suurem osa Eesti territooriumist on kaetud liivsavise moreeni, saviliivast koosnevate jääjärveliste setete või soosetetega, mille vett väikese veeanni või mitterahuldava keemilise koostise tõttu ei sobi kasutada joogiveeallikana. Põhjaveekogumite loetelu, nende üldine levik ja piirid on näidatud joonisel 4 ja paiknemine hüdrogeoloogilisel läbilõikel (joonis 5).

Vastavalt raamdirektiivile võib põhjaveekogumeid grupeerida nende ohustatuse hindamiseks, seire ja aruandluse esitamise eesmärkidel, aga samuti nende majandamise eesmärkidel. Eesti on põhiliste põhjaveekomplekside järgi jagatud viieks põhjaveekogumite grupiks:

- 1) Kvaternaari põhjaveekogumite grupp, (põhjaveekogumid 27–39*)
- 2) Devoni põhjaveekogumite grupp, (põhjaveekogumid 19–26)
- 3) Siluri–Ordoviitsiumi põhjaveekogumite grupp, (põhjaveekogumid 6–18)
- 4) Ordoviitsiumi–Kambriumi põhjaveekogumite grupp, (põhjaveekogumid 4–5)
- 5) Kambriumi–Vendi põhjaveekogumite grupp, (põhjaveekogumid 1–3).

* põhjaveekogumite numeratsioon vastavalt keskkonnaministri määrusele RT I, 12.07.2016, 1.

Kvaternaari veekompleks (põhjaveekogumite grupp) on esindatud põhiliselt pinnasevena, mis on maapinnast esimese alalise veekihi surveta põhjavesi (joonis 6). Et viimane toitub peamiselt sademetest, siis langeb selle levikuala tavaliselt kokku toitumisalaga. Pinnasevee liikumine toimub raskusjõu mõjul reljeefi kõrgematest kohtadest jõeorgude, järvenõgude ja mere suunas. Enamus Kvaternaari setteid on väikese veeanniga, mistõttu põhjaveekogumeid moodustavad vaid liustikujõe setetes paiknevad veekihtid.

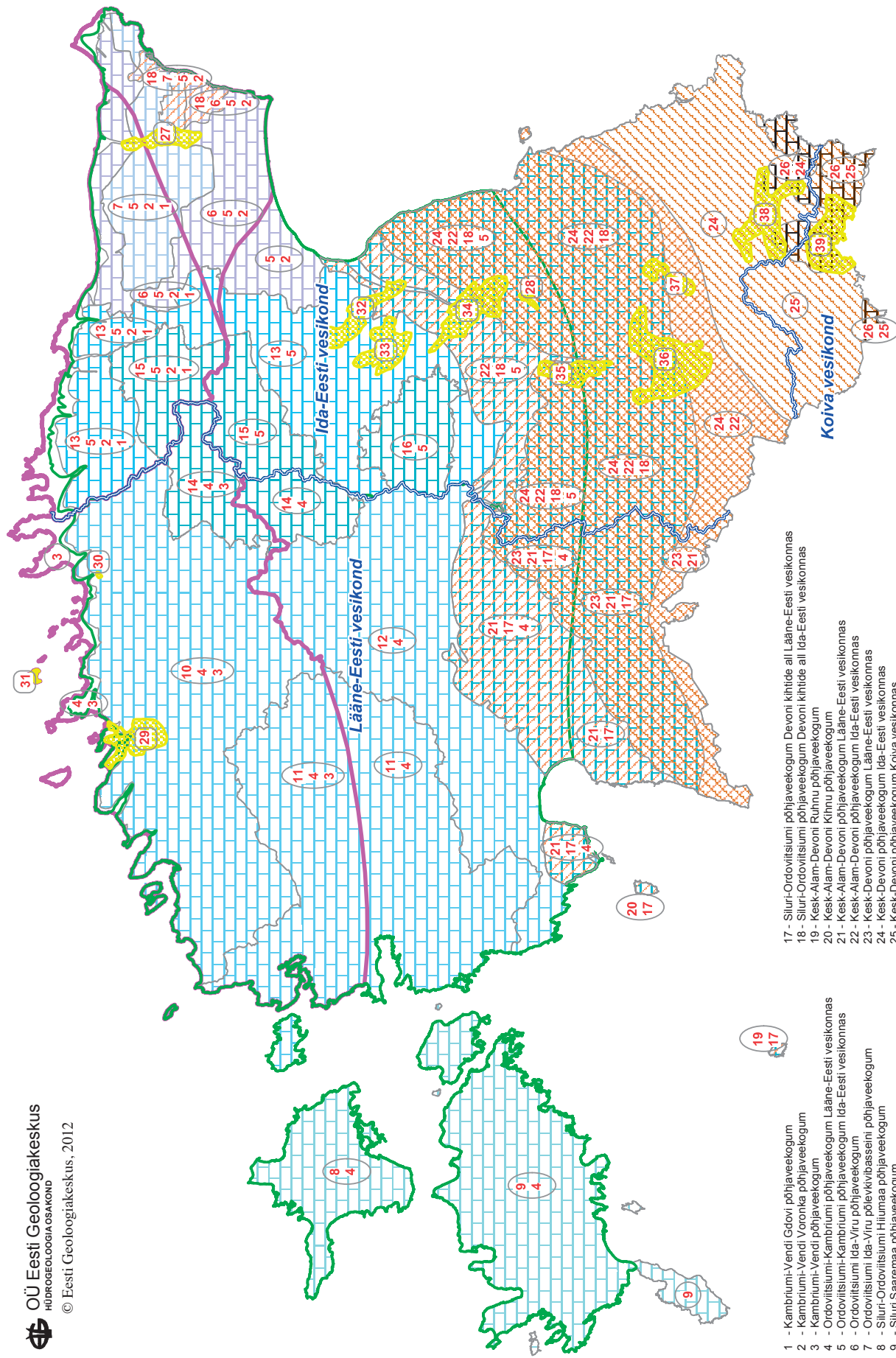
Olles hästi kättesaadav, kasutatakse teda väga laialdaselt salvkaevude ja üksikute madalate puurkaevude kaudu. Koosnedes peamiselt liivadest ja kruusadest on nende setete filtratsioonikoefitsient sageli

5–10 m/ööpäevas, kohati kuni 100 m/ööpäevas. Seejärel annavad liustikujõesetetesse rajatud kaevud üldiselt rohkesti vett. Ürgorgudes esinevad liustikujõesetted on tihti kaetud savikate jääjärve- või liustikusetetega, mistõttu vesi on nendes kihtides sageli survealine. Liustikujõesetetest vett võtavad suhteliselt suured ühisveehaarded on rajatud Jõhvi lähedal Vasavere (põhjaveekogum 27) ja Tartus Raadi-Maarjamõisa ürgorule (põhjaveekogum 28). Pinnasevee suurim puudus on kerge reostatavus ja sellest tingitud halb kvaliteet, eriti suuremates asulates. Seepärast on enamik tarbijaid läinud üle sügavamate põhjaveekihtide kasutamisele.

Aluspõhja vettandvad ja vettpidavad kihid

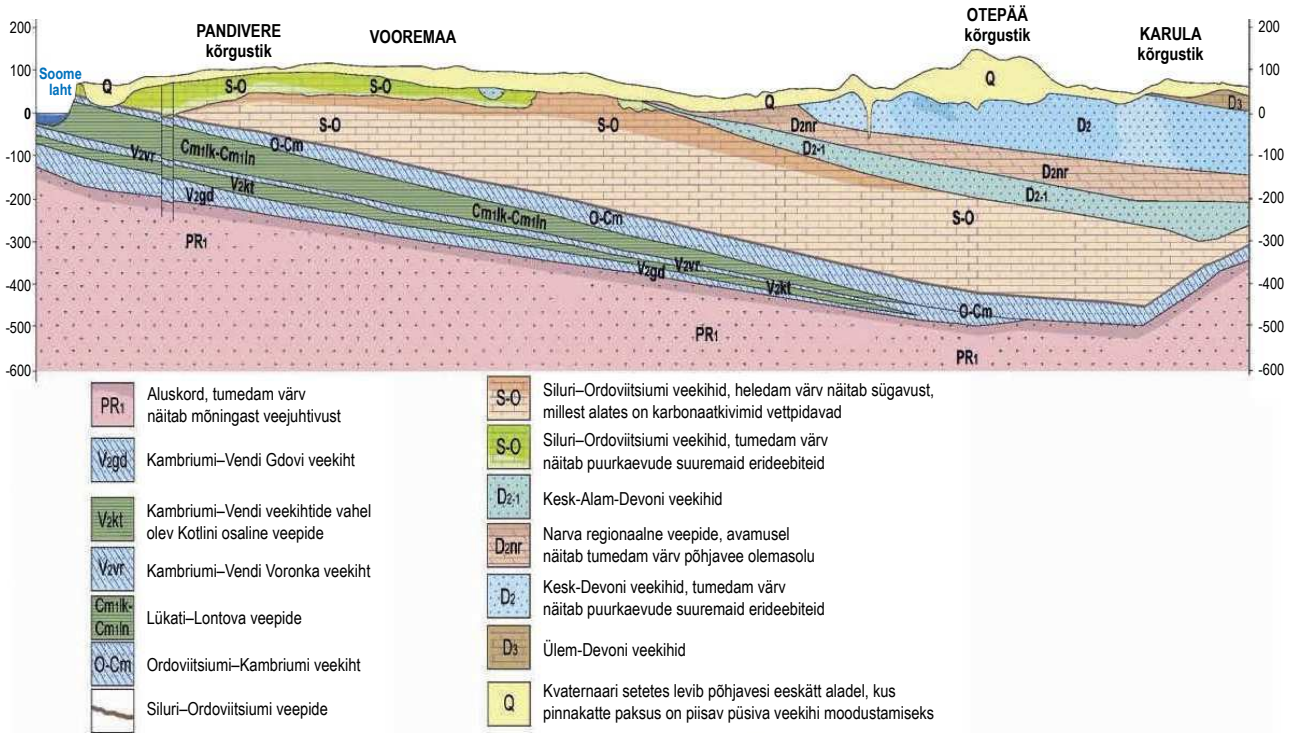
Ülem-Devoni veekihtid (D₃) levivad Eesti kaguosas ligi 500 km² suurusel alal. Piiratud aladel esinevad Dubniki ja Plavinase lademe karstunud ja lõhelisi dolokive ning dolomiidistunud lubjakive hõlmava veekihi kogupaksus on 17–25 m. Plavinase lademe alumise osa merglilise savi vahekihtidega aleuoliidid moodustavad keskmise isoleerimisvõimega veepideme. Veekihtid on kaetud enamasti 40–80 m paksuse pinnakattega. Olenevalt reljeefist on vesi vabapinnaline või survealine, survetase jääb maapinnast enamasti 3–8 m sügavusele. Üksikutes kohtades (Rõuge Ööbikuorg) väljub põhjavesi allikatena ka maapinnale. Suuri karstilehtreid esineb Rõuges, Meremäel, Meeksis ja mujal, kus sulamis- ning vihmavesi tungib kiiresti aluspõhja kihtidesse. Karstunud karbonaatkivimite filtratsioonikoefitsient varieerub vahemikus 1–50 m/ööpäevas. Sellele vastavalt on puurkaevude erideebit 0,2–6,0 l/(s·m), valdavalt aga 1 l/(s·m). Piiratud esinemise tõttu ei ole Ülem-Devoni veekihtidel ühisveevarustuse seisukohast erilist tähtsust.

Kesk-Devoni veekihtid (D₂) levivad kogu Lõuna-Eestis Liivi lahe ja Peipsi järve vahelisel alal. Selle kivimilise osa moodustavad Amata, Gauja, Burtnieki ja Aruküla lademe valged, kollakad või punakaspruunid liivakivid ja aleuoliidid savi vahekihtide ning -läätsetega. Savikas materjal valdab Amata lademes, mistõttu ta moodustab koos Snetnaja Gora kihtidega Ülem- ja Kesk-Devoni vahelise nõrga kuni keskmise veepideme. Kesk-Devoni veekihtide leviku põhjapoolseks piiriks on ligikaudu Häädemeeste–Mustvee mõtteline joon. Sealt kasvab tema paksus kagu poole kuni 250 meetrini Haanja kõrgustikul. Vee survetase



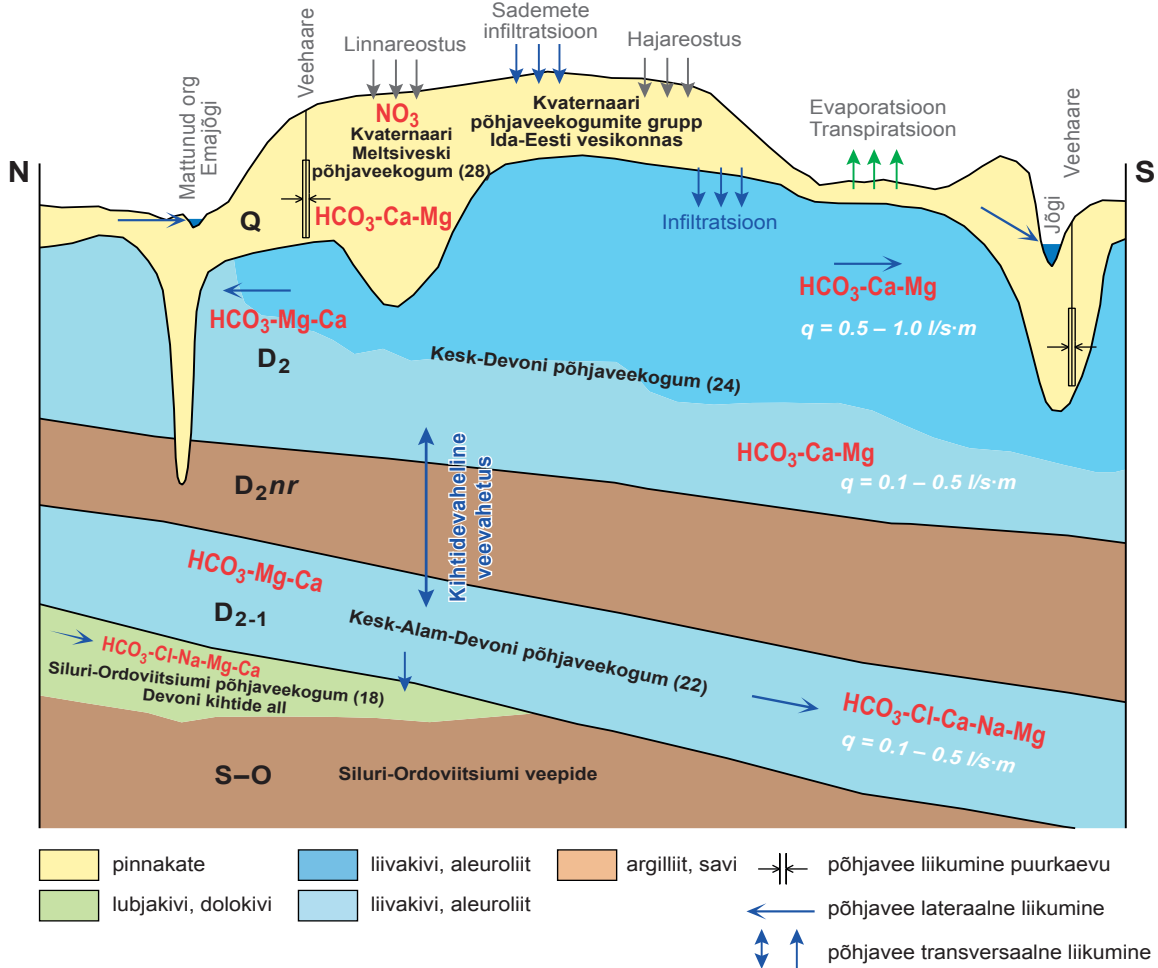
- 1 - Kambriumi-Vendi Govõ põhjaveekogum
- 2 - Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekogum
- 3 - Kambriumi-Vendi põhjaveekogum
- 4 - Ordovitsiumi-Kambriumi põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas
- 5 - Ordovitsiumi-Kambriumi põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas
- 6 - Ordovitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum
- 7 - Ordovitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum
- 8 - Siluri-Ordovitsiumi Hiiumaa põhjaveekogum
- 9 - Siluri Saaremaa põhjaveekogum
- 10 - Siluri-Ordovitsiumi Harju põhjaveekogum
- 11 - Siluri-Ordovitsiumi Matsalu põhjaveekogum
- 12 - Siluri-Ordovitsiumi Pärnu põhjaveekogum
- 13 - Siluri-Ordovitsiumi põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas
- 14 - Siluri-Ordovitsiumi Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas
- 15 - Siluri-Ordovitsiumi Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas
- 16 - Siluri-Ordovitsiumi Adavere-Põltsamaa põhjaveekogum
- 17 - Siluri-Ordovitsiumi põhjaveekogum Devoni kihite all Lääne-Eesti vesikonnas
- 18 - Siluri-Ordovitsiumi põhjaveekogum Devoni kihite all Ida-Eesti vesikonnas
- 19 - Kesk-Alam-Devoni Rühnu põhjaveekogum
- 20 - Kesk-Alam-Devoni Kirnu põhjaveekogum
- 21 - Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas
- 22 - Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas
- 23 - Kesk-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas
- 24 - Kesk-Devoni põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas
- 25 - Keski-Devoni põhjaveekogum Koiva vesikonnas
- 26 - Ülem-Devoni põhjaveekogum
- 27 - Kvaternaari Vasavere põhjaveekogum
- 28 - Kvaternaari Meltsiveski põhjaveekogum
- 29 - Kvaternaari Männiku-Peiguranna põhjaveekogum
- 30 - Kvaternaari Kusalu põhjaveekogum
- 31 - Kvaternaari Prangli põhjaveekogum
- 32 - Kvaternaari Sadala põhjaveekogum
- 33 - Kvaternaari Lauuse põhjaveekogum
- 34 - Kvaternaari Saadjärve põhjaveekogum
- 35 - Kvaternaari Elva põhjaveekogum
- 36 - Kvaternaari Põlgaste-Kanepi põhjaveekogum
- 37 - Kvaternaari Võru põhjaveekogum
- 38 - Kvaternaari Ruusmäe-Krabi põhjaveekogum
- 39 - Kvaternaari Ruusmäe-Krabi põhjaveekogum

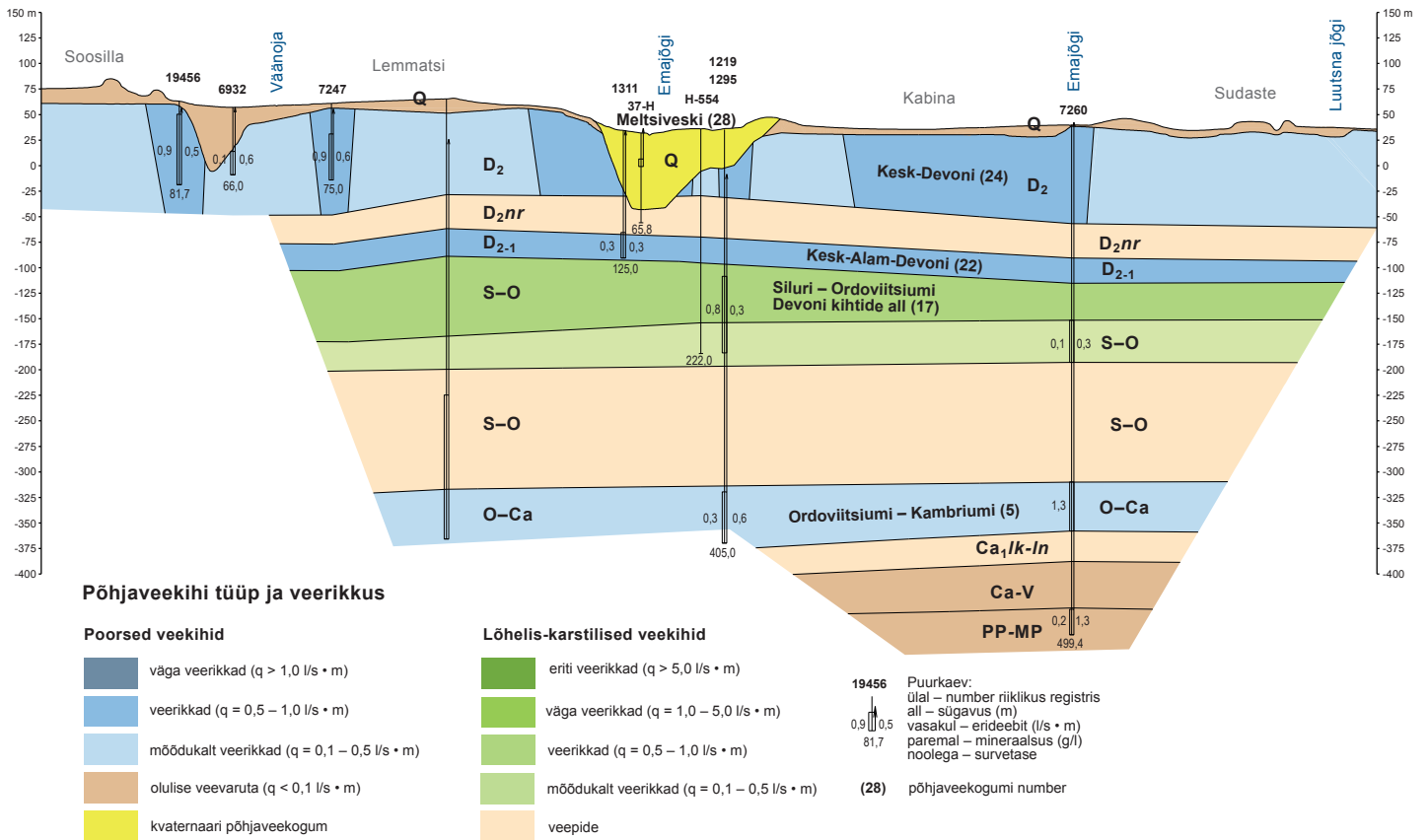
Joonis 4. Põhjaveekogumite asend ja piirid.



Joonis 5. Põhjaveekihid ja veepidemed hüdrogeoloogilisel läbilõikel.

Joonis 6. Kvaternaari põhjaveekogumite, Kesk-Devoni (24), Kesk-Alam-Devoni (22) ja Devoni kihtide all lasuva Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogumi (18) kontseptuaalse mudeli visualiseeritud läbilõige Ida-Eesti vesikonnas.





Joonis 7. Kvaternaari Meltsiveski (28), Kesk-Devoni (24), Kesk-Alam-Devoni (22), Siluri-Ordoviitsiumi Devoni kihtide all (17) ja Ordoviitsiumi-Kambriumi (5) põhjaveekogumite läbilõige Lõuna-Eestis Ida-Eesti vesikonnas.

jääb kõrgustikel 10–15 m sügavusele maapinnast, kuid madalamatel aladel esineb ka ülevoolavaid kaeve (Tõrva, Valga, Antsla, Võru ja mujal). Survepinna absoluutkõrgus on Haanja ja Otepää kõrgustikul 80–130 m ning Sakala kõrgustikul 50–80 m. Vettandvate kivimite filtratsioonikoefitsient on valdavalt 1–3 m/ööpäevas. Sellele vastavalt on puurkaevude erideebit enamasti 0,4–1,0 l/(s·m) (joonis 7). Kesk-Devoni veekihte kasutatakse ühisveevarustuses peamiselt Häädemeeste-Põlva joonest lõuna pool, kuid ka Kallastel, Tartus, Viljandis ja Elvas.

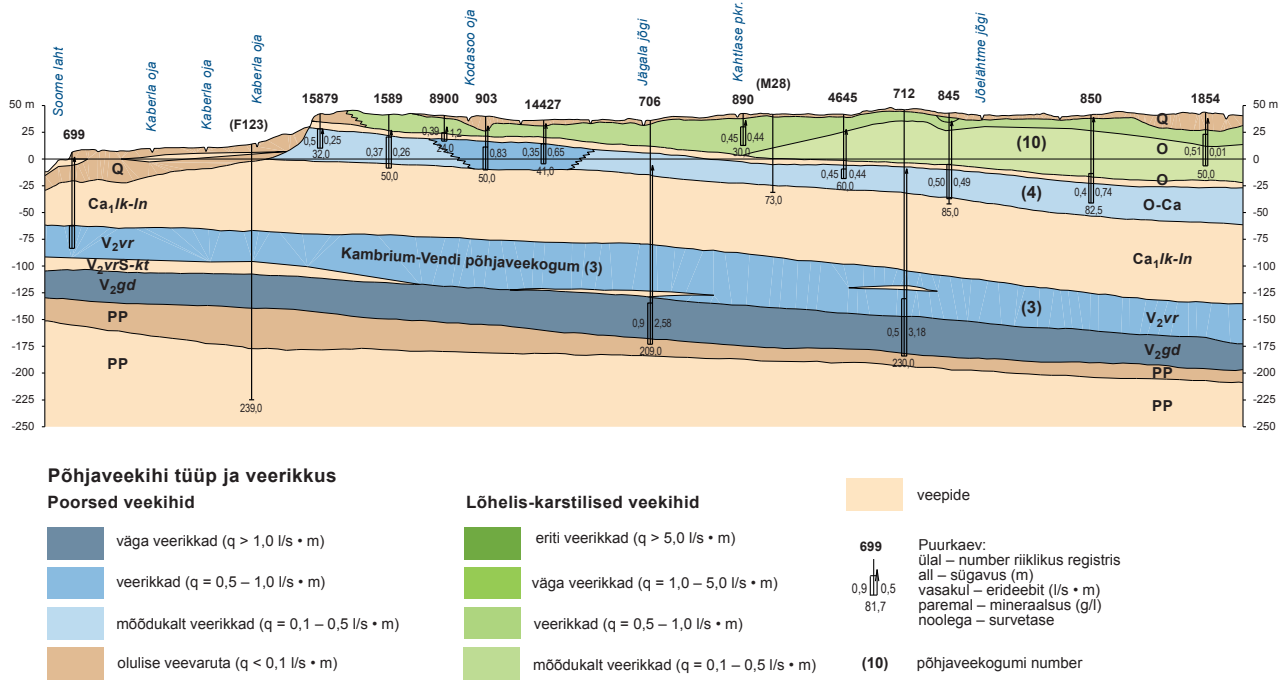
Vesi on põhiliselt mage, valdavalt $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ -tüüpi. Mineraalainete sisaldus on tavaliselt vahemikus 300–500 mg/l. Üsikutute komponentide sisaldused on lähedased foonilistele ja muutuvad ilma eriliste seaduspärasusteta. Veekihtidele on iseloomulik kõrge rauasisaldus, mille keskmine ületab isegi joogivee normi.

Narva regionaalne veepide (D_{2nr}) koosneb Narva lademe savika aleuoliidi, domeriidi, mergli ja savi kihtidest kogupaksusega kuni 100 m. Need moodustavad kogu Lõuna-Eestis ja ka Tartu-Mustvee vahemikus ülalt esimese tõhusa aluspõhja veepideme, mille

transversaalne (kihtidega risti) filtratsioonikoefitsient on 10^{-4} – 10^{-5} m/ööpäevas, kohati ka 10^{-6} või veel väiksem.

Kesk-Alam-Devoni veekihtid (D_{2-1}). Narva veepideme all lamavad vettandvad Kesk-Devoni Pärnu lademe ja Alam-Devoni Rezekne ja Tilže lademe peeneteralised nõrgalt tsementeerunud liivakivid ja aleuoliidid savikate ja dolomiidistunud liivakivi vahekihtidega. Pärnus, Viljandis ja Tartus kasutatakse neid veevarustuseks koos lamavate Siluri kihtidega. Lõuna-Eestis ulatub kuni 100 m paksuse Kesk-Alam-Devoni veekihtide lasuvussügavus rohkem kui 200 m allapoole merepinda. Vesi on enamasti surveiline, kusjuures survepind ulatub madalamatel aladel üle maapinna, põhjustades kaevude ülevoolu. Kõrgustikel jääb survepind 10–20 m sügavusele maapinnast. Tänu headele kollektoromadustele on liivakivi veeandvus küllaltki kõrge. Puurkaevude deebit on enamasti vahemikus 3–8 l/s veepinna alandusel 4–10 m.

Vesi on valdavalt mage, mineraalainete sisaldusega 300–500 mg/l. Kõige suurem probleem on raua suhteliselt suur sisaldus.



Joonis 8. Siluri–Ordoviitsiumi Harju (10), Ordoviitsiumi–Kambriumi (4) ja Kambriumi–Vendi (3) põhjaveekogumite läbilõige Lääne-Eesti vesikonnas.

Siluri–Ordoviitsiumi veekihid (S–O) on tähtis veevarustuse allikas Pärnu–Põlva joonest põhja pool ja samuti Lääne-Eesti saartel. Selle kivimiline osa koosneb mitmesugustest lubja- ja dolokividest, milles esinevad savikama koostisega vahekihid. Selle kivimikompleksi ülemine 30 m paksune osa on tugevasti karstunud ja lõhestunud (paksus on enamasti 1–3 m, harvem 5–10 m). Lasuvussügavuse suurenedes karbonaatkivimite lõhelisus ja karstumus väheneb ja nad muutuvad vettpidavaks.

Rohkem kui 300 puuraugus tehtud vee vooluhulga mõõtmiste järgi annab ülemine 15 m paksune sügavusvahemik ligikaudu poole kogu puurauku tungivast veest. Kuivõrd sügavuse kasvamisel lisandub vähe uusi vettandvaid lõhesid, siis võib 75-meetrist sügavust pidada kogu Siluri–Ordoviitsiumi veekihtide piisavalt vettandva osa alumiseks piiriks (joonis 8).

Aluspõhja karbonaatkivimite ülemise 20 m paksuse osa lateraalne (pikisuunaline) filtratsioonikoefitsient on enamasti vahemikus 10–50 m/ööpäevas, 20–50 m sügavusel on see 5–8 m/ööpäevas ja 50–100 m sügavusel 1–2 m/ööpäevas. Sügavamate kihtide lateraalne filtratsioonikoefitsient pole harilikult suurem kui 1 m/ööpäevas. Allikate deebit ulatub 100–200, harvem kuni 300 l/s. Peamiseks surve tekkealaks on Põhja-Eesti veelae. Pandivere kõrgustikul ulatub veetase absoluutkõrguseni 110 m.

Veekompleksi ülemist osa sügavuseni 25 m avate puurkaevude erideebit kõigub vahemikus 1–30 l/(s·m), olles keskmiselt 3–5 l/(s·m). Sügavamatest kihtidest vett saavate puurkaevude erideebit on harva suurem kui 1 l/(s·m).

Esmase mõjutuse põhjavee keemilise koostise kujunemisele on andnud paene aluspõhi ja moreeni karbonaatne koostis. Niiske ja suhteliselt jahe kliima on soodustanud pae murenemist ja süsihappegaasi toimel magneesium- ja kaltsiumikarbonaadi sattumist vette. Seetõttu on Põhja-Eestis Harju ja Viru lavamaal ja Pandivere kõrgustikul, kus alvaritel ja õhukese pinnakattega aladel leiab aset sademete intensiivne infiltratsioon, iseloomulik $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ - ja $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ -tüüpi vesi mineraalainete sisaldusega 300–500 mg/l.

Teine oluline tegur on neotektooniline kerkimine viimase kümne aastatuhande kestel. Merest tõusnud Lääne-Eesti saared ja Lääne-Eesti madalik on saanud Läänemere varasematest arengustaadiumidest pärandiks Na^+ - ja Cl^- -ioone, mistõttu seal on formeerunud mineraalainete rikkam põhjavesi. Kohati muutub vesi soolakaks.

Enamik keemilise koostise komponente jäävad mageda põhjavee levikualal normi piiridesse. Erandiks on raud, mille sisaldus ületab tihti joogivee normi (LPK – 0,2 mg/l). Mitmel pool rannikupiirkondades

on vees lubatust rohkem Na⁺- ja Cl⁻-ioone. Olulist mõju põhjavee keemilisele koostisele on osutanud ka inimtegevus. Kõige levinum on nitraatide kõrge sisaldus intensiivse põllumajandusega piirkondades, eriti Pandivere kõrgustikul.

Siluri–Ordoviitsiumi regionaalne veepide (S–O) koosneb Alam–Ordoviitsiumi Toila, Leetse, Varangu ja Türisalu kihistu lubjakividest, merglitest, aleuroliitidest, savidest ning argilliididest, mis levivad Põhja-Eesti klindist ligikaudu Tapa laiuseni. Seal lõuna poole kuuluvad veepideme koosseisu kõik aluspõhja pealispinnast sügavamal kui 100 m lasuvad Siluri ja Ordoviitsiumi kivimid.

Ordoviitsiumi–Kambriumi veekiht (O–Ca) jääb Siluri–Ordoviitsiumi regionaalse veepideme alla (joonis 8), levides peaaegu kogu Eestis, välja arvatud Põhja-Eesti rannikumadalik ning Mõniste–Lokno kerkeala. Veekompleksi paksus on 20–60 m, kasvades lõuna poole. Sügavus maapinnast suureneb 10–20 meetrist Põhja-Eesti pankrannikul kuni 500 meetrini Eesti lõunapiiril.

Peamiseks toitumisalaks on Pandivere kõrgustik, kus Ordoviitsiumi kihtidest läbi Siluri–Ordoviitsiumi regionaalse veepideme nõrgunud vesi valgub surve-
liste filtratsioonivooludena laiali radiaalsuundades. Vee survepinna absoluutkõrgus on seal looduslikes tingimustes kuni 70 m. Käesoleval ajal on veekompleks oluliseks ühisveevarustuse allikaks Põhja-Eestis. Ordoviitsiumi–Kambriumi veekompleksi läbilaskvus on pindalaliselt üsna ühtlane, kuna lateraalne filtratsioonikoefitsient jääb enamasti vahemikku 1–3 m/ööpäevas. Filtratsioonikoefitsient väheneb üldiselt lõuna suunas. Seevastu vettandvate kihtide paksusest olenevalt on veejuhtivus Kesk- ja Kagu-Eestis 80–130 m²/ööpäevas, ent Põhja-Eestis vaid 25–50 m²/ööpäevas. Puurkaevude deebit moodustab 5–7 l/s alandusel 10–15 m. Erideebit kõigub valdavalt vahemikus 0,1–0,3 l/(s·m).

Vee keemiline koostis ja mineraalsus on piirkonniti väga erinev. Põhja-Eestis on vesi valdavalt HCO₃-Mg-Ca-, HCO₃-Na-Mg- või HCO₃-Cl-Na-Mg-Ca-tüüpi, mineraalainete sisaldusega 200–500 mg/l. Lõuna-Eestis ja Lääne-Eesti saartel suureneb veekompleksi lasuvussügavuse suurenedes põhjavee mineraalsus ja valdavaks saab Cl-HCO₃-Na-Mg ning isegi Cl-Na-tüüpi vesi. Lõuna- ja Edela-Eestis ületab põhjavee mineraalsus kõikjal 2,0 g/l. Iklas, Häädemeestel ja Ruhnus on selle veekompleksi vett käsitletud mineraalveena.

Mageda vee levikualal vastab vee keemiline koostis enamasti nii Eesti joogiveestandardi kui ka Euroopa Liidu normidele.

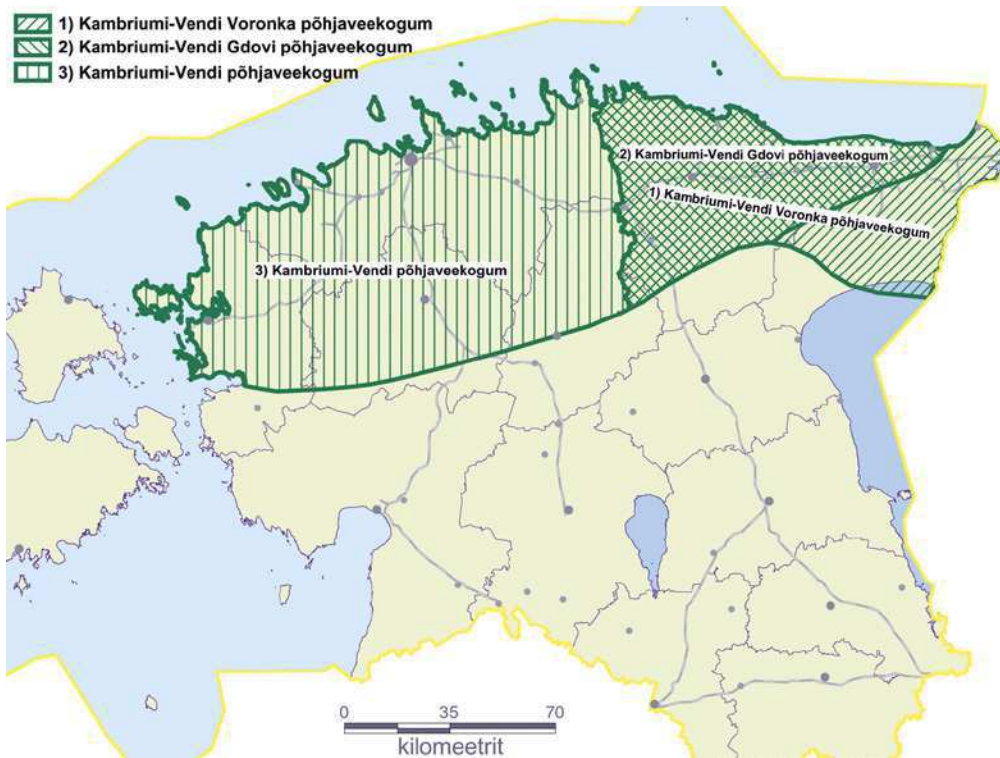
Lükati–Lontova regionaalne veepide levib suuremal osal Mandri-Eestist, olles esindatud samanimeliste Alam-Kambriumi kihistute aleuroliidi ja saviga. Selle kogupaksus väheneb 90–100 meetrilt Põhja-Eestis kuni suidumiseni Mõisaküla–Vastseliina joonel lõunas.

Kambriumi–Vendi veekihtide terrigeensed kivimid levivad üle kogu Eesti, välja arvatud Mõniste–Lokno aluskorra kerkeala. Nende vettandev osa hõlmab liivakivisid ja aleuroliite savi vahekihtidega. Iseloomulik on Lääne- ja Ida-Eesti läbilõigete erinevus. Rakvere–Põltsamaa–Otepää joonest ida pool jaotab Kotlini kihistu savi (paksus kuni 53 m) veekompleksi kaheks iseseisvaks veekihtiks (joonis 9). Ülemine, Voronka veekiht paikneb Kirde-Eestis kvartsliaakivides ja aleuroliitides paksusega kuni 45 m. Alumine, Gdovi veekiht on esindatud segateralise liivakivi ja aleuroliidiga, mille paksus ulatub kuni 68 meetrini. Lääne-Eesti saartel kiiduvad Vendi setted välja ning vettandvad terrigeensed kivimid koosnevad ainult Kambriumi ladestu vahelduva ilmega liivakividest ja aleuroliitidest savi vahekihtidega.

Kambriumi–Vendi veekompleks on Põhja-Eestis ühisveevarustuse tähtsaim allikas. Intensiivse kasutuse tõttu on kujunenud kaks survepinna ulatuslikku depressiooni.

Voronka veekiht (V₂vr) esineb Ida-Eesti struktuur-fatsiaalses vööndis ja selle moodustavad peamiselt Kotlini lademe Voronka kihistu kvartsliaakivid ja aleuroliidid kogupaksusega enamasti kuni 40 meetrit. Kivimite filtratsioonikoefitsient muutub vahemikus 0,6–12,5 m/ööpäevas, olles keskmiselt 2–6 m/ööpäevas. Veejuhtivus on Põhja-Eestis harilikult 100–150 m²/ööpäevas, ent väheneb lõuna poole kuni 50 m²/ööpäevas või enamgi. Puurkaevude erideebit jääb harilikult vahemikku 0,2–5,8 l/(s·m). Looduslikes tingimustes on veekihi survepind Soome lahe rannikul olnud 1,5–5,5 meetrit üle meretaseme, kusjuures lõuna suunas survepinna absoluutkõrgus kasvab 60 meetrini Otepääl ja Petseris.

Vastavalt veekihi lasuvussügavuse ja filtratsiooniomaduste muutumisele on muutlik ka põhjavee keemiline koostis. Valdav osa Kesk- ja Põhja-Eestist on Cl-HCO₃-



Joonis 9. Kambriumi–Vendi veekihtide levik põhjaveekogumitena.

Na-Mg-, $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-}$ või $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-Ca-}$ tüüpi vee levikuala. Väikese mineraalsusega vesinik-karboonaatse vee laialdast levikut ürgorgude piirkonnas on seletatud viimase mandrijää liustikuvee tungimisega Voronka veekihti, mida on kinnitanud ka põhjavee isotoopkoostise analüüsid.

Kogu Lõuna-Eesti kuulub kloriidse vee levikualasse. Mitmel pool (Värskas, Petseris) on sellest veekihtist saadud mineraalvett mineraalsusega 5,6–9,8 g/l.

Gdovi veekiht (V_{2gd}) esineb segateralistes liivakivides ja aleuroliitides valdava paksusega 40–65 m ning lasub vahetult kristalsel aluskorral. Ülemise veepideme moodustab Kotlini kihistu savi. Vettandvate kivimite filtratsioonikoefitsient on Põhja-Eestis 0,5–9,2 m/ööpäevas, keskmiselt 5–6 m/ööpäevas. Puurkaevude erideebitid varieeruvad suhteliselt laias vahemikus, olles keskmiselt 1,5–2,5 l/(s·m). Esialgne looduslik survepind on Põhja-Eesti rannikualal 3–5 m võrra meretasemest kõrgemal. Praegune survepinna sügavus kaevudes oleneb eelkõige asukohast intensiivtarbijate suhtes.

Kotlini savi väljakiildumise joonest lääne pool moodustavad Kambriumi ja Vendi vettandvad kivimid suhteliselt ühtse veekihi.

Voronka veekihi võrreldes on Gdovi veekihi vee keemiline koostis palju ühtlasem. Praktiliselt võib eristada kaht veetüüpi: kõrgendatud mineraalsusega Cl-Na, Cl-Na-Ca vesi Ida- ja Lõuna-Eestis ning $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-Mg-}$, $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-Ca-}$ tüüpi vesi valdavas osas Põhja-Eestis. Erinevalt Voronka veekihtist esineb kõrgendatud mineraalsusega ja lubatust suurema Cl- ja

Na-sisaldusega vett ka Kirde-Eestis Peipsi järvest kuni Narva-Jõesuuni. Ilmselt ei ole Põhja-Eesti ürgorgude vee magestav mõju sinna ulatunud. Võrreldes Voronka veekihi võrreldes on oluliselt suuremad ka kõigi keemilise koostise komponentide sisaldused. See on ka põhjuseks, miks suur osa Gdovi veekihi levikualast ei kuulu vastavasse põhjaveekogumisse.

Gdovi veekihi vee kõrgendatud mineraalsus ja suur Cl ja Na sisaldus on olnud Voronka ja Gdovi veekihi koostarbimise põhjuseks, mille tulemusena suurema mineraalsusega Gdovi veekihi vesi saab lahjendatud ning muutub joogiveena kasutamiskõlblikuks.

Aluskorra murenemiskooriku ja lõhelise võõndi põhjavesi (PR_{2-1}) esineb enamasti ainult kristalse aluskorra ülemises osas. Väheste puuraukude erideebit pole suurem kui 0,1–0,2 l/(s·m). Ilmselt on just tihe seos aluskorra ja Gdovi veekihi põhjavee vahel põhjustanud viimase tunduvalt kõrgema mineraalsuse võrreldes Voronka veekihi veega. Käesoleval ajal kristalse aluskorra vett ei kasutata.

Kuigi Eesti põhjaveekihtid on üldiselt hästi uuritud saab mingi piirkonna põhjavee loodusliku kvaliteedi kohta lõpliku hinnangu anda ainult uuringutega. Seejärel ei saa ka kaevu puurija eelnevalt garanteerida saadava vee koostist – projekteerimisel saab viidata ainult eeldatavale koostisele.

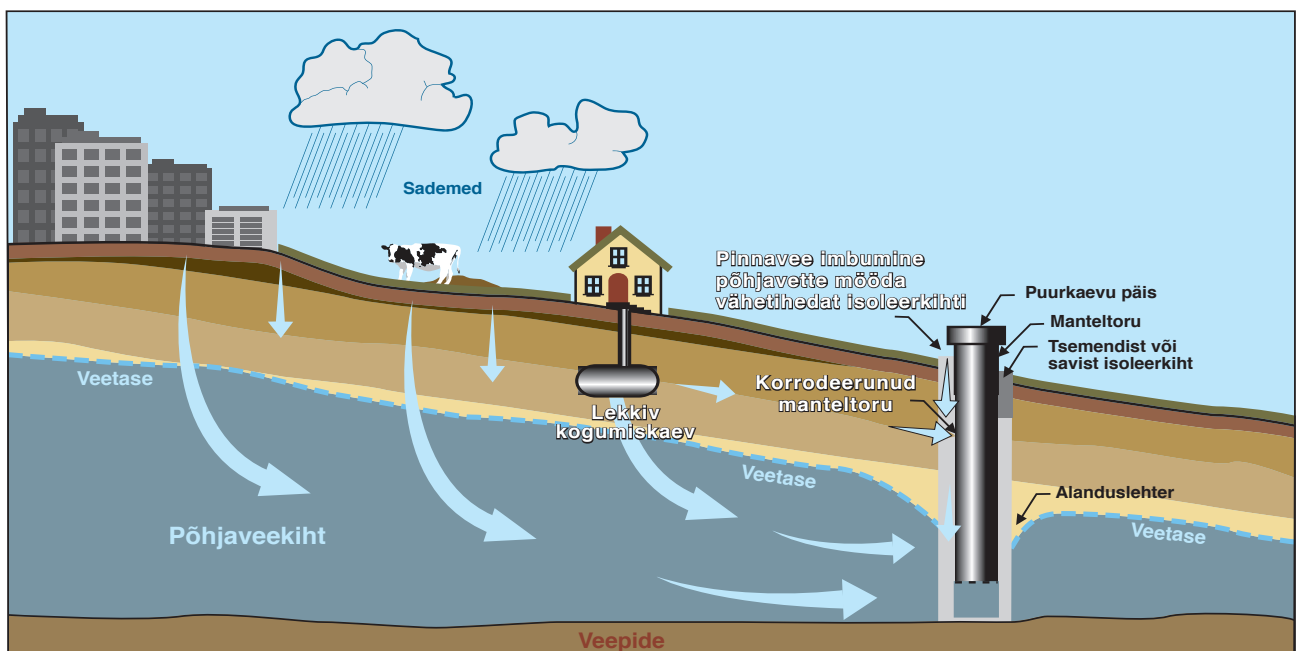
PÕHJAVEE KAITSE ÕIGUSLIKUD PÕHIMÕTTED JA KAITSTUS

Põhjavee kvaliteedi hoidmise seisukohalt on oluline Veeseadusega kehtestatud veehaarde (puurkaevu) sanitaarkaitseala nõuetest kinnipidamine. Veehaarde sanitaarkaitseala on joogivee võtmise kohta ümbritsev maa- ja veeala, kus veeomaduste halvenemise vältimiseks ning veehaarde rajatiste kaitsmiseks kitsendatakse tegevust ja piiratakse liikumist. Veehaarde sanitaarkaitseala ulatus on üldjuhul 50 m puurkaevust, kui vett võetakse põhjaveekihi ühe puurkaevuga. Sanitaarkaitseala ei moodustata, kui vett võetakse põhjaveekihi alla 10 m^3 ööpäevas ühe kinnisasja vajaduseks. Sellise veevõtukoha põhjavee kaitseks on keskkonnaminister kehtestanud hooldusnõuded. Oluline on vältida reostusohlike objektide (omapuhastid, kuivkäimlad, sõnnikuhunnikud jm) paiknemist kaevu hooldusalal (joonis 10).

Keskkonnaamet võib määrata veehaarde sanitaarkaitseala ulatuseks:

- 1) 10 meetrit puurkaevust, kui vett võetakse põhjaveekihi alla 10 m^3 ööpäevas ja kasutatakse kuni 50 inimese vajaduseks (joonis 11);
- 2) 30 meetrit puurkaevust, kui vett võetakse põhjaveekihi üle 10 m^3 ööpäevas ja põhjaveekiht on hästi kaitstud.

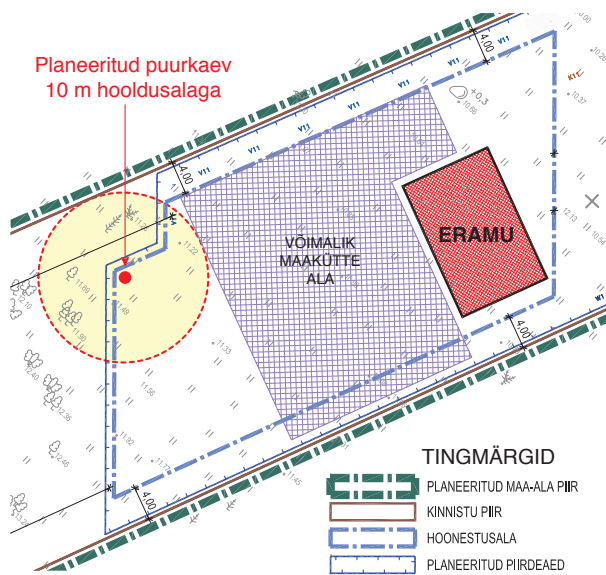
Joonis 10. Põhjavee reostusallikad.



Põhjaveekihi intensiivse kasutamisega kaasneb tema loodusliku seisundi muutus. Veehaarde toitealal, mille ulatus puurkaevudel kõigub mõnekümnest meetrist poole kilomeetrini, võib muutuda põhjavee liikumise suund ja toitumise tingimused. Põhjavee toitetingimuste muutumine võib kaasa tuua ka vee keemilise koostise muutuse. Põhjavee omaduste muutumist märgatakse enamasti selle halvenemisel. Vee kvaliteedi ebasoovitavad muutused võivad kaasneda nii veetaseme alanemise kui ka tõusuga. Reeglina on muutused aeglasemad sügavates veekihtides. Maapinnalähedaste veekihtide puhul on ebasoovitavad muutused seotud eelkõige toitealal toimunud reostusjuhtudega või maakasutuse intensiivsuse muutustega. Lubamatu on põhjavee liigvähendamine, mille tagajärjel põhjavee tase või surve püsivalt alaneb (allikate puhul vooluhulk väheneb). Mereäärsetes piirkondades võib intensiivne põhjavee väljapumpamine kaasa tuua soolase merevee sissetungimise põhjavette. Ebasoovitav on ka puurkaevu vähene kasutamine. Põhjavee kasutamise vähenemisega võib kaevu poolt kasutatava veekihi põhjavesi muutuda anaeroobseks, millega võib kaasneda raua, mangaani ja väävelvesiniku sisalduse tõus.

Põhjavee reostuskaitstuse hindamise kriteeriumid.

Põhjavee kaitstuse all mõistetakse veekihi kaetust nõrgalt vett läbilaskva kihiga, mis takistab maapinnal oleva reoaine imbumist põhjavette. Põhjavee kait-



Joonis 11. Eramu 10-meetrine sanitaarkaitseala.

tus sõltub teguritest, mida saab jagada kolme gruppi: looduslikud, tehnogeensed ja füüsikalise-keemilised. Looduslikest teguritest on olulisemad põhjaveekihti katvate setete paksus, selle litoloogiline koostis ja filtratsiooniomadused, aeratsioonivõo paksus ning viimase neeldumisvõime. Tehnogeensete tegurite hulka kuulub reoaine sattumise viis põhjavette – kas heitvee hoidlatest tulenevate avariide tõttu või infiltratsiooniväljakutel läbiimbumise tulemusel. Füüsikalise-keemiliste tegurite hulka kuuluvad reoaine eriomadused – migratsioonivõime, keemiline püsivus ja lagunemise aeg, koostoime "reoaine–kivim–põhjavesi".

Mida paksem ja vettpidavam on kattekiht, see tähendab, mida paremad on looduslikud põhjavee kaitstuse tingimused, seda kindlam on ka põhjavee kvaliteedi kaitstus igat liiki reoainete suhtes, olenemata nende pinnasesse sattumise viisist. Järelikult põhjavee kaitstuse hindamisel tuleb lähtuda eelkõige looduslikest teguritest, millest olulisim on vett mitteläbilaskvate kihtide olemasolu ja nende omadused kattekihis. Sellest lähtuvalt tuleb põhjavee kaitstuse hindamisel oluliselt parameetriks pidada ka aeratsioonivõos esineva veepidemepaksust ja selle filtratsiooniomadusi.

Sõltuvalt saasteainete esinemisest maapinnal ja filtratsioonitingimustest teel põhjavette on reostuskaitse pindalaliselt erinev. On selge, et mida paremini on aluspõhja veekiht kaetud vett nõrgalt läbilaskvate pinnakattesetega, mida suurem on nende paksus, mida väiksemad on Kvaternaari setete filtratsiooninäitajad, seda pikem on sademe- või pinnaveega edasikantavate saasteainete maasse imbumise kestus.

Mida väiksem on saasteainete infiltratsiooni kiirus aluspõhja veekihti, seda parem on põhjavee kaitstus. Piirkondlikeks hinnanguteks on olulised ka pinnamood ja aluspõhja reljeef, tektoonilised rikked ning karstinähtused. Hüdrogeoloogilistest tingimustest on olulisim põhjavee toitumise intensiivsus ehk sademete infiltratsiooni kiirus. Aladel, kus vettandvad lõhelise lubja- või dolokivi kihid avanevad otse maapinnal või on õhukese pinnakatte all, pääseb reostus kiiresti põhjavette – need on kaitsmata põhjaveega alad (reostustundlikud alad).

Paksu savipinnase kihiga kaetud põhjaveekiht võib saada puhast põhjavett ka reostuskolde kõrvalt – need on kaitstud põhjaveega alad.

Reoaine liikumine pinnases ülevalt alla toimub koos infiltreeruva sademeveega raskusjõu mõjul või reoaine hajumise teel. Põhjavee kaitstus suureneb, kui survele põhjavee tase ulatub savikasse kattekihti. Esmase informatsiooni mingi piirkonna põhjavee kaitstusest saab põhjavee kaitstuse kaardilt, mis annab vähem või rohkem objektiivse ülevaate pinnase põhjavett kaitstavatest omadustest, lähtudes eelkõige reostuse võimalikust mõjust põhjavee kvaliteedile.

Veeseaduse kohaselt on põhjaveekihi kaitstus jagatud viieks kategooriaks:

- 1) kaitsmata põhjaveega alaks loetakse karstialad ja alvarid ning ala, kus põhjaveekihtil lasub kuni 2 m paksune moreenikiht või kuni 20 m paksune liiva- või kruusakiht;
- 2) nõrgalt kaitstud põhjaveega alaks loetakse ala, kus põhjaveekihtil lasub 2–10 m paksune moreenikiht või kuni 2 m paksune savi- või liivsavikiht või 20–40 m paksune liiva- või kruusakiht;
- 3) keskmiselt kaitstud põhjaveega alaks loetakse ala, kus põhjaveekihtil lasub 10–20 m paksune moreenikiht või 2–5 m paksune savi- või liivsavikiht;
- 4) suhteliselt kaitstud põhjaveega alaks loetakse ala, kus põhjaveekihtil lasub üle 20 m paksune moreenikiht või üle 5 m paksune savi- või liivsavikiht;
- 5) kaitstud põhjaveega alaks loetakse ala, kus põhjaveekiht on kaetud regionaalse veepidemega.

Kaitstud ja kaitsmata põhjaveega aladel tuleb põhjaveekihi kaitse vajadusest ning majanduslikest kaalutlustest lähtudes rakendada erineva rangusega kaitse nõudeid.

VEEPROOVIDE VÕTMINE

Veeproovi võtmise kord põhineb keskkonnaministri määrusel nr 30 "Proovivõtumeetodid", mis on vastu võetud 06.05.2002 ja mille viimane redaktsioon jõustus 31.05.2013. Eeldatakse, et põhjavee proovivõtumeetodi jälgitavus ja tõendatus on tagatud, kui on järgitud 2014 jaanuaris jõustunud Eesti standardi EVS-ISO 5667 – 11:2013 nõudeid, milles antakse ka otseseid juhiseid põhjaveest proovide võtmiseks.

Proovivõtuvahendi valik ja ettevalmistamine proovivõtuks

Proovivõtuvahendi valikul tuleb arvestada, et:

- 1) proovivõtuvahend peab olema määratava aine suhtes inertsest materjalist;
- 2) määratav aine ei tohi adsorbeeruda proovivõtuvahendi seintele;
- 3) proovi võtmisel stabiilsete keemiliste ühendite määramiseks võib kasutada voolikuid ja vajalikku sügavusse lastavat pumpa, välja arvatud gaasiliste ja lenduvate ühendite määramiseks;
- 4) proovi võtmisel veepinna lähedasest kihist võib proovivõtuvahendina kasutada avatud anumad;
- 5) proovi võtmiseks valitud sügavuselt tuleb kasutada vajalikus sügavuses suletavat anumad või batomeetrit;
- 6) proovi võtmiseks võib kasutada automaatseadet, mis kogub veeproove pidevalt või valikuliselt sõltuvalt ajast või vooluhulgast.

Proovivõtuvahendit tuleb enne proovi võtmist 2–3 korda proovitava veega loputada, välja arvatud juhul, kui see mõjutab hiljem toimuvat analüüsi (näiteks õli- ja rasvasisalduse määramise või mikrobioloogiliste analüüside korral).

Eeldatakse, et proovivõtuvahendi valimise ning proovivõtuks ettevalmistamise toimingute jälgitavus ja tõendatus on tagatud, kui on järgitud standardi EVS-ISO 5667 – 11:2013 või muu samaväärse rahvusvaheliselt tunnustatud standardi nõudeid.

Proovipudeli valikul tuleb arvestada, et:

- 1) proovipudel peab olema kustumiskindlalt nummerdatud ja katselabori sümboliga märgistatud;
- 2) proovipudel ja selle kork peavad olema määratavate ainete suhtes inertsest materjalist;

3) proovipudeli eelnev katselabori poolne töötlemine ei tohi mõjutada proovi keemilist koostist;

4) proovipudel peab olema õhukindlalt suletav;

5) tugevalt reostunud proovide jaoks kasutatakse proovipudeleid ühekordselt;

6) üldanalüüsiks võetava proovi pudel peab olema plastist või klaasist;

7) metallide (v.a elavhõbeda) sisalduse analüüsiks võetava proovi pudel peab olema plastist;

8) orgaaniliste ühendite, süsivesinike, pindaktiivsete ainete, pestitsiidide või elavhõbeda sisalduse analüüsiks võetava proovi pudel peab olema klaasist, fluoro-plastist või roostevabast terasest.

Proovipudelit tuleb enne proovi võtmist 2–3 korda proovitava veega loputada, välja arvatud juhul, kui see on eelnevalt katselabori poolt konservantidega töödeldud või loputamiseks võib kaasneda uuritavate komponentide sadestumine proovipudeli sisepinnale.

Eeldatakse, et proovipudeli valiku jälgitavus ja tõendatus on tagatud, kui on järgitud standardite EVS-ISO 5667 – 11:2013 või muu samaväärse rahvusvaheliselt tunnustatud standardi nõudeid.

Proovivõtukoha valik. Proovivõtukohad peavad olema esinduslikud. Proovivõtukohad on esinduslikud, kui see iseloomustab uuritava objekti füüsikalist või keemilist seisundit ning toimuvaid protsesse tervikuna.

Proovivõtukohad peavad olema alati ligipääsetavad ning selgelt määratletavad paiksete objektide või looduslike isearasuste (näiteks jõekalda eripära) abil või määratakse proovivõtukohad instrumentaalselt.

Eeldatakse, et proovivõtukoha valikul jälgitavus ja tõendatus on tagatud, kui on järgitud standardi EVS-ISO 5667 – 11:2013 või muu samaväärse rahvusvaheliselt tunnustatud standardi nõudeid.

Proovivõtt

Veeproovi võtmisel mõõdetakse:

- 1) vee temperatuuri;
- 2) vees lahustunud gaaside, näiteks hapniku, sisaldust;
- 3) vee elektri juhtivust;
- 4) pH-d ehk vesinikioonide sisalduse negatiivset logaritmi.

Proovivõtja peab:

- 1) tagama võetava proovi esinduslikkuse;
- 2) vältima kõrvaliste ainete sattumist veeproovi;
- 3) tagama veeproovi muutumatusena säilimise kuni katselaborisse üleandmiseni;
- 4) vältima proovi ümbervalamist ühest proovipudelist teise.

Proovi võtmisel täidetakse proovipudel ääreni nii, et pudeli seintele ega korgi alla ei jääks õhumulle. Kui teatud ainete sisalduse määramismeetod nõuab veeproovi eelnevat loksutamist, täidetakse proovipudelist 4/5, 1/5 pudelist jäetakse tühjaks. Proovivõtul naftasaaduste või rasvade sisalduse määramiseks ei täideta pudelit suudmeni, et vältida naftasaaduste või rasva väljavalgumist proovist.

Eeldatakse, et veeproovi võtmisel mikrobioloogilisteks uuringuteks jälgitavus ja tõendatus on tagatud, kui on järgitud standardi EVS-ISO 5667 – 11:2013 või muu samaväärse rahvusvaheliselt tunnustatud standardi nõudeid.

Proovivõtuprotokolli koostamine

Proovivõtja koostab kohe pärast proovi võtmist proovivõtuprotokolli kolmes eksemplaris. Proovivõtu-protokolli üks eksemplar antakse analüüsi teostavale katselaborile, teine jääb proovivõtjale ning kolmas uuritava objekti valdajale.

Proovivõtuprotokoll peab sisaldama vähemalt järgmist informatsiooni:

- 1) proovivõtu eesmärk (reostuse uuring, seire vms);
- 2) proovivõtukoha koordinaadid ja kirjeldus;
- 3) proovi liik;
- 4) proovivõtu kuupäev ja kellaaeg;
- 5) ilmastikutingimused (temperatuur, pilvisus, sademed jms);
- 6) proovi või proovipudeli number;
- 7) proovivõtu kirjeldus (proovivõtumeetod ja -vahendid, kuidas proov võeti, keskmistamine jne);
- 8) proovivõtu sügavus;
- 9) vee või puuraugu sügavus;
- 10) proovi eeltöötlus (filtreerimine vms);
- 11) kohapeal mõõdetud füüsikalise-keemiliste näitajate mõõtmistulemused;

12) proovi säilitamisviis (konserveerimine, külmi-kus hoidmine) või säilitusaine/stabilisaatori lisamine proovi;

13) proovivõtja ees- ja perekonnanimi, tema atesteerimistunnistuse number ja allkiri;

14) uuritava objekti valdaja või tema esindaja või teiste proovivõtu juurde kaasatud isikute ees- ja perekonnanimi, ametikoht ja allkiri proovivõtul viibimise kohta;

15) proovi katselaborisse andmise kuupäev ja kellaaeg;

16) proovi vastuvõtja ees- ja perekonnanimi ja allkiri.

Proovi katselaborisse toimetamine

Katselaborit tuleb proovi toomisest eelnevalt teavitada. Proov tuleb katselaborisse toimetada võimalikult kiiresti, et selle analüüsimist saaks alustada hiljemalt 24 tundi pärast proovi võtmist.

Proovide transportimisel peab säilima nende esialgne koostis. Selleks tuleb proove hoida pimedas temperatuuril 2–5 °C. Suvel tuleb proov liigsoojenemise vältimiseks jahutada vahetult pärast proovivõttu, kasutades jääd või külmkasti. Transportimisel tuleb vältida proovipudelite purunemist (näiteks kasutada proovipudelite vahel ruumitäiteks absorbeerivaid materjale vmt).

Põhjavee proovivõtuvahendite valik ja proovivõtuks ettevalmistamine

Põhjaveeproovi võtmiseks kasutatakse imi-, membraan- ja sukelpumpasid või proovivõtutorusid. Proovivõtukoha valikul tuleb arvestada uuritava põhjaveekihi paiknemist, olemasolevaid puurkaeve või puurauke (edaspidi vaatluskaev) või nende rajamise vajadust.

Vaatluskaevude rajamisel tuleb vältida selliste ainete sattumist puurauku, mis võivad mõjutada põhjavee kvaliteeti, kasutada inertsest materjalist torusid ja filtreid ning torude ühendamiseks kasutatav aine ei tohi mõjutada põhjavee kvaliteeti.

Selleks, et kaevu konstruktsioon võimaldaks esinduslike põhjavee proovide võtmist kindlaksmääratud veekihi, peab kaevu:

- 1) mantelrorutagune tühimik olema isoleeritud;
- 2) filtritagune täitematerjal olema inertne;

3) suudme ehitus välistama pinnavee vaatluskaevu sattumise;

4) suue olema suletav.

Põhjaveeseire proovivõtukohtad peavad katma uuritava veekihi toite-, transiit- ja väljeala, et iseloomustada põhjaveekihi keemilise koostise muutumist looduslikes tingimustes kogu veekihi levikualal.

Proovivõtt põhjaveest

Põhjavee proovi võtmisel puurkaevust kindlast sügavusest kasutatakse avatud proovivõtuvahendit, mis suletakse soovitud sügavuses. Proovivõtul ülevooluga kaevudest võib kasutada abivahendeid (nt voolikuid, veevoolu suunajaid), seejuures tuleb hoiduda kaevu seinte puudutamisest, et vältida seintele settinud või ladestunud ainete sattumist põhjavee proovi.

Põhjavee proovi võtmisele peab eelnema **kaevu läbipumpamine**, mille käigus pumbatakse välja vähemalt 4–6-kordne kaevus oleva vee maht. Väikse põhjavee juurdevoolu korral tuleb kaev enne proovivõttu mõned korrad tühjendada.

Enne kaevu läbipumpamist ja selle ajal mõõdetakse põhjavee taset ning vajadusel pumba tootlikkust. Esinduslik veeproov võetakse pärast füüsikalise-keemiliste näitajate stabiliseerumist (kvaliteedinäitajate erinevus $\pm 10\%$, temperatuuri erinevus $\pm 0,2$ °C) ning väljapumbatav vesi peab olema selge.

Põhjavee proov võetakse pärast kaevu läbipumpamist võimalikult suudme lähedale paigutatud kraanist, mis avatakse ühtlase veejoo saamiseni. Vältida tuleb proovipudeli ja kraani kokkupuudet.

Põhjavee proovivõttuprotokolli koostamine

Põhjavee proovi võtmisel koostatav proovivõttuprotokoll peab sisaldama lisaks proovivõttuprotokolli koostamise lootelule veel järgmisi andmeid:

- 1) proovivõtukohta tüüp (vaatluskaev, puurkaev, salvkaev, allikas vms);
- 2) kaevu katastrinumber;
- 3) põhjaveekihi nimetus;
- 4) proovivõtukohta põhjavee tase, kaevurakke kõrgus maapinnast;
- 5) andmed pumpamise kohta (kestus, pumba tootlikkus, mõõdetud veetasemed).

Põhjavee proovivõtuseadmed

(Eesti standard EVS-ISO 5667 – 11:2013)

Proovivõtuks põhjaveest küllastatud vööndist on olemas lai valik proovivõtuseadmeid, kaasa arvatud portatiivsed seadmed, mida saab kiiresti paigaldada, kasutada ja siis maha võtta, ning statsionaarsed seadmed regulaarseks proovivõtuks.

Puuraukudest, kust pumbatakse joogivett või vett muuks otstarbeks, võivad pumbaga võetud proovid olla segu vetest, mis satuvad suletud või avatud puurauku eri sügavustest. Seda proovivõtumeetodit võib seega soovitada ainult juhtudel, kus põhjavee kvaliteet on vertikaalselt ühtlane või kus vertikaalne liitproov enam-vähem keskmise koostisega on kõik, mida nõutakse. See võib olla nii, kui puuraugu vett, millest proovi võetakse, kasutatakse joogiveeks.

Kõige efektiivsem meetod proovivõtuks põhjaveekihtidest, kus põhjavee kvaliteet muutub sügavusest sõltuvalt, on võtta proovid põhjaveekihi eri horisontidest. Selleks kasutatakse spetsiaalse konstruktsiooniga vaatluspuurauke või võetakse proovid puuraugu suletud sektsioonidest. Esimesel juhul võib kasutada portatiivset pumba, pumbates proovid mitmest vaatluspuuraugust, mis on põhipuuraugule suhteliselt lähedal. Iga puurauk on välja ehitatud ja suletud nii, et sealt saab võtta proove põhjaveekihi kindlast sügavuste vahemikust. Teisel juhul pumbatakse proovid puuraugu pakkeritega (tampoonidega) suletud sektsioonist pumbaga, mis võimaldab saada diskreetse proovi põhjaveekihi kindlast sügavuste vahemikust.

Lihtsaim seade proovivõtuks on **pudel või muu proovianum**, mis lastakse alla puurauku allapoole veetaset. Proovianumal lastakse veega täituda ja siis tõmmatakse see puuraugust välja. See meetod lubab mingi usaldusvärsusega võtta põhjaveest proovi ainult küllastatud vööndi ülemisest osast. Seda meetodit tuleks põhjaveest proovivõtuks kasutada ainult erijuhtudel. Tuleb hoiduda igasuguse materjali lahtitulekust puuraugu seina küljest, et vältida proovi saastamist.

Alternatiivne seade koosneb **torust** (või silindrist), mis on varustatud tagasilöögiklapiga toru alumises osas. See seade lastakse alla puurauku vajalikule sügavusele ja siis tõmmatakse koos prooviga tagasi. Seadme langetamisest või tõstmisest sõltub klapi asend (see on avatud langetamisel ja suletud ülestõmbamisel) ja või-

maldab võtta proovi nõutud sügavuselt ja tagab seetõttu parema vertikaalse lahutuvuse.

Inertsiaalumpades on ühes tükis **voolik**, mille alumises otsas on ühesuunaline klapp. Voolik lastakse puurauku nõutud sügavusele ja siis tõstetakse-langeatakse seda mitu korda lühikeses (0,3–0,5 m) vahemikus. Liigutada võib kas käsitsi või mehaanilise tõsteseadme abil. Klapp peab alati olema vähemalt 500 mm veepinnast allpool vältimaks vee ja õhu segunemist. Puuraukudes või kaevudes, mille läbimõõt on suurem kui 100 mm, võiks pumbaga ühendada jäiga vooliku asemel jäiga toru.

Inertsiaalpumbad on ehituselt väga lihtsad ja neid on kerge kokku panna. Nii paigaldatakse neid sageli kui statsionaarseid pumpasid või kasutatakse ühekordselt kasutatava polüetüleenvoolikuga. Pumpade läbimõõt on väiksem või suurem 10 mm. Nii saab neid kasutada isegi väga väikese läbimõõduga puuraukude või piesomeetrite läbipesuks ja neist proovide võtmiseks.

Põispump koosneb proovikambrist, millel on ühesuunaline klapp põhjas (sissevoolul) ja teine väljavoolul, ning täispuhutavast põiest kambri sees. Pump lastakse nõutud sügavusele ja põis puhutakse korduvalt surugaasiga täis ja lastakse siis jälle tühjaks. Täispuhumise ja tühjakslaskmise tsüklid täidavad proovivõtuseadet ning tõstavad proovi vooliku kaudu maapinnani.

Sukeldatava tiivikuga pumbaga saab tõsta vee suurest sügavusest ja saavutada laia tootlikkuse vahemiku. Viimasel ajal on tulnud kasutusele väiksemad, muudetava kiirusega pumbad, mida võib kasutada puuraukudes, mille läbimõõt on minimaalselt 50 mm. Need pumbad on ideaalsed seirepuuraukude läbipesuks ja neist proovide võtmiseks. Need töötavad optimaalsel režiimil kuni 90 m sügavusel.

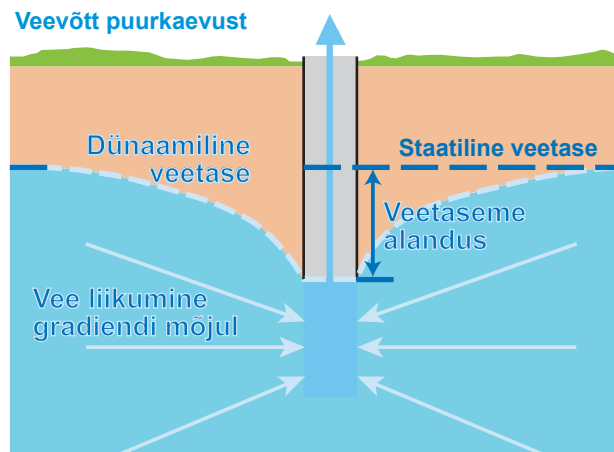
Imitõstvad pumbad on kolme põhitüüpi: pinnal asuvad tiivikuga pumbad, vaakumpumbad ja madala voolukiirusega/mahuga positiivse asendusega (peristaltilised) pumbad.

Põhjavee proovivõtule peab vahetult eelnema läbipesu, et kõrvaldada seadmest seisnud vesi. Seda saavutatakse, kui enne proovivõtmist pumbatakse välja piisav kogus vett. Läbipesu käigus väljapumbatav ruumala sõltub seirepunkti konstruktsioonist, näiteks veesamba läbimõõdust ja kõrgusest. Seepärast peab enne läbipesu alati mõõtma veetaset. Läbipesu voolukiirus peab olema väiksem kui see, mida kasutati kaevu ehitusel, ja suurem kui kavatsetav voolukiirus proovivõtul. Väljapumbatava vee maht muutub sõltuvalt puurkaevu tüübist, selle konstruktsioonist ja hüdroteoloogilistest tingimustest (kaevu tootlikkusest).

KATSEPUMPAMISED

Katsepumpamised on uuringute käigus puuritud puuraukudest või kaevanditest tehtud proovi-, katse- ja katse-ekspluatatsioonilised pumpamised ja valamised. Proovipumpamist või vee väljalaskmist puuraukust tehakse vettkandvate kivimite filtratsiooniomaduste pindalaliste ja läbilõikeliste muutuste eelnevaks hinnanguks, veekihtide vee kvaliteedi ja puuraukude võimaliku tootlikkuse määramiseks.

Kui võetakse vett, siis alaneb põhjaveetaseme puuraugu ümbruses ja vesi hakkab hüdraulilise gradiendi mõjul liikuma puuraugu suunas (joonis 12). Põhjavee esialgse (staatiline) taseme ja pumpamise mõjul tekkinud dünaamilise veetaseme vahet nimetatakse alanduseks.



Joonis 12. Põhjavee liikumine puurkaevu katsepumpamisel.

Pumpamistele esitatavad üldised nõuded on:

- 1) nende katkematus etteantud deebitil (veetaseme alanemisel);
- 2) deebiti või veetaseme alanemise muutumatus puuraugus;
- 3) pumpamise lõpuks peab veetaseme alanemine katse- ja vaatluspuuraukudes saavutama sellise suuruse, mis ületab võimaliku mõõtmisvea, tagades arvutuste täpsuse;
- 4) pumpamise lõpetamise järel tuleb tingimata teha veetasemete taastamise vaatlused katse- ja vaatluspuuraukudes;
- 5) tagada väljapumbatava vee ärajuhtimine sellisele kaugusele, mis välistaks selle sattumise tagasi proovitava veekihti pumpamise mõjupiirkonnas.

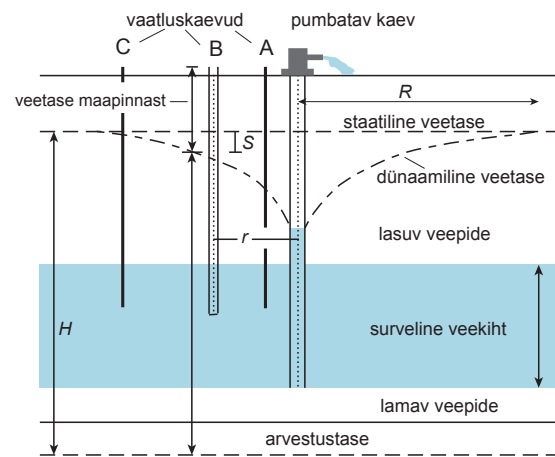
Katsepumpamised tehakse puuraugu deebiti ja veetaseme alanemise vahelise sõltuvuse määramiseks, hüdrogeoloogiliste parameetrite (filtratsioonikoefitsiendi), piiritingimuste, aga ka põhjavee kvaliteedi uurimiseks. Uuringute detailsuse järgi jagunevad katsepumpamised üksik-, rühma- ja grupipumpamisteks.

Katsepumpamise käigus alandatakse veetaset pumbatavas puurkaevus ja vaatluskaevudes mõõdetakse vee alanemise kiirust (joonised 13 ja 14). Katse-ekspluatatsiooniliste pumpamiste eesmärk on põhjaveetasemete muutuste empiiriliste sõltuvuste kindlakstegemine või kvaliteedi püsivuse tõestus etteantud veetarbimisel.

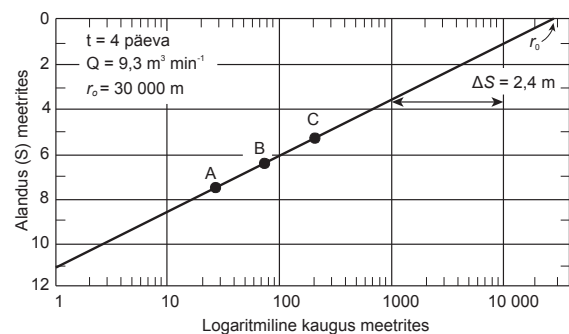
Puurkaevu tulev veekogus (deebit) sõltub stabiliseerunud veetaseme korral veekihi veejuhtivusest (km) ja veetaseme alandusest (S). Veekoguse oodatavat suurusjärku (Q) võib hinnata valemi abil: $Q = kmS$. Deebit (tootlikkus) on keskmine vee hulk, mida kaev või allikas ajaühikus annab (l/s, m³/ööpäevas jms).

Puurkaevu toodang oleneb konstruktsioonist ja filtri materjalist, kaevu töötava osa pikkusest ja paiknemisest veekihis, puurimise meetodist jne. Seepärast määratakse iga konkreetse kaevu toodang ja kasutustingimused proovipumpamisega. Sageli väheneb ajaühikus puurkaevu jõudva vee hulk filtri läbilaskvuse halvenemise tõttu, põhjuseks ummistus liiva või rauaühenditega.

Pumpamise mõjul tekkinud veepinna alanemise piirkonda nimetatakse alanduslehtriks. Oma olemuselt on alanduslehter pumpamise mõjul kujunenud põhja-



Joonis 13. Vaatluskaevude paiknemine rühmapumpamisel. H – veekihi paksus, S – veetaseme alandus, R – kaevu mõjuraadius, r – kaevudevaheline kaugus.



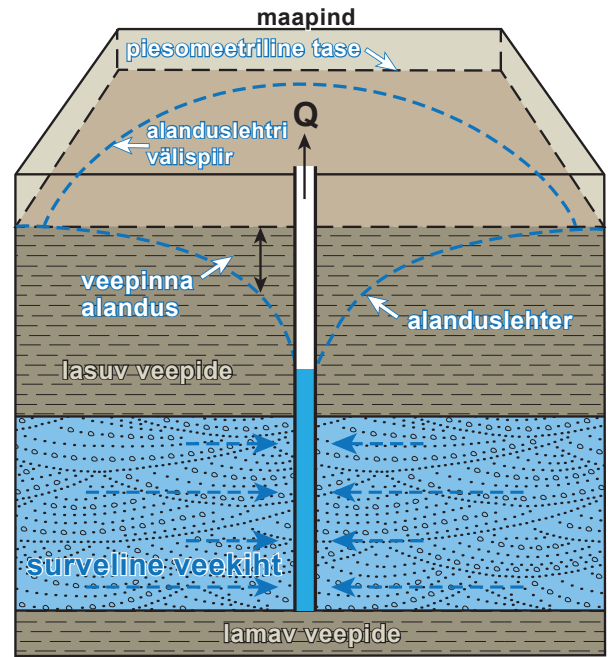
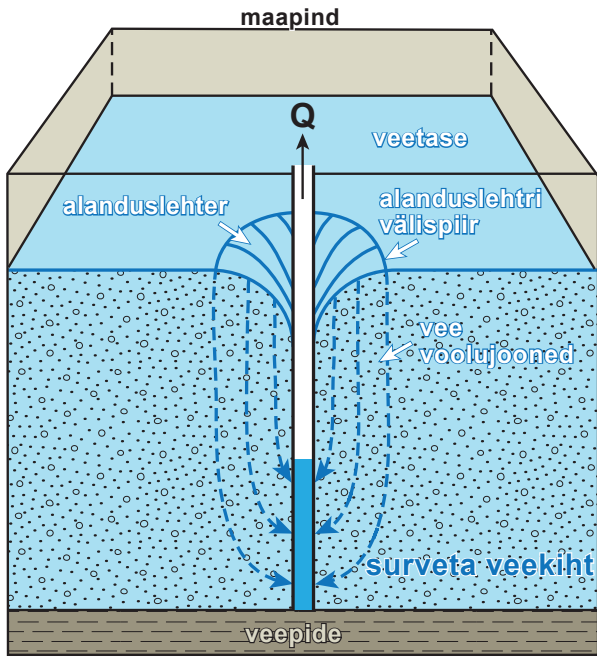
Joonis 14. Vaatluskaevu kauguse (r) ja veetaseme alanduse (S) vaheline sõltuvus.

vee vabapinna või survepinna lehterjas nõgu. Alanduslehtri ulatus on seda suurem, mida enam vett veekihist välja pumbatakse (joonis 15).

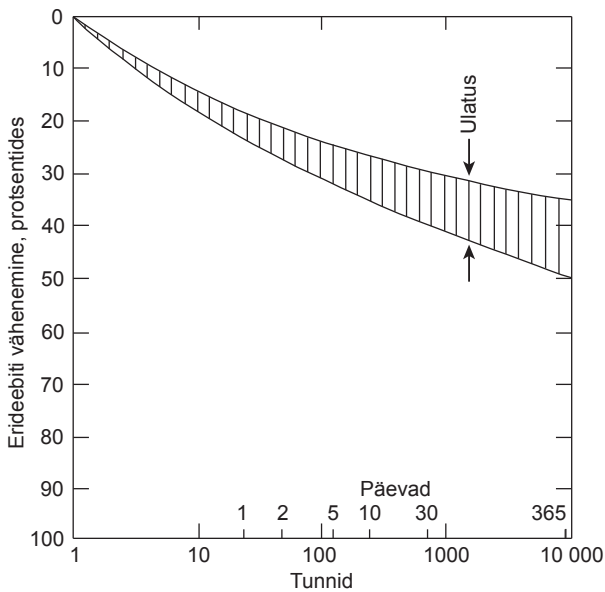
Põhjaveekihi ja kaevu tootlikkuse iseloomustamiseks kasutatakse mõistet erideebit (q), mis on puurkaevu toodangu (Q) ja püsima jäänud alanduse (S) suhe: $q = Q/S$, mõõdetuna l/(s·m). Sisuliselt on erideebit kaevu tootlikkus arvatuna ühe meetrise alanduse kohta. Püsiva tootlikkusega pumpamise kestel puurkaevu erideebit pidevalt väheneb (joonis 16).

Mõningal määral sõltub puurkaevu tootlikkus puurkaevu diameetrist. Nii suureneks puurkaevu diameetri suurendamise korral 6 tollilt 12 tollini kaevu tootlikkus 10% (joonis 17).

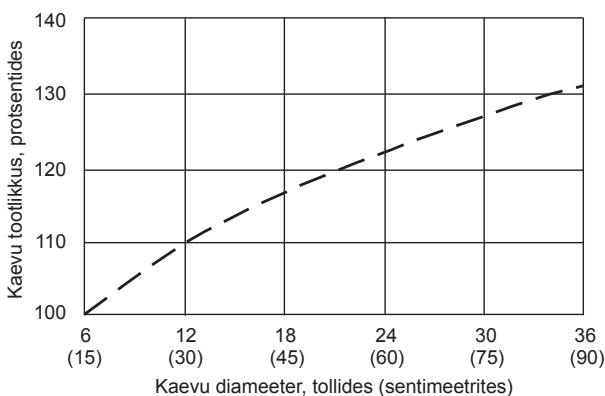
Katsepumpamisel vähe vettandvates lubjakivides võib olla ebatäpsusi staatilise veetaseme määramisega, kuna lõhede paiknemine ning ulatus on ebakorrapärane. Lõhega otseühenduses olevasse puurauku valgub vesi kiiremini ning staatiline tase on määratav juba mõne tunni möödumisel pärast veega puurimist.



Joonis 15. Alanduslehtri levik vabapinnalises ja surve-
lises veekihis.



Joonis 16. Erideebiti vähenemine puurkaevu kestval
pumpamisel.



Lõhede kõrvale sattunud puuraugus, kus esinevad ainult mikrolõhed, stabiliseerub nii puurimisvesi kui ka pinnasevesi palju pikema aja vältel.

Lubjakivi veejuhtivuse määramisel on küllalt juhtumeid, kus kaks lähedistiku olevat uuringupuuraugu näitavad kümneid kordi erinevaid tulemusi. Vesi liigub lubjakivide massiivis nii vertikaalsetes kui ka kihtide vahel olevates lõhedes. Lõhede süsteemile sattunud puuraug näitab suurt veejuhtivust, lõhesid mitte avav puuraug võib näidata aga suhteliselt väikest veehulka. Vastutusrikastel objektidel tuleb seetõttu teha mitu pumpamiskatset. Pumpamist kasutatakse ka veeproovi võtmiseks puuraugust.

Veekulu mõõtmisel tuleb kasutada sobiva mahuga (näiteks 1, 10, 40 ja 200 liitrit) anumaid arvestusega, et anuma täitumisaeg ei jääks alla 30 sekundi, muidu läheb arvutusviga suureks. Veetaset mõõdetakse 1 cm täpsusega manteltoru servast. Parimad on mitteroostetavad plastmasslindid, kuid eelistada tuleks elektrilisi või reguleeritava mõõtmisagedusega automaatandureid.

Tsentrifugaalpumbaga on katsetel saavutatud deebit kuni 10 l/s. Impumpade stabiilse töö kindlustab elektritoide vooluvõrgust või generaatorist. Sügavemale (üle 6 m) jäävat põhjavett pumbatakse tavaliselt õhktõstuki meetodil. Selleks kasutatakse spetsiaalset kompressorit, kuid selle laialdasemat kasutamist takistab suur bensiinikulu.

Joonis 17. Puurkaevu diameetri ja tootlikkuse vastastikune seos veetaseme püsiva alanduse korral.

Äkkpumpamist on soodus teha puuragregaadi kompressoriga. Ekspresspumpamisi vähese veeläbilaskvusega pinnastest saab teha ka käsitsi, näiteks veeproovivõtjaga ammutades. Väikeste ja mugavate sukelpumpade kasutamine on riskantne, kuna need pumbad peavad olema pidevalt uputatud ja on tundlikud vees leiduvate liivaterade suhtes. Pumpamiskatsetel kasutatakse sukelpumpasid koos releega, mis lülitab pumba sisse või välja olenevalt veetasemest puuraugus.

Pumpamiskatsete ajaline kestus on erinev, kuid teostusviis põhimõtteliselt sama. Täpsemaid tulemusi annab üldiselt pumpamine kuni statsionaarse režiimi saabumiseni, see on seni, kuni deebit ja alandus, mis on katse käigus kujunenud, jäävad enam-vähem muutumatuks. Normaalse pumpamiskatse käigus väheneb vooluhulk (deebit) ja suureneb alandus. Kuna muutused on algul kiired, hiljem aeglased (lõpuks hääbuivad), tuleb nii deebiti- kui tasememõõtmisi teha vastavalt logaritmilisele ajaskaalale. Veekulu suurenemine katse käigus võib olla põhjustatud vihmast, enne katset ebapiisavalt puhastatud puuraugust jms. Veekulu ja alanduse samaaegne vähenemine osutab aga pumba imijõu nõrgenemisele.

Pumpamise lõppedes tuleb mõõta veetaseme taastumist puuraukudes sama ajaskaala alusel kui pumpamistki. Taastumisvaatlust peaks tegema algtaseme võimalikult täielikuma taastumiseni, kuna tihti annab just taastumise lõpp-periood parimaid lähteandmeid filtratsiooniarvutusteks. Pumpamiskatkestus keset katset ei tohiks ületada proovipumpamisel ühte tundi, katsepumpamisel kahte tundi.

Põhjaveelaskega on tegemist siis, kui juhtutakse avama surveist veekihti, mille survekõrgus ületab maapinna ja puurauk kujuneb isevoolavaks. Uuringute tegemisel tekitab selline puurauk probleeme, kuna isevoolava puuraugu likvideerimine on tülikas. Teisalt jällegi saab siin vajaliku filtratsioonikatse teha suhteliselt lihtsalt, registreerides vaid väljavoolu muutuse ajas ja määrates survelise vee algtaseme kõrguse maapinnast (selleks peab manteltoru maapealset osa vastavalt jätkama).

Vee valamisel hästijuhtivasse kihindisse on soovitatav järgida püsiva veekulu režiimi, halvasti juhtivasse kihindisse valamisel säilitatakse püsiv dünaamiline tase. Kulu ja taseme mõõtmisagedus nii valamisel kui ka hilisemal taseme taastumisel on analoogne

pumpamiskatsele. **Valamiskatsetega** uuritakse tavaliselt veeküllastumata pinnast ülalpool pinnasevee taset. Katseks vajaliku seinatoetusena sobib põhjata bensiniivaat või piimanõu.

Katsepuuraukude puhastamise viis sõltub pinnase veerohkusest. Kui puurauku või filterkolonni koguneb vesi väga aeglaselt, tuleb seal teha uhtloputus mujalt toodud veega. Pideval uhtloputusel valatakse ülalt puurauku vett ja põhjast imeb pump vee koos puurhiivaga välja. Tsüklilisel uhtloputusel valatakse puurauk korduvalt vett täis ja puhutakse kompressoriga tühjaks.

Kui looduslik vee juurdevool puurauku on suurem, saab puurauku puhastada uhtpumpamisel (tühjaks puhumisel) kompressoriga. Suurema veekoguse korral saab seda teha pidevalt, vähese vee korral tsükliliselt pärast teatava veehulga kogunemist. Väga veerikkasse kaljupinnasesse rajatud puuraugu vee vastuvõtu osa puhastub iseenesest suruõhuga südamikpuurimise käigus.

Uhtpumpamist või -loputust tuleb teha vee selgimiseni, ühe 20 m sügavuse puuraugu peale kulub aega 0,5–2 tundi, uhtloputusvett 1–2 m³. Savilahusega puuritud katsepuuraugu puhastamiseks kulub nii aega kui vett märksa rohkem. Hüdrogeoloogilisi puurauke on soovitatud läbi pesta surveveega, kuid sel juhul võib tekkida torutagune tsirkulatsioon, mis enamasti pole soovitatav.

Spetsiaalne **vaatlusvõrk** (vaatluspuuraugud) rajatakse **põhjavee leikukoha** uuringute käigus, kus mõõdetakse veetaseme alanemise kiirust või kasutatakse olemasolevaid puurkaeve. Nende uuringute eesmärgiks on:

- 1) veekihtide põhja- ja pinnavee omavaheliste seoste ja tingimuste täpsustamine;
- 2) veekihtide loodusliku toitumise suuruse määramine aastaegade kaupa;
- 3) veetasemete looduslike muutuste andmete saamine, et sisse viia parandused veetaseme alanemisele katse- ja katse-ekspluatatsioonilistel pumpamistel;
- 4) hüdrogeoloogiliste arvutuslike parameetrite määramine.

Juhul kui **põhjavee uuringud** tehakse olemasolevate veehaarete aladel või mõju piires, alustatakse hüdrogeoloogilisi töid olemasolevate veehaarete ekspluatatsiooni kogemuste tundmaõppimisest, selleks et:

- 1) määrata kinnitamata varuga aladel tarbevaru ja kinnitatud varuga veehaaretes viia läbi selle ümberarvestus;
- 2) kasutada olemasolevat tarbimiskogemust uute analoogsete hüdrogeoloogiliste tingimustega leiukohtade varu hindamiseks;
- 3) määrata olemasolevate ja uute uuritud veehaarete omavahelist mõju, aga ka põhjavee tarbimise mõju hindamiseks pinnavee allikatele ja piirkonna ökoloogilistele tingimustele.

Põhjavee tarbevaru arvutus põhineb keskkonnaministri 27. jaanuari 2003. aasta määrusel nr 9 „Põhjaveevaru hindamise kord“. Põhjaveevaru all mõistetakse seda põhjavee hulka, mida on rajatavas veehaardes võimalik toota ratsionaalsel viisil etteantud tarbimisrežiimil nii, et see ei mõjutaks negatiivselt ökoloogilist olukorda. Veevaru arvutuse tulemused on aluseks põhjavee kasutamisel, veehaarde projekteerimisel ja väljaehitamisel ning veemajanduse arengukavade koostamisel.

Põhjaveevaru arvutatakse iga veeliigi (joogivesi, tehniline vesi, mineraalvesi) kohta eraldi. Põhjaveevaru jaguneb uurituse detailsusest sõltuvalt **tarbevaruks** T1 või T2 või **proгноosvaruks** P. Põhjaveevaru tuleb ümber hinnata, kui:

- 1) põhjaveevaru kasutamisaeg on ületanud põhjaveevaru arvutusliku aja, v.a juhul, kui põhjaveevaru kasutamine on lõpetatud;
- 2) põhjaveehaarde kasutamise mõjupiirkonna hüdrogeoloogilised tingimused on muutunud;
- 3) põhjavee kvaliteet on halvenenud ja ei vasta enam põhjaveevaru kasutamise eesmärgile;
- 4) puudub vajalik sanitaarkaitseala või maapinnalähedase põhjaveekihi kasutamisel pole võimalik rakendada veekaitseenõudeid põhjaveehaarde toitealal;
- 5) on vaja muuta veehaarete asukohta.

LUGEMISSOOVITUS

*Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. 2004. Põhjaveekomisjon, Tallinn, 80 lk.

Mander, Ü., Liiber, Ü. 2014. Üldmaateadus. Õpik kõrgkoolidele. Tartu Ülikool, Loodus- ja tehnoloogiateaduskond, Ökoloogia ja maateaduste instituut, Tartu, 486 lk.

Tšeban, E. Eesti NSV põhjavesi ja selle kasutamine. Valgus, Tallinn, 166 lk.

*leitav internetist

5. PUURIMISE TEHNOLOOGIAD

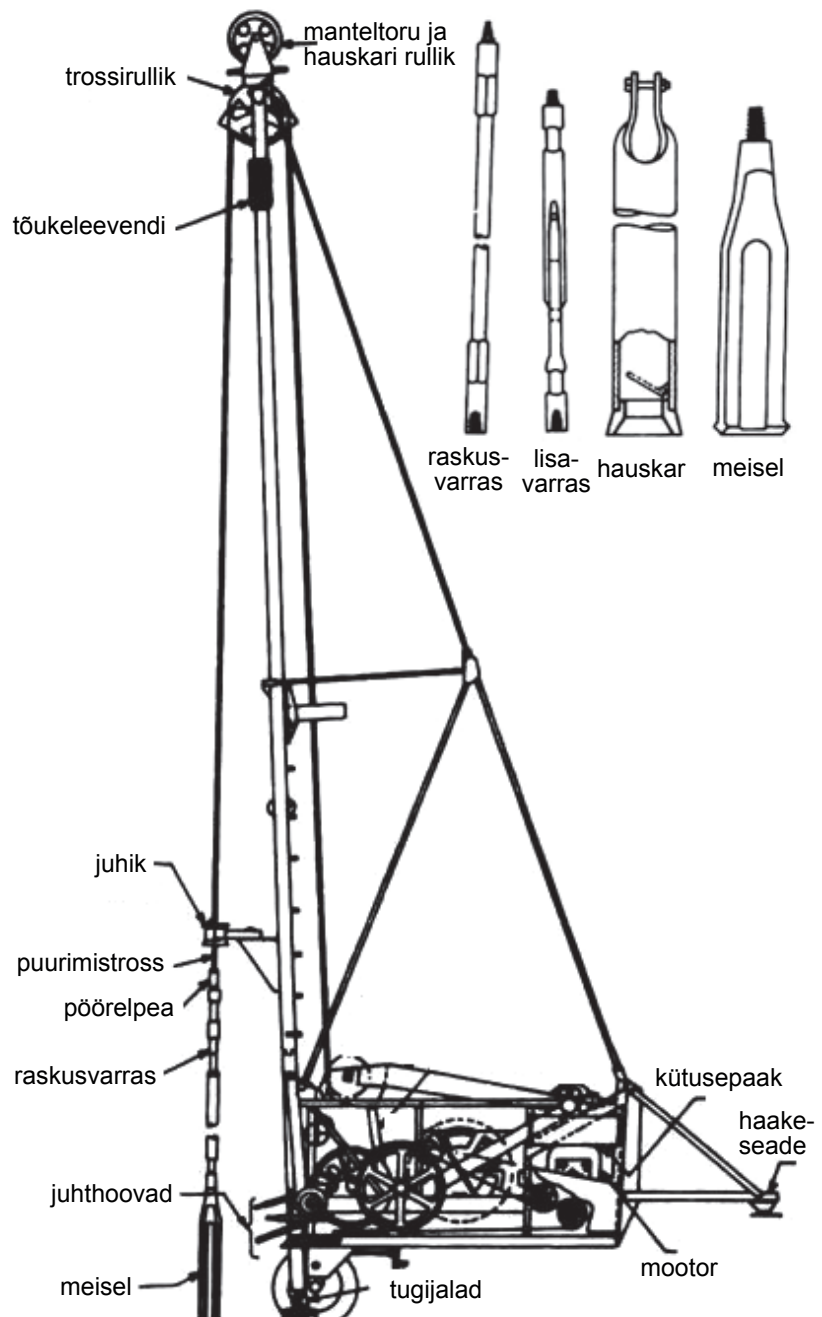
TROSS-LÖÖKPUURIMINE

Tross-löökpuurimine (ingl *cable-tool percussion drilling*) on teadaolevalt vanim puurimismeetod, mis sai alguse juba ca 4000 aastat tagasi Hiinas ja mida kasutatakse jätkuvalt tänapäevani. Hiinlaste puurimise tööriistad olid tehtud bambusest ja ajalooallikate väitel puuriti sel meetodil lausa mitmesaja meetri sügavusi kaeve. Sageli küll juhtus, et kaevu valmimine võttis inimpõlvi aega. Efektivsemate meetodite väljatöötamise tõttu leiab tross-löökpuurimine tänapäeval üha harvem kasutust.

Puurimismeetod seisneb trossi otsas rippuva puurinstrumendi korduvas tõstmises ja langetamises puurauku, mille tulemusena puruneb kõva kivim väikesteks osakesteks, pehmes kivimis aga toimub külgsuunaline tihenemine. Samal moel toimub ka mantelitorude paigaldamine ettepuuritud auku, kusjuures mantelitorude alumine ots peab olema tugevdatud spetsiaalse **löögingaga**.

Lihtsaim tross-löökpuurimise mehhanism on vintsi või taliga varustatud kolmjalg. Tänapäevased masinad on üldjuhul mobiilsed ja löökpuurimiseks sobiva mastiga. Aeg-ajalt eemaldatakse purustatud kivim puuraugust spetsiaalse torukujulise tööriistaga – **hauskariga**, mis kujutab endast põhjaklapiga toru. Kivimipuru eemaldamine õnnestub paremini, kui see on segatud vesilahusesse. Selleks lisatakse puurimise ajal puurauku vett. Puurinstrument koosneb **puurimistrossist**, trossi otsa kinnitatud **pöörelpeast**, **raskusvardast** ja **puuripeast**. Raskusvarras annab vajaliku kaalu, stabiliseerib ja juhhib puuripead. Puurimissügavuse suurenedes lisatakse vajadusel lisavardaid raskuseks. Puuripea on kõige tüüpilisem kõvasulamist otsaga meiselpuur.

Puurimise ajal peab puurmasina trossi etteanne kivimi efektiivseks purustamiseks olema sünkroonne puur-



Tross-löökpuurimise seade.

instrumendi gravitatsioonilise kukumisega. Puuragregaadi mastis trossi rullikute all kasutatakse **tõukeleevendit**, mis summutab vibratsiooni ja kaitseb masti ning teisi masina osi ja võimaldab puurinstrumenti kiiret tõstmist pärast lööki.

Tross-löökpuurimisel on puuragregaadi puurimissügavus piiritletud trossi pikkusega ja puurkolonni ning trossi kogukaaluga ehk vintsi tõstejõuga. Loomulikult peab arvestama ka mantelitorude kaaluga.

Tross-löökpuurimise eelised on:

- 1) madal kütuse-, vee- ja materjalikulu;
- 2) väikesed esmased investeeringud ja hoolduskulud võrreldes hüdrauliliste puuragregaatidega;
- 3) vettandvate kihtide määramise lihtsus puurimise ajal;
- 4) väike tööjõukulu, sageli piisab ühest inimesest.

Tross-löökpuurimise puudused on:

- 1) väike produktiivsus, eriti kõvades kivimites;
- 2) erinevate kivimite segunemine puurimisel ei võimalda nende täpset proovimist.

TIGU- EHK SPIRAALPUURIMINE

Tigupuurimine (ingl *auger drilling*) on üsna laialt levinud puurimismeetod, mida kasutatakse peamiselt vaia- ja postiaukude puurimisel, tugiseinte rajamisel pinnasesse, geotehnilistel uuringutel, kaevandus-šahtide rajamisel ja mujal.

Tigupuurimisel surutakse pöörlev spiraalkruvi pinnasesse ja selle labade vahele jäänud materjal tõstetakse maapinnale. Spiraaliga varustatud puurtorude ette kinnitatakse spetsiaalne **puuriots**, mille küljes võib omakorda olla **pilootpuur**.

Tigupuurimine on sobiv peamiselt pehme, tihenemata pinnase või nõrkade, murenenud aluspõhjakivimite puurimiseks. Neis tingimustes on see kiire ja odav meetod. Olenevalt töö eesmärgist võivad puuragregaadid olla siiski üsna kogukad, sest meetod nõuab suurt pöördemomenti madalal pöörlemiskiirusel.

Tigupuurimisel eristatakse kolme peamist tüüpi puurimisvahendeid, mille lihtsustatud eestikeelsed nimetused võiksid olla: pikk tigupuur (ingl *continuous flight auger*), õõnestoruga tigupuur (ingl *hollow stem auger*) ja lühike tigupuur (ingl *short flight auger*).

Pikk tigupuur ehk pideva spiraaliga tigupuur kujutab endast õõnsuseta puurvarrast, millele kogu ulatuses on kinnitatud (keevitatud) spiraalsed labad, mis katkevad vaid puurvarda ühenduskohtades, kuid pärast uue

puurvarda ühendamist ei jää katkemiskohta siiski märgatavat pilu. Varraste jätkamiseks kasutatakse enamasti poldiga fikseeritavat ühendust. Puurinstrumenti juhivad masti mööda üles-alla liikuva pöorelpeaga puurmasin, mille pöördemoment ja puurinstrumendile avaldatav surve peavad olema piisavad valitud läbimõõdu ja puurimissügavuse jaoks. Pöörlemise käigus tõstetakse spiraali labade vahel olev purustatud pinnas üles, puuritud auku toestab pinnasega täitunud spiraalpuur ise.

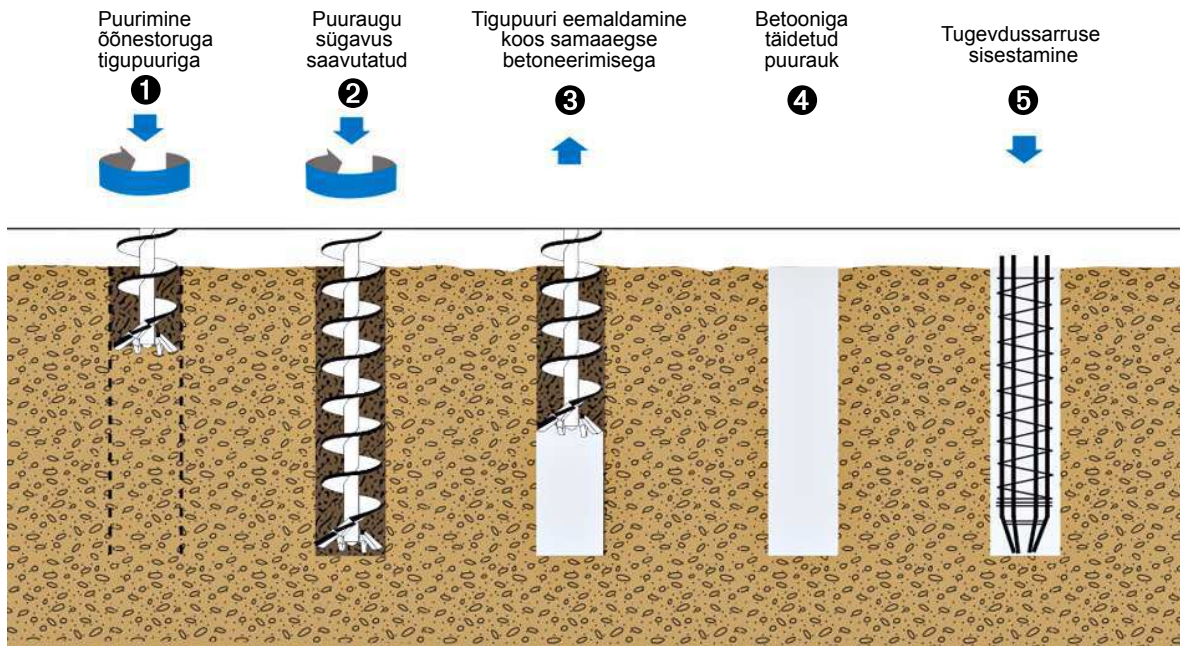
Meetod on sobivates pinnastes tõhus väikeste kulude ja kiire puurimistempo tõttu. Samuti ei rikuta pinnaseproove, sest puudub vajadus puurimisvedeliku järele. Puuduseks on halb edenemine pudedas pinnases ning puurida ei saa kaljupinnast, rahne ja munakaid.

Õõnestoruga tigupuur on samuti pideva spiraaliga ja analoogse tööpõhimõttega kui pikk tigupuur, kuid selle spiraallabad on kinnitatud õõnsale puurtorule, mille läbimõõd võimaldab kasutada teist puurinstrumenti ja puurvardaid õõnsa spiraalitoru sees. Seest õõnes peab mõistetavalt olema ka puuriots.

Meetod võimaldab kõva kivimini jõudes jätkata puurimist südamikü võtmisega või rajada sügavam seirekaev. Sel juhul on tigupuur ajutiseks mantel- toruks. Meetodi peamine kasutusvaldkond on siiski



Pikk tigupuur (ülal) ja õõnestoruga tigupuur (paremal).



Puurvaia rajamine õõnestoruga tigupuurimisel.

vaiasüvendite puurimine, sest see võimaldab piisava kandevõimega kihini jõudmisel kohe ka vaia betoneerimist. Viimane viiakse läbi tigupuuri sujuval tõstmisel, täites tõusva puuri süvendi kohe betooniga. Vaia armatuur paigaldatakse pärast betoneerimist, kasutades vajadusel sarruse õige paigaldussügavuse saavutamiseks vibraatorit.

Lühike tigupuur leiab kasutamist peamiselt suure läbimõõduga aukude puurimisel. Spiraali labad on kinnitatud vaid puurkolonni kõige alumises otsas paikneva puuri külge ja need täituvad kiiresti pinnasega. Puurimisel on vajalik puurinstrumendi sagedas maapinnale tõstmine ja selle tühjendamine pinnasest. Suuremate sügavuste saavutamiseks lühikesega tigupuuriga puurimisel on vajalik puuragregaat, mille pöörlepea liigub masti mööda üles-alla ja puurvarras ehk töövarras on teleskoopiliselt pikendatav ja sama lihtsalt uuesti lühendatav (sissetõmmatav). Lühikesel tigupuuril võrreldes pikaga on märgatavalt väiksem pöördemoment, mistõttu on selle meetodi puuriotste spiraalid sageli peaaegu risti puurvarda teljega, mis tagab parema pinnase püsivuse labadel. Pärast väljatõstmist tühjendatakse puur kas puurmasinaga raputades või käsitsi.

Puurauku siseneda võib vesi vähendab meetodi efektiivsust, sest peseb pinnase spiraali pealt maha. Efektiivsemaks pinnase eemaldamiseks kasutatakse sel juhul spetsiaalset tõstekoppa, millel puuduvad spi-



Lühike tigupuur.



Tõstekopp.

raalsed labad. Labade asemel on torukujuline puurotsik, millesse pinnas hõrdekäppadega sisse puuritakse, maapinnale tõstetakse ja kopp tühjendatakse. Sellise tööriistaga on võimalik puurida ka märgades pinnastes ja vee all.

Meetodi puuduseks on piiratud puurimissügavus.



Tigupuuriga puurimine (www.volvoce.com).

PÖÖRDUHTMISEGA PUURIMINE

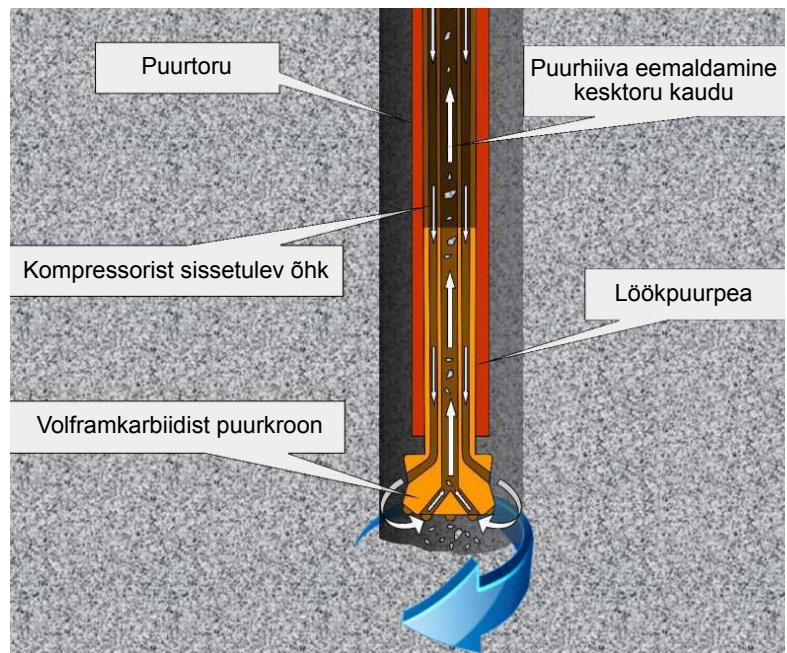
Pöördduhtmisega (tagurpidi pesuga) puurimisel kasutatakse sisemise ja välimise toruga ehk topelt seinaga **puurvardaid**. Purustatud kivim transportitakse maapinnale varraste sisemise toru kaudu. Lõike-instrumendiks on **suruõhuvasar** koos kõvasulamist (volframkarbiid) hammastega **puurkrooniga** või ka keerdpuurimisel kasutatavad tavapärased **puurotsikud** (kolme- või kahehataline rataspuur, hõõritspuur). Eristatakse pöördduhtmist suruõhu ringlusega (ingl *reverse circulation air drilling*) ja puurimisvedeliku pöördringlusega (ingl *reverse circulation mud drilling*).

Meetod on välja töötatud peamiselt suure läbimõduga puuraukude puurimiseks ja selle väljatöötamise üheks põhjuseks oli vajadus kvaliteetsete puhaste kivimiproovide järele. Üldjuhul on pöördduhtmisega puurimisel puuragregaadid suuremad ja võimsamad ning üsna tavaline on kuni 500-meetrise puurimissügavuse saavutamine.

Pöördduhtmisega keerd-löökpuurimine (www.geologyforinvestors.com/reverse-circulation-rc-drilling).



Topeltseinaga puurvarras.



PÖÖRDUHTMISEGA KEERD-LÖÖKPUURIMINE SURUÕHUGA

Selle meetodi puhul on tähtis toota piisavas koguses ja piisava survega õhku ning pöördemomenti lõikeinstrumendile, et tagada puurkroonile küllaldast löögienergiat kivimi purustamiseks.

Puurvarraste välimise toru kaudu antav suruõhk paneb tööle **suruõhuvasara** sees oleva kolvi, mis omakorda annab lööke **puurkroonile**. Kolb, liikudes üles-alla sagedusega kuni 2000 korda minutis, sulgeb ja avab klappe, mille kaudu õhk liigub puurvarda sisemisse torusse ja seda mööda koos kivimipuruga maapinnale. Purustatud kivimaterjal tõuseb maapinnani ja satub puurmasina **pöörelpeani** (tsüklonisse), kus kivimipuru liikumiskiirus aeglustub, õhk eraldub ja materjal suunatakse proovitoru või -vooliku kaudu proovikottidesse. Ideaalis tekivad suruõhuga puurimisel kuivad kivimilaastud, sest võimsad suruõhukomp-

ressorid kuivatavad kivimit puurotsiku ees. Olenevalt valitud proovitamise tihedusest on materjali segunemise vältimiseks vajalik iga puurimisintervalli järel puurvardad ja puurauk hoolikalt puhastada.

Meetodi peamiseks eeliseks on suur puurimiskiirus ja kvaliteetsed kivimiproovid. Meetodi puuduseks on selle sobivus vaid kõvade kivimite puurimiseks.



Suruõhuga puurimisel kasutatav puurkroon.

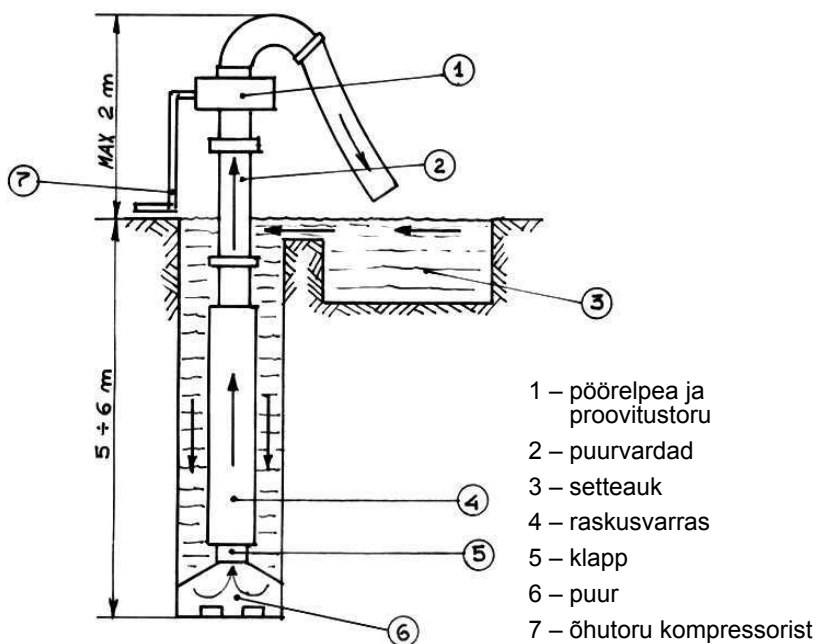
PÖÖRDUHTMISEGA KEERDPUURIMINE PUURIMISVEDELIKEGA

Pöörduhtmisega keerdpuurimine puurimisvedelikega on ülalpool kirjeldatust aeglasem, kuid selle eeliseks on pinnase surve ja puurauku sissevoolava vee väiksem mõju puurimisel. Meetod leiab sageli kasutamist suurtel absoluutkõrgustel (mäestikes), kus löögienergia tekitamiseks suruõhuvasaraga ei ole võimalik õhku selle hõreduse tõttu piisavalt kokku suruda. Meetodi tööpõhimõtteks on purustatud kivimi transport maapinnale puurvarraste sisemise toru kaudu, mis ei nõua suruõhuvasara kasutamist. Kivimi purustamiseks on selle meetodi jaoks sobivad erilised kolmerattalised **ratas-** või **hõõritspuurid**.

Üsna tavapärane on, et puuraugu rajamisel alustatakse suruõhuga pöörduhtmispuurimisega, kuni see meetod muutub vee sissevoolu või suure külgsurve tõttu ebaproduktiivseks. Seejärel minnakse üle puurimisvedelikuga pöörduhtmispuurimisele.

Meetodi eeliseks võrreldes otseringlusega puurimisega on asjaolu, et see võimaldab suure läbimõõduga puuraukude puurimist, suurendamata seejuures puurimisvedelike ringluseks vajalike pumpade võimsust. Otseringluse korral peab ringluspump puuraugu suure läbimõõdu juures andma väljaspool puurvardaid tõusvale puurimisvedelikule märgatavalt suurema kiiruse, et purustatud kivimaterjali lahuses hoida ja maapinnale transportida.

Pöörduhtmisega keerdpuurimise skeem.



Meetodi puhul kasutatakse kolbpumpade asemel tihti tsentrifugaalse põhimõttega ringluspumpasid, sest purustatud kivimiosakesed läbivad tsentrifugaalpumpa kergemini.

Pöörduhtmisega keerdpuurimisel voolab puurimisvedelik setteaugust otse puurauku ümbritseses seal puurvardaid ja tõuseb üles maapinnale läbi puuriotsiku ja puurvarraste koos purustatud kivimiga, mis settib setteaugus. Et puuraugud on suure läbimõõduga, nõuab meetod rohkesti vett ja settekäitlust. Puuraugu sein hoiab stabiilsena puurimisvedeliku poolt avaldatav rõhk augu seinale. Kui rõhk ei ole piisav, on oht seinte varisemiseks ja puuri kinnikiilumiseks.

Puurimisvedelikku võib selle meetodi juures üldjuhul kirjeldada kui savikat vett. Sageli lisatakse sellele ka viskoossust suurendavaid polümeerseid lisandeid. Viimased vähendavad hõõrdumist, hoiavad ära savikate kihtide paisumise ja veekao. Kuna tavapäraseid savipõhiseid puurimisvedelikke kasutatakse vähem, siis ei moodustu puuraugu seintele savikat kaitsvat kihti, nn kooki, mistõttu peab kasutatav vedelik puuraugu seinu stabiliseerima. Puuraugu seinte varisemise vältimiseks peab vedeliku tase hüdrostaatilise rõhu tagamiseks olema alati maapinnal, isegi kui puurimine ajutiselt katkestatakse. Just hüdrostaatiline rõhk koos puurvarraste taga alla liikuva puurimisvedelikuga toetavad puuraugu seinu. Puuraugu seinu erosioon ei ole üldjuhul probleemiks, sest vedeliku kiirus on väike.

Sõltuvalt puuritava kivimi iseloomust tuleb hoolitseda, et vee kogus objektil oleks piisav. Vett hästi juhtivate kihtide (liivad ja kruusad) puurimisel peab vee tagavara olema märkimisväärselt suur, sest vedelik võib äkitselt neelduda. Kui vett ei jõuta õigeaegselt lisada ning selle tase vajub märgatavalt allapoole maapinda, on tulemuseks puuraugu seinu varisemine.

Hõlbustamiseks puurimisvedeliku ülesliikumist puurvarraste sees, kasutatakse lisaks imev- või tsentrifugaalpumbale tihti suruõhku. See toimub õhköstuki (ingl *air lift*) meetodil, mille käigus monteeritakse puurvarraste sisemise toru sisse peenike õhutoru või -voolik, mida vajadusel vardavahetuse

ajal jätkatakse. Juhtides kompressoris toodetud suruõhu õhutorusse, hakkab puurvarda sisemises torus tööle õhktõstuk, mis tagabki puurimisvedeliku parema liikumise üles. Teine põhjus õhktõstuki kasutamiseks on imevpumpade ebapiisav imemisvõime puurimisvedeliku ringlema panemiseks pärast vardavahetust. Õhktõstuki kasutamisel ei erine meetod oluliselt pöördumise ja keerd-löökpuurimisest ning on kulu-efektiivne 600 mm ja suurema läbimõõduga aukude puurimisel pudedatesse kivimitesse.

Meetodi eeliseks on:

- 1) puuritava augu ümbruses mõjutatakse kivimeid minimaalselt, neisse ei viida puurimisvedelikuga lisandeid, pinnase poorsus ja veejuhtivus säilivad lähedasena algele hüdrogeoloogilisele olukorrale;
- 2) puuraukude kiire ja kuluefektiivne puurimine;
- 3) puurimise käigus ei ole vaja kasutada abimantelтору;

4) filtrid saab paigaldada kergelt ja õigesti sügavusvahemikku samaaegselt manteldamisega;

5) puurida on võimalik kõiki kivimeid peale tard- ja moondekivimite;

6) puurimisvedeliku väikese liikumiskiiruse tõttu on oht puuraugu seinte varisemiseks väike.

Meetodi puuduseks on:

- 1) üldjuhul suur veevajadus;
- 2) suured ja kallid puuragregaadid ja puurimisvahendid;
- 3) vajadus rajada suurem settesüsteem;
- 4) raskendatud ligipääs võimalikule objektile puuragregadi mõõtmete tõttu;
- 5) võrreldes teiste puurimismeetoditega vajatakse efektiivseks puurimiseks rohkem inimesi, seega on tööjõukulu suurem.

TOPELT PÖÖRELPEAGA PUURIMINE

Sageli juhtub, et geoloogilistest tingimustest või töö eesmärgist johtuvalt ei saa kasutada kõige lihtsamat meetodit mantelтору paigalduseks ühe puurimiskolonniga. Sel juhul valitakse kahe pöörelpeaga puurimine, mis võimaldab samaaegselt puurida pinnasesse sisemist puuripeaga puurvarraste kolonni ja välimist puurkrooniga mantelтору kolonni.

Kombineeritud meetodeid on sõltuvalt kivimi purustamise viisist, puuritud materjali eemaldamise viisist ja puurimisvahenditest mitu, üldistatult kutsutakse neid **kahe pöörelpeaga puurimiseks** (ingl *dual rotary drilling* või *dual head duplex rotary drilling*).

Topelt pöörelpeaga puuritakse peamiselt puurkaeve ja ehituspuurauke. See meetod on välja töötatud vältimaks puurimisel eettulevaid põhilisi probleeme nagu tundmatu geoloogiline läbilõige, puurimislahuse ringluse kadu, munakate ja rahnude esinemine, ebastabiilsed puuraugu seinad, puuraukude kõverdumine, vee-kihi reostumine ning vesiliivade keeruline puurimine.

Meetodi aluseks on tüüpiline keerdpuurimine, mille puhul puurimise edenemine põhineb agregadi poolt avaldataval surveel. Muude võrdsete tingimuste juures erinevad masinad avaldatava survejõu, pöörd-

momendi, puurimiskolonnile rakendatava pöörlemiskiiruse ja puuritud materjali eemaldamise seadme näitajate poolest. Tavaliselt kasutatakse pöörleva mantelтору otsas **puurkrooni** ja mantelтору sees olevate puurvarraste otsas **kolmerattalist rataspuuri** või hõõritspuuri. Kui geoloogilises läbilõikes on ette näha rohked kõvad vahekihid, asendatakse rataspuur **suruõhuvasaraga**, mis purustab kõva kivimi tõhusamalt ja tagab ka välise manteltoruga puurimise hõlpsama edenemise. Samaväärselt võib topelt pöörelpeaga puurimisel kasutada ka pöördumise ja keerdumise puurimismeetodit, mis on üldjuhul sobiv eriti rasketes ja vahelduvates geoloogilistes tingimustes.

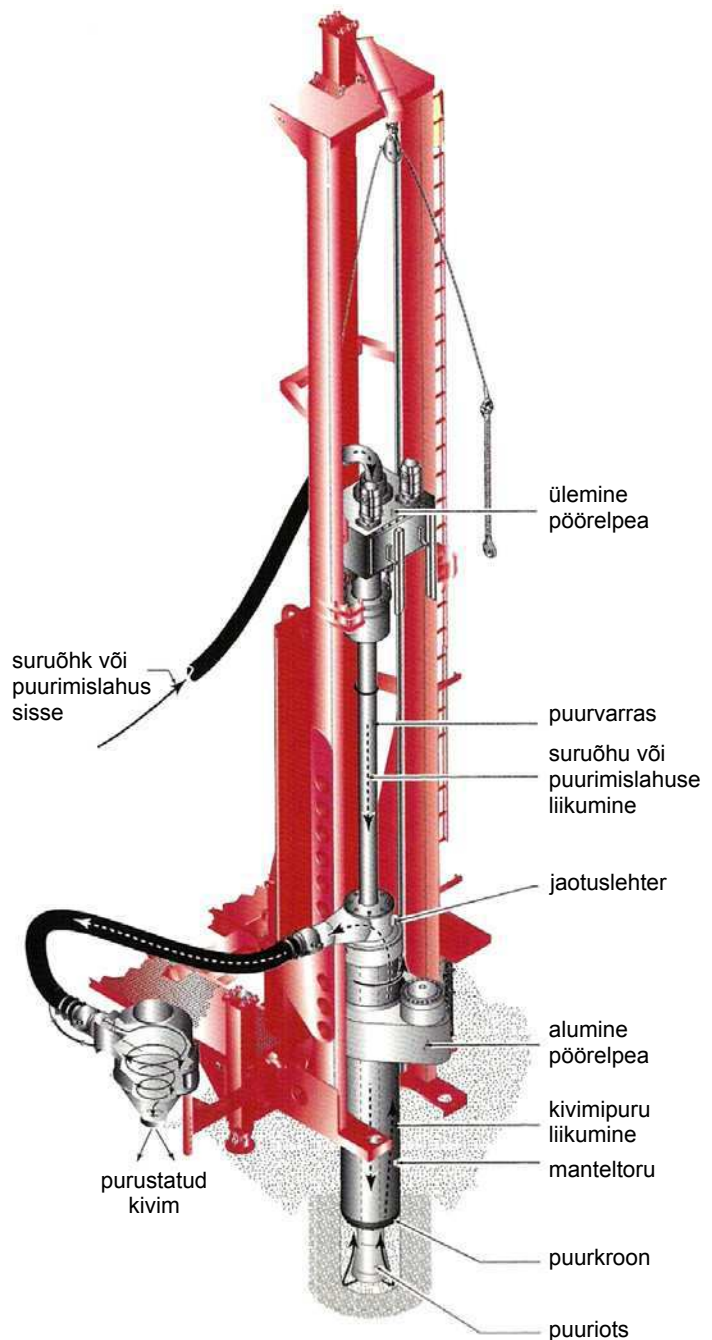
Topelt pöörelpeaga puurimine valitakse enamasti juhul, kui pinnas on pehme või keskmiselt kõva ja geoloogiline läbilõige varieerub. Masinate hüdraulilised pöörelpead on seejuures tavapärasest võimsamad. Meetodit võib lugeda vaikseks, see kahjustab vähe pinnase struktuuri ja on teatud sügavuseni puurimisel kuluefektiivne. Saavutatavad puurimissügavused olenevad kohalikest geoloogilistest tingimustest – 150 mm läbimõõduga manteltoruga on puuritud isegi 400 meetrini ja 600 mm manteltoruga umbes 100 meetrini.

Pöörelpead, mis juhivad sisemist puurvarraste kolonni, nimetatakse ülemiseks ja manteloru juhtivat pöörelpead vastavalt alumiseks. Pöörelpead toimivad teineteisest sõltumatult. Tavapäraselt pöörleb sisemine puurvarraste kolonn päripäeva pöördemomendiga 2500 Nm (njuutonmeeter) ja kiirusega 40–60 p/min (pöört minutis). Välimine manteloru aga võib pöörelda nii päripäeva kui ka vastupäeva. Pöörlemiskiirus on tavaliselt 15–30 p/min, kuid vajalik pöördemoment on märksa suurem (kuni 8000 Nm). Mantelorde vastupidise pöörlemise eeliseks on kivimi tõhusam purustamine ja olematu või vähene risk puuritunud materjalist põhjustatud ummistuste tekkeks varraste ja manteloru vahelises ruumis. Tänu jäigale mantelorule väheneb märkimisväärselt puuraugu kõrvalekalduvus vertikaalset ja tavapärase on väga sirgete puuraukude saavutamine.

Sobiva **topelt pöörelpea** saab monteerida suhteliselt väikese puuragregaadi külge, oluline on vaid piisava hüdraulilise väljundvõimsuse olemasolu. Paremate pöörelpeade eeliseks on võimalus liigutada sisemist puurvarraste pöörelpead ca 30 cm vertikaalsuunas võrreldes välimise manteloru pöörelpea asendiga. See annab puurmeistrile täiendava võimaluse valida puuritava kivimi omadustest sõltuvalt puuripea ja puurkroni suhteline edenemine puurimise ajal. Näiteks kui esineb oht veekihi saastamiseks, ringvoolu kadumiseks või on tegemist survepõhjaveega, liigutatakse välimine mantelorukolonn allapoole puuripead. Tavaliselt liigub allpool siiski varraste kolonni otsas olev puuripea. Sellega vähendatakse pinnase poolt avaldatavat hõõret mantelorule ja saavutatakse suurem puurimiskiirus. Oluline on



Topelt pöörelpea.



Topelt pöörelpeaga puurimine.

ka võimalus muuta mõlema pöörelpea käiku ehk pöörlemiskiirust ja väändmomenti, samuti võimalus kasutada ülemise puurvarraste pöörelpeaga suruõhuvasarat, seejuures ka laiendatava **ekstsentrilise pilootpuuriga** varustatud vasarat, mis võimaldab vajadusel laiendada auku välimise manteloru ees.

Kui puurimise edenedes on jõutud mantelorule ettenähtud paigaldussügavuseni, võimaldab meetod ilma puuriotsa vahetamata koheselt jätkata edasipuurimist. Peaks siiski silmas pidama, et selline konstruktsioon ei pruugi vastata kehtivatele seaduslikele regulatsioo-

nidele, seda eelkõige torutaguse ruumi isoleerimise osas, mis kirjeldatud juhul on puudulik või puudub üldse. Seetõttu kasutatakse topelt pöörelpeaga puurimist kaevude rajamisel selliselt, et välimine mantel-toru on keermostatud ja seda kasutatakse korduvalt. Puurkaevu projekteeritud sügavuse saavutamisel eemaldatakse puurvardad ja puuriots, kuid mantel-toru jäetakse puurauku seniks, kuni puurkaevu on paigaldatud vajalikud seadmed ja materjalid (peenem mantel-toru, filter, puistekruus, tsement).

Meetodi eeliseks on:

- 1) väheste kulude ning avariiriskiga puurimine Kvaternaari setetes ja pehmetes kuni keskmistes kivimites, puuraugud on sirged;
- 2) puuragregaatide nii alumine kui ülemine pöörelpea on ühendatud otse hüdrauliliste silindritega, mis võimaldab väga head kaalu ja tõstejõu suhet ja seega suuremat puurimissügavust, vähendab koormust masina mastile ja platvormile;
- 3) toitesüsteemis puuduvad trossid, ketid, rattad, voolikukimbud jms;
- 4) alumist pöörelpead saab kasutada puurimisriistade (haamrid, puurid jne) kinni- ja lahtikeeramiseks;

5) ülemist pöörelpead saab keerata horisontaalasendis puurvarraste kergeks haaramiseks;

6) mantel-toru otsa kinnitatud puurkroonid ei vähenda sisemist läbimõõtu;

7) pöörelpea külge saab ühendada tsükloni eeskujulike proovide kogumiseks;

8) alumine pöörelpea võimaldab mantel-toru pöörlemist mõlemas suunas samaaegselt toru ülestõstmise või allasurumisega, mis vähendab toru kinnikiilumise riski;

9) uue mantel-toru lisamisel saab keevitaja keerata keevituse enda ette ja ei pea selleks pugema masina masti alla;

10) võimalus puurida kindla nurga all.

Meetodi puuduseks on:

1) puuragregaaadi suhteliselt võimas hüdraulikasüsteem;

2) mantel-torude taguse ruumi isoleerimise võimatus või puudulikkus;

3) hõõrde tõttu piiratud puurimissügavus ja puuraugu läbimõõt;

4) savide puurimine on raskendatud.

ROOTORPUURIMINE

Rootorpuurimine (ingl *rotary drilling*) on üks keerdpuurimise tehnoloogiaid, mis võeti 19. sajandi lõpu-aastatel kasutusele Ameerika Ühendriikides Texases ja Kaspia mere ääres Bakuu leiukohas. Rootorpuurimisel kasutatakse nii statsionaarseid kui mobiilseid puuragregaatide.

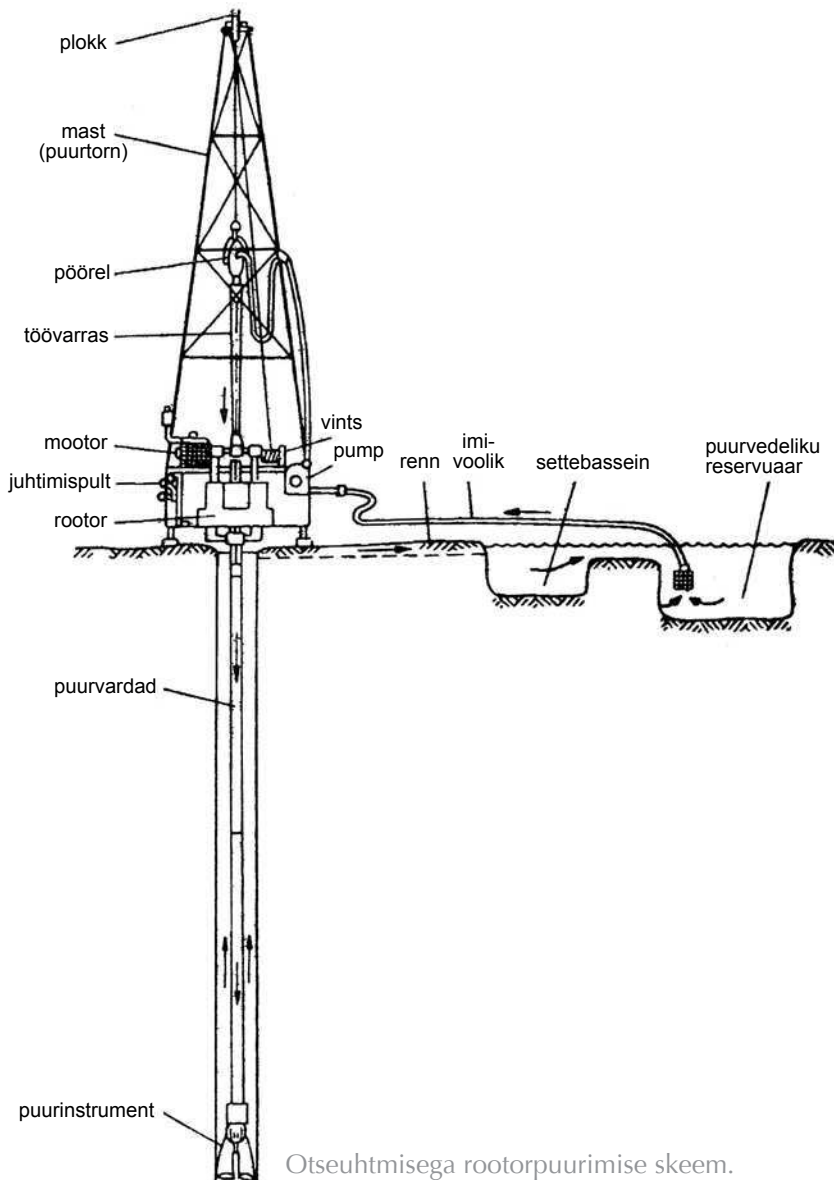
Statsionaarseid puuragregaatide kasutatakse põhiliselt suurte eksploatatsioonipuuraugude (nafta, gaas, vesi) ja mõnikord ka sügavate geoloogiliste uuringupuuraugude puurimiseks. Statsionaarse puuragregaadiga on võimalik puurida kuni kümne kilomeetri sügavusi puurauke, mille algläbimõõt võib ulatuda kuni 0,7 meetrini.

Autoraamile paigaldatud rootorpuurimise agregaatide kasutatakse kaevude, geoloogilise uuringu-, energia- ja teiste puuraugude puurimisel. Eestis on kasutusel URB-2,5A (puurimise algdiameeter 400 mm, puurimise sügavus 200 m) ja URB-3AM (puurimise algdiameeter 400 mm, puurimise sügavus 500 m). URB-

2,5A on paigaldatud autole ZIL-131 või Kamaz 4310, mis on kolme silla veoga ja maastikul hea läbimisvõimega. URB-3AM on paigaldatud autole MAZ, millel on üks vedav sild ja mis puurimiskohale jõudmiseks vajab korralikku teed.

Rootorpuurimisel kasutatakse neljakandilise avaga **rootorit**, mis pöörleb mehaanilise jõuülekanne ja mootori abil. Läbi rootori ava liigub neljakandiline **töövarras**, mis annab edasi pöörlemise ja surve **puurvarrastele** ning **lõikeinstrumendile** puuraugu põhjas. Töövarras koos puurkolonniga tõstetakse üles või lastakse alla terastrossi ja puuragregaaadi vintsi abil. Tõstejõu suurendamiseks kasutatakse talide süsteemi.

Rootorpuurimisel purustatakse kivim kogu augu põhja ulatuses ratas- või labapuuriga. **Rataspuuri** alumises otsas on kaks või kolm hambulist ratas, mis puuri pöörlemisel veerevad puuraugu põhjas ja purustavad kivimit. **Labapuuridel** on kahe või enama kõvasulami või teemantpuruga armeeritud laba. Ratas- ja laba-



Otseuhtmisega rootorpuurimise skeem.

puure kasutatakse põhiliselt kaevude ja energiapuura ukude puurimisel. Geoloogilisel uuringul kasutatakse südamikpuurimist, mis võimaldab saada kvaliteetseid kivimiproeve kogu puuraugu ulatuses. Südamikpuurimisel purustatakse kivimit ainult mööda augu põhja perimeetrit **rataspuuriga** (seest tühimikuga) või **puurkrooniga** (kövasulami või teemantpuruga armeeritud, kinnitatud südamiktoru otsa). Puurimisel torusse jääv puursüdamik tõstetakse südamiktoru pikkusele vastavate intervallide kaupa puuraugust välja. Puursüdamiku väljatõstmine muudab puurimise aeglaseks, eriti suuremate sügavuste korral, mistõttu kaevude puurimisel kasutatakse südamikpuurimist harva.

Rootorpuurimine on kas otse- või pöörduehtmisega. Mõlemal puurimisviisil on oma eelised ja puudused. Otseuhtmisel eemaldatakse purustatud ja peenestatud kivim **uhtelahusega**, milleks on mõnikord vesi,

enamasti aga spetsiaalne savilahus, mis on valmistatud savist, polümeeridest ja lisanditest. Suure erikaalu ja viskoossusega lahus tõstab peenestatud kivimi hõlpsamini puuraugust välja kui vesi. Uhtelahus pumbatakse läbi puurvarraste puuritava augu põhja, kus see jahutab puuri otsikut, kas ratas- või labapuuri. Puuraugu suudmeni tõustes uhub lahus peenestatud kivimi välja. Puuraugu seintele kleepunud ja kivimisse imunud savi- ja polümeeri osakesed kaitsevad puuraugu seinu sissevarisemise eest ja vähendavad lahuse imendumist puuraugu seintesse.

Otseuhtmisega rootorpuurimise eeliseks on võrreldes teiste puurimismeetoditega universaalsus, lihtsus ja puuragregaadi mehaaniline vastupidavus. Sel meetodil võib puurida kõiki pinnaseid ja kivimeid, kasutades sobivaid puurotsikuid. Otseuhtmisega rootorpuurimine on otstarbekas:

- 1) hüdrogeoloogiliselt hästi uuritud aladel;
- 2) veerikaste kihtide esinemisel, kui vajaliku veehulga saamine on tagatud või pärast puurimist on filtratsioonivõime taastamine vettandvatest kivimitest võimalik;
- 3) survekihtide esinemisel;
- 4) kui vee ja savilahuse komponentide juurdevedu ei kujune liiga kulukaks;
- 5) kui külmal aastaajal on tagatud puuragregaadi mehhanismide eelsoojendus;
- 6) enam kui 150 m sügavuste puuraukude või -kaevude puurimisel;
- 7) nõrkade ja kobedate kivimite puurimisel sügavuseni 200–300 m;
- 8) juhtudel, kui tuleb filtri ja puuraugu seina vahele paigaldada paks kruusapiiste, mis takistab kaevu ekspluateerimisel liiva imbumist filtrisse, või puuraugu läbimõõdu suurendamiseks laiendiga vähese veeandvusega kihtides.

Otseuhtmisega rootorpuurimise puuduseks on:

- 1) vettandvate kivimite lõhede ja pooride ummistumine pärast puurimist uhtevedelikuga;
- 2) läbindatud kivikihtidest ebatäpse informatsiooni saamine (nõuab puurijalt head geoloogilise ehituse tundmist);
- 3) suure koguse uhtevedeliku vajadus, mis võib miinuskraadidel külmuda;
- 4) kasutusse võetavate veekihtide katsetamine alles pärast puurkaevu täielikku puhastamist, mis saavutatakse mõnikord lõhkamise või keemilise töötlemise abil;
- 5) üksikute veekihtide eraldi katsetamise keerukus;
- 6) puuri kinnikiilumise oht uhtevedeliku suure neeldumise korral.

Mõnikord on puurkaevude rajamisel keerdpuurimise meetodil otstarbekas kasutada **pöörduhtmist**. Kui otseuhtmisel surutakse uhtevedelik mudapumba abil läbi puurvarraste puuritava augu põhja ja sealt koos purustatud kivimiga puuraugust välja, siis pöörduhtmisel on vedeliku liikumine vastupidine – vedelikul lastakse voolata puuraugu suudmest sisse ja väljapumpamine toimub läbi puurvarraste. Puuragregaadi mudapump on sel juhul asendatud kompressoriga või tsentrifugaalpumbaga ja kasutatakse tavalisest erineva ehitusega pöörliit. Pöörliit tuleb survevoolik suubub settebasseini, kuhu juhatakse läbi puurvarraste tulev vesi koos purustatud kivimiga. Purustatud ja väljahutatud kivim settib settebasseinis ning puhastatud vesi voolab uuesti puuritavasse auku. Teisi olulisi erinevusi puuragregaadil ei ole. Puurvarrastena on võimalik kasutada 127 mm või 168 mm läbimõõduga mantelorusid, mis on omavahel muhvidega ühendatud. Kehtib reegel, et veetase pöörduhtmise ajal peab olema 3–4 m kõrgemal kui veekihi staatiline tase.

Pöörduhtmisega rootorpuurimise eelised on:

- 1) uhtevedelikuna kasutatakse vett;
- 2) puuraugu seinte püsivus pudedates kivimites tagatakse veesamba hüdrostaatilise rõhuga, mistõttu saab puurida sügavale ilma vahepealse manteldamiseta ja puuraugu algdiametri vähendamiseta;
- 3) väljapestav purustatud pinnas ei puutu kokku puuraugu seintega, kivimi poorid ja lõhed ei umistu ning kivimi veeand säilib (näiteks samades kivimites on otseuhtmisega puuritud kaevus veetaseme alandus

kuni 50 m ja deebit 1–4 l/sek, pöörduhtmisega puuritud kaevus aga vastavalt 6,5–7 m ja 13–20 l/sek);

4) nõrkades pinnastes (liivad, saviliivad) suureneb puurimiskiirus (ajaühikus läbitud meetrid) 1,5–2 korda võrreldes otseuhtmisega;

5) võimaldab puurida suure diameetriga puurauke (kuni 1200–1500 mm).

Pöörduhtmisega rootorpuurimise puudused on:

1) survevee ehk arteesia vee puhul on võimalik puurida ainult nõrkades ja kohevates (I–IV kategooria) pinnastes;

2) põhjaveetase peab olema sügavamal kui 3 meetrit maapinnast.

Puurkaevu konstruktsioon rootorpuurimisel

Puurkaevu konstruktsioon sõltub puuraugu otstarbest ja geoloogilisest läbilõikest. Puurimist alustatakse kõige jämedama projektis ettenähtud puuriga (rataspuur, labapuur, puurkrooniga südamiktoru). See on vajalik ettenähtud juhttoru paigaldamiseks.

Puurimist alustatakse agregaaadi käigukasti kõige aeglasema käiguga ja instrumendi kogu raskusega. Mudapumba tootlikkus on umbes 5 l/sek. Enne iga puurvarda lisamist puurkolonnile on vaja puurauk uhtelahusega puhastada. Puurkolonni sisselaskmisel enne puuri jõudmist puuraugu põhja, tuleb alustada uhtelahusega pesemist 3–4 m puuraugu põhjast kõrgemal, et ära hoida puurkolonni kinnikiilumist puuraugust. Puurkolonni väljatõstmisel peab puurauk kuni suudmeni olema täidetud uhtelahuga. Kui puurimine on vaja lühiajaliselt katkestada, tuleb puurkolonn töövarda pikkuse võrra üles tõsta ja jätta madalatel pöörretel pöörlema. Iga 10–15 minuti järel tuleb kolonn lasta 30–40 cm allapoole ja seejärel uuesti üles tõsta. Kui puurimine jääb pikemaks ajaks seisma (mudapump ei tööta), tuleb puurinstrument paigaldatud mantelorusse tõsta, manteloru puudumisel aga puuraugust välja. Kui agregaaadi vints katkestab töö (puru- neb), tuleb vintsi remondi ajaks puurkolonn panna pöörlema kõige aeglasema käiguga, jätkates samal ajal puuraugu pesemist uhtelahuga.

Juhttoru paigaldatakse puurkaevu suudme või puuraugu ülemise osa varisemise vältimiseks kõrge pinnasevee taseme juures. Juhttoru pikkuseks on tavaliselt 2–12 m, vajadusel kuni 50 m. Toru pikkus sõltub

varisevate kivimikihtide sügavusest ja ülemise veekihi staatilisest tasemest. Juhttoru taguse osa ja põhja võib tamponeerida saviga. See võimaldab pärast mantelitorude põhikoloni paigaldamist juhttoru hõlpsamini välja tõmmata. Paljudel juhtudel on otstarbekas juhttoru tagune osa tsementeerida. Sellega on kindlustatud, et toru tagant ei uhuta uhtevedelikuga pinnast välja. Pinnase väljauhtmine juhttoru tagant võib kaasa tuua variseva pinnase valgumise puurivasse puurauku ja põhjustada puuri kinnikiilumise väljatõstmisel.

Edasi puuritakse peenema puuriga läbi juhttoru kuni vajaliku sügavuseni (näiteks puurkaevu projektis ettenähtud vettandva kihini). Pinnase läbimiskiiruse suurendamiseks ja puuraugu vertikaalsuse hoidmiseks on otstarbekas kasutada raskusvardaid, mis paigaldatakse vahetult löikeinstrumendi juhttorust kõrgemale. Puuraugu vertikaalsust aitavad tagada ka löikeinstrumendi juhttoru seintele keevitatud laiendusribad. Löikeinstrumendi juhttoru koos laiendusribadega ei tohi aga muutuda läbimõõdult suuremaks, kui on löikeinstrument (rataspuur, labapuur, puurkroon). Edasi puurimisel võib rootori pöörlemiskiirus olla suurem (olenevalt puuri läbimõõdust teine või kolmas käik agregaadiga käigukastis) ja mudapumba tootlikkus umbes 5 l/sek.

Puurkaevu rajamisel paigaldatakse **manteloru** põhikolonn ettepuuritud augu põhjani. Manteloru koloni tsentreerimiseks puuraugus kasutatakse **tsentreerimisrõngaid** ehk tsentraatoreid. Seejärel tsementeeritakse manteloru tagune osa alates puuraugu põhjast kuni maapinnani ja võimaluse korral tõmmatakse juhttoru välja. Tsemendi kivistumise aeg on 24–48 tundi. Kui lahtipuurimisega varem alustada, võib juhtuda, et tsement pestakse uhtevedelikuga välja ja tsementeerimist tuleb uuesti alustada.

Mantelorusse tekivad **tsemendikork** puuraugu põhjas puuritakse läbi ja avatakse veekiht puurkaevu projektis ettenähtud ulatuses. Pärast tsemendikorgi läbipuurimist ja enne vettandva kihi lahtipuurimist on otstarbekas uhtevedelik välja vahetada, sest lahtipuurimisega peenestatud tsement sadestub puuraugu seintele, tekitades tihedaid kühme, mis takistavad puurkoloni väljatõstmist.

Vastavalt vajadusele ja puurkaevu projektile tehakse liivades ja liivakivides puurkaevu vettandva osa laiendus, paigaldatakse filter ja tehakse filtritagune kruusa-

puiste. Kõvades mittevarisevates kivimites (mõned liivakivid, lubja- ja dolokivid) jäetakse filter paigaldamata või paigaldatakse perforatsiooniga toru (paisuvate savide puhul).

Puhastuspumpamine tehakse erinevaid meetodeid kasutades, **proovipumpamine** puurkaevu maksimaalse tootlikkusega või 1,3-kordse projekteeritud tootlikkusega juhul, kui ei ole võimalik saavutada projekteeritud tootlikkust. Seejärel võetakse projektis ettenähtud **veeproovid**.

Rootorpuurimise tehnoloogilise režiimi parameetrid sõltuvad puuritavate kivimite füüsikalise-mehaanilistest omadustest, piirkonna hüdroteoloogilistest tingimustest, kasutatava puuragregaadiga tehnilistest võimalustest ja puurijate kogemustest.

Puurimisel peavad olema kooskõlas:

- 1) teljesuunaline ehk aksiaalrõhk puuraugus olevale löikeinstrumendile;
- 2) löikeinstrumendi (rataspuuri, puurkrooni) pöörlemiskiirus;
- 3) uhtelahuse pealeantav kogus ajaühikus (l/sek);
- 4) uhtelahuse omadused (erikaal, suhteline voolavus ehk viskoossus, liivisisaldus, imendumine puurkaevu seintesse, tiksotroopia ehk omadus mehaanilisel mõjutusel vedelduda, voolamise staatiline rõhk).

Rootorpuurimine otseuhtmismeetodil puuragregaadiga URB-2,5A

Puuragregaat URB-2,5A on ette nähtud kaevude ja struktuuripuuraugude puurimiseks geoloogilise uuringu eesmärgil. Puuragregaat kujutab endast mehhanismide kompleksi, mis on paigaldatud kolme silla veoga autode Kamaz-4310, Kamaz-43114 või ZIL-131 raamile. Need masinad on maastikul väga hea läbimisvõimega. Puuragregaadiga tehnilised andmed Kamaz-4310-l on:

- 1) puurimise sügavus kuni 200 meetrit (puurvarraste läbimõõt 73 mm ja 60,3 mm);
- 2) puurimise sügavus kuni 300 meetrit (puurvarraste läbimõõt 50 mm);
- 3) puurimise algdiameeter 400 mm, puurimise lõppdiameeter 76 mm;
- 4) kahetrumilise vintsi tõstevõime 2,5 tonni (lühiajaliselt 4 tonni);

- 5) masti (torudest keevitatud) kõrgus rootori ülemisest äärest kuni ülemise plokiratta teljeni 9,5 m;
- 6) töövarda pikkus 7 meetrit (nelikant 80 × 80 mm);
- 7) mudapumba (kolbpump NB-12-63-40) maksimaalne tootlikkus 12,25 l/sek, maksimaalne surve 40 baari, töösurve 4 baari;
- 8) agregaaadi käigukast on kolmekäiguline;
- 9) gabariidid 11200 × 2500 × 3800 mm;
- 10) agregaaadi täismass 13 370 kg.

Jõuülekanne saab agregaat auto mootorilt. Auto liikumissüsteem on lülitatud neutraalsesse asendisse ja sisse on lülitatud jõu väljavõtukast, mis asub auto vahekasti peal. Auto käigukastis on sisse lülitatud kolmas käik. Auto käigukastist väljub kardaanülekanne auto vahele, kust toimub hammasülekanne jõu väljavõtukastile. Jõu väljavõtukast on ühendatud kardaanülekanne abil agregaaadi transmioonivõlliga, millest võetakse kiilrihmadega ülekanne mudapumbale ja agregaaadi töövarda etteande mehhanismile. Etteande mehhanismist väljub kettülekanne agregaaadi töövarda tõstmiseks ja allasurumiseks. Transmioonivõlli teisest otsast väljub kardaanülekanne agregaaadi käigukastile (kettülekannega ühenduses agregaaadi vintsiga), kardaanülekanne agregaaadi rootorile ja hammasülekanne masti tõstmise hüdropumbale. Agregaaadi nelikant töövarras pöörleb rootori avas ja liigub puurimise ajal puurkolonni raskusjõu mõjul allapoole vastavalt puuritavate kivimite sügavusele ning tõstetakse üles agregaaadi vintsi abil.

Teljesuunaline (aksiaalne) rõhk lõikeinstrumendile

Puurimisel on oluline aksiaalrõhu suuruse määramine puuraugu põhjas töötava lõikeinstrumendi diameetri ühe sentimeetri kohta. Kivimi puurimisel on vaja jälgida, et kivimi purustamise eritakistus oleks väiksem kui erirõhk puuraugu põhjale. Aksiaalrõhk lõikeinstrumendile oleneb instrumendi läbimõõdust, läbitava kivimi koostisest, instrumendi pöörlemiskiirusest ja vastupidavusest. Praktikas leitakse ratsionaalne aksiaalrõhk rõhu järgi, mis toimib ühele sentimeetrile lõikeinstrumendi läbimõõdust. Lõikeinstrumendi töö efektiivsus puuraugu põhjas sõltub teljesuunalisest rõhust instrumendile ja pinnase eritakistusest, kusjuures eristatakse kahte erinevat režiimi: 1) teljesuuna-

line rõhk instrumendile on konstantne ja pinnase eritakistus muutub, 2) teljesuunaline rõhk instrumendile muutub ja pinnase eritakistus jääb konstantseks.

Pinnase konstantse eritakistuse juures on kogu puuritava kivimi läbimine ühe reisi jooksul tunduvalt suurem kui instrumendile avalduva konstantse teljesuunalise rõhu juures. **Konstantse teljesuunalise rõhu** puhul on instrumendi kulumine väiksem, kuid aeg kivimi läbimiseks ühe reisi jooksul suurem. Siit saab teha järelduse, et puurimise alguses peab teljesuunaline rõhk instrumendile olema väiksem, instrumendi kulumisastme suurenedes tuleb teljesuunalist rõhku tõsta. **Labapuuriga puurides** ei tohi aksiaalrõhk ületada 40 mPa, sest suurema surve juures labapuur ja puurkolonni laiendused kipuvad kinni kiiluma. Aksiaalrõhku lõikeinstrumendile tuleb suurendada tugevates ja kõvades kivimites ja vähendada nõrkades – selline tegevus soodustab puuraugu põhja puhastamist kivimi purustusjääkidest. Alljärgnevalt on toodud soovitatav aksiaalrõhk rataspuurile (kg/cm rataspuuri diameetri kohta) sõltuvalt puuritava kivimi omadustest:

- 1) 400–600 – savid, savikad kildad, lubjakivid, poor-
sed liivakivid, dolokivid jm;
- 2) 400–800 – tihedad aleuroliidid, kvartsliaakivid,
dolokivid, anhüdriidid jm;
- 3) 500–1000 – ränirikkad kivimid.

Vajaliku survet puurinstrumendile ei ole soovitatav tekitada ainult puurvarraste raskusega, sest selline tegevus viib lõpuks ikkagi puuraugu vertikaalsest suunast kõrvale. Ratsionaalse surve saavutamiseks puurinstrumendile puuraugu põhjas kasutatakse raskusvardaid. Raskusvarraste kolonni pikkus valitakse kaalutlusel, et 75% selle massist annab vajaliku aksiaalrõhu rataspuurile, 25% toimiks aga puurvarraste kolonnile pinguletõmbava jõuna. Raskusvarraste kolonni pikkus (H) meetrites arvutatakse järgmise valemiga:

$$H = k \times C/q$$

kus C on vajalik surve puurinstrumendile kilogrammides; q – raskusvarda ühe meetri kaal kilogrammides; k = 1,25–1,5.

Uute rataspuuride sissetöötamiseks soovitatatakse esimese 3–10 puurimisminuti jooksul töötada vähendatud aksiaalrõhuga puurinstrumendile.

Lõikeinstrumendi pöörlemiskiirus

Keskmise tugevusega kivimite puurimisel suureneb pinnase läbimiskiirus lõikeinstrumendi pöörlemiskiiruse tõstmisega. Tugevate ja kõvade kivimite puurimisel tuleb aksiaalrõhku puurinstrumendile suurendada, pöörete arvu aga vähendada.

Lõikeinstrumendi pöörlemiskiirus sõltub selle diameetrist, puuritava kivimi füüsikalise-mehaanilistest omadustest, puuraugu sügavusest, puurvarraste diameetrist ja kategooriast. Lõikeinstrumendi pöörlemiskiirust on vaja vähendada: 1) puuritava kivimi abrasiivsuse suurenemisel; 2) lõheliste kivimite puurimisel ja 3) lõikeinstrumendi diameetri suurendamisel puuraugu sügavuse suurenedes.

Rataspuuri optimaalseks pöörlemiskiiruseks loetakse 150–300 p/min (pööret/minutis). Puurimisel savides ja saviliivades on pöörlemiskiirus ligikaudu 350 p/min, liivakivides, merglites, lubjakivides ja teistes mõõdukalt abrasiivsetes kivimites 200–250 p/min, kõvades, abrasiivsetes kivimites mitte üle 150 p/min. Mida suurem on lõikeinstrumendi pöörlemiskiirus, seda väiksem peab olema teljekoormus instrumendile ja vastupidi – mida väiksem on instrumendi pöörlemiskiirus, seda suurem võib olla teljekoormus instrumendile.

Puuraugu puurimine uhtvedeliku kasutamise

Puurimisel purustatakse ja peenestatakse puuritavat kivimit lõikeinstrumendiga (labapuur, rataspuur, puurkroon). Et lõikeinstrument üle ei kuumeneks ja suudaks purustada kivimit sellesse kinni kiilumata, on vaja instrumenti jahutada ja lahtipuuritud kivim puuraugust välja tõsta. Selleks kasutatakse puurimisel otseuhtmise meetodil uhtvedelikku, mis koosneb savist, veest ja lisanditest. Mida rohkem vedelikku

läbib ajaühikus puurinstrumenti, seda suurem on puhastava joha kiirus, lõikeinstrumendi vastupidavus ja instrumendi läbimiskiirus kivimis. Normaalseks loetakse sellist uhtmist, kui ühes minutis antakse mitte vähem kui 21 liitrit uhtvedelikku puurinstrumendi diameetri ühe sentimeetri kohta. Tihedates, puuraugu seinahoidvates ja vedelikku mitteimavates kivimites kasutatakse purustatud kivimi piisavaks väljatoomiseks (puurvarraste vahetusel ei teki liigset setet puuraugu põhja) võimaluse korral uhtvedelikuna vett. Vee kasutamine suurendab puurimise mehaanilist kiirust 30–35%, pikendab lõikeinstrumendi tööiga 50%, vähendab savi ja uhtelahuse komponentide kasutamist ja pikendab mudapumba tööiga.

Uhtelahuse erikaal. Uhtelahuse kasutamisel puurimise mehaaniline kiirus väheneb proportsionaalselt lahuse erikaalu suurenemisega. Uhtelahuse erikaaluks on lahuse ühe kuupsentimeetri kaal grammides. Rõhk, mida tekitab uhtvedeliku sammu puuraugus, leitakse valemiga:

$$P = H \times y/10$$

kus H on puuraugu sügavus meetrites ja y – uhtelahuse erikaal.

Puurimistööl mõõdetakse uhtvedeliku ja tsementerimislahu erikaalu areomeetriga. Tavaliselt jääb erikaal vahemikku 1,1–1,15 g/cm³ (tabel). Survelise vee esinemise korral võib vedeliku erikaal kasvada 1,22 g/cm³ ja enamgi.

Tavatingimustes tuleb puurimisel uhtvedeliku erikaalu mõõta mitte harvem kui üks kord ööpäevas (kui töötatakse ka öises vahetuses, siis kaks korda ööpäevas). Kui puuritavatest kivimitest tingituna tekivad keerulised situatsioonid (lahuse neeldumine, puuri kiilumine jm), tuleb uhtvedeliku erikaalu mõõta iga tunni järel.

Tabel. Puurimisrežiim veekihi läbimiseks (URB-3AM)

Parameeter	Kobedad kivimid	Tihedad kivimid	Kõvad kivimid
Teljekoormus puurinstrumendile, kg/cm	100	120 – 160	200 – 300
Rootori pöörete arv, p/min	189	109	109
Uhtvedeliku parameetrid:			
erikaal, g/cm ³	1,2 – 1,22	1,15	1
viskoossus, sek	24 – 26	15	15
liiva sisaldus, %	< 4	< 3	puudub
vedeliku imendumine puuraugu seintesse, cm ³	< 20	15	puudub
savikihi paksus puuraugu seintel, mm	3	< 2	puudub

Uhtevedeliku suhteline viskoossus. Uhtevedeliku viskoossust mõõdetakse ajaga sekundites (sek), mis kulub kindla koguse vedeliku voolamiseks. Välitöödel mõõdetakse viskoossust spetsiaalse viskosomeetriaga. Soovitav uhtevedeliku viskoossus (sekundites) erinevate kivimite puurimisel on:

25–30 – veeküllastunud peeneteralised liivad;

20–22 – vähese veesisaldusega peeneteralised liivad;

22–26 – vähese veesisaldusega keskteralised liivad;

25–30 – vähese veesisaldusega suureteralised liivad;

15 – savikad ja poolkaljukivimid;

35–40 – väikeste neeldumist tekitavate lõhedega vett-andvad ning varisemisohtlikud (rabadad) kalju- ja poolkaljukivimid;

90–120 – tugevat neeldumist tekitavate lõhedega kalju- ja poolkaljukivimid, kus on tingimata vaja taastada uhtevedeliku tsirkuleerimine.

Kõigi uhtevedeliku neeldumisjuhtude juures on otsarbekas kasutada väikese erikaaluga viskoosset vedelikku. Efektiivne on bentoniitsavi või spetsiaalsete keemiliste reagentide lisamine uhtelahusele kuni 20% ulatuses kogu vedeliku mahust.

Puuraugu põhja puhastamisel ja purustatud kivimi puuraugust väljatoomisel on suur tähtsus uhtevedeliku korralikul puhastamisel purustatud kivimi jääkidest. Vedeliku kiiremaks puhastamiseks paigaldatakse kaevatud uhterennidesse üksteisest 2–3 m kaugusele erineva kõrgusega tõkked voolava uhtevedeliku jaoks. Nende kõrguste vahe on ligikaudu 6–7 cm, kusjuures kuhjunud sette pind ei tohi ületada 6 cm. Uhtevedeliku viskoossust on võimalik vähendada vee lisamisega. Etteantava uhtevedeliku hulk peab olema piisavalt suur, et tagada väljuva vedelikujoa kiiruseks 40–60 cm/sek. Ühtlasi tuleb arvestada, et puurimissügavuse suurenedes kasvab rõhk mudapumba jõuülekandele.

Liivasisaldus uhtevedelikus. Liivisand uhtevedelikus kutsub esile mudapumba tööpindade ja puurvarraste kiirema kulumise, samuti tekib oht puurkolonni kinni kiilumiseks puuraugus. Liival on suur abrasiivsus, mis tõuseb kiiresti koos vedelikujoa kiiruse suurenemisega. Liiva lubatud sisaldus uhtevedelikus on 4%, mida välitingimustes mõõdetakse spetsiaalse setteanumaga (tabel). Kõrgem liivasisaldus tõstab järsult uhtevedeliku abrasiivseid omadusi.

Liivasisaldus proovides, mis on võetud puuraugu suudme juures ja voolurennide lõpus, võib erineda vähem kui 1%. Kui erinevus on väiksem, siis liiva eraldamine uhtevedelikust on ebapiisav. Liivasisaldust uhtevedelikus tuleb kontrollida vähemalt üks kord töövahetuse jooksul. Mida suurem on uhtevedeliku viskoossus, seda väiksem on liiva settimine.

Uhtevedeliku imendumine puuraugu seintesse.

Uhtevedeliku imendumisel tekib puuraugu seintele savikiht. Vedeliku imendumine puurkaevu seintesse ei tohi ületada 20–25 cm³ 30 minuti jooksul, mis tekitab 3 mm paksuse savikihi (tabel). Veekihi avamisel ei tohi vedeliku imendumine olla suurem kui 10 cm³ 30 minutis. Selline vedeliku imendumine tekitab ca 2 mm paksuse savikihi puuraugu seintele. Vaba veehulga vähendamisel ja samaaegsel tiheduse tõstmisel uhtevedelikus väheneb savikihi paksus puuraugu seintel. Uhtelahuse vedeliku imendumist on vaja kontrollida vähemalt üks kord 24 tunni jooksul, välitingimustes mõõdetakse seda spetsiaalse seadmega.

Tiksotroopia. Tiksotroopiaks nimetatakse tardunud uhtelahuse struktuuri lagunemist mehaanilisel mõjutusel ja taastumist mõjutuse lakkamisel (rahulikus olekus muutub uhtelahuks sültjaks vedelikuks). Mida suuremad on saviosakesed, seda kiiremini moodustub sültjas vedelik, kuid seda väiksem on vedeliku püsivus. Saviosakeste mõõtmete vähenemisega lahuses pikeneb selle sültjaks massiks muutumise aeg ja suureneb vedeliku püsivus. Tiksotroopia soodustab lahtipuuritud kivimiosakeste hõljumist uhtelahuses ka tsirkulatsiooni katkemisel, s.t et purustatud kivimiosakeste sadestumine puuraugu põhja on takistatud. Sellega väheneb puurkolonni kinni kiilumise oht.

Staatiline rõhk uhtevedeliku voolu tekitamiseks. Staatiliseks rõhuks nimetatakse rõhku, mis on vajalik seisvas olekus uhtevedeliku liikuma panemiseks. Normaalse uhtelahuse staatiline rõhk on 0,015–0,04 g/cm². Kui kasutatava savi kvaliteet ei ole piisav, võib seda parendada bentoniitsavi või keemilisi reagentide lisades.

Vee kasutamine uhtevedelikuna otseuhtmise meetodil

Tihedaid ja seinu hoidvaid kivimeid puurides kasutatakse uhtevedelikuna vett. Vee hüdrostaatiline rõhk on väiksem kui savilahul, mis kergendab agregaadid

pumba tööd ja vähendab pumba detailide ning puurvarraste kulumist.

Põhjavett sisaldava lubjakivi puurimisel tuleb tähelepanu pöörata kivimis esinevate lõhede suurusele. Kui lubjakivi läbivad **suured lõhed**, ei ole savilahuse kasutamine otstarbekas, sest neeldumisel toimub suur savilahuse kadu ja vett sisaldavate kivimite pind puuraugus ummistub saviga, mida enne veekihi kasutusele võtmist tuleb pikaajaliselt puhastada.

Väikeste lõhede puhul on otstarbekas kasutada suurendatud viskoossusega savilahu, sest vee kasutamisel võivad väikesed lõhed ummistuda kivimipuruga, mis pressitakse lõhedesse. Nõrk veevool lõhedest ei suuda lõhesid avada ning puurkaevu veeandvus võib jääda väga nõrgaks.

Puurides tihedaid lubjakive, mis lasuvad allpool veerikkaid lõhelisi kivimeid, ei tõsta vesi purustatud kivimeid lõhedesse ja puuraugu põhja lähedale tekib settest kork. Korgi eemaldamiseks võib suurendada agregaadid pumba tootlikkust (teise pumba lisamine) või puurauku viskoosse savilahusega perioodiliselt läbi pesta. Suure neeldumisega lubjakivides paikneva veekihi ummistumise ärahoidmiseks võib kasutada aereeritud (õhuga rikastatud) savilahu vahekorras 25–30 m³ õhku 1 m³ savilahu kohta. Kompressorist väljuv õhk surutakse uhtedeliku survesüsteemi. Kompressori survevoolikud peab olema tagasilöögiklapp.

Suruõhu kasutamine purustatud kivimi väljatoomisel puuraugust otseuhtmise meetodil

Rootorpuurimisel kasutatakse suruõhku seinu hoidvate, tihedate, kuivade ja vähese veeandvusega kivimite puurimisel purustatud kivimi väljatoomiseks puuraugust. Suruõhku tuleb anda arvestusega, et puurinstrumendist väljuva õhujoo kiirus ei oleks väiksem kui 15 m/sek ja rõhk ei ületaks 5–8 atmosfääri. Sellise õhujoo saavutamiseks tuleb valida sobiva võimsusega kompressor või kasutada üheaegselt mitut kompressorit. Puuragregaadid rootori alla paigaldatakse puuraugust väljuva kivimipuru püüdja, mille kaudu juhatakse puru puuragregaadist eemale. See on vajalik, sest õhusurvega võib kivimipuru rootori pöörlemiskohtade vahel olevate pilude kaudu sattuda rootori hammasrattaste vahele. Kivimipuru kulutab laagreid, hammasrattaid ja võib põhjustada rootori kinnikiilumise.

Ettevalmistavad tegevused enne puurimist

Enne puurimistöödega alustamist on vajalik:

- 1) veenduda puuraugu või -kaevu projekti olemasolus ja sellega tutvuda;
 - 2) kontrollida kooskõlastuste ja lubade olemasolu;
 - 3) anda hinnang objekti territooriumile, s.h ligipääs rajatava puuraugu asukohale (teede olemasolu, liigniisked ja metsastunud alad, kraana juurdepääs) ja vee hankimise võimalus lähipiirkonnast (puurimisel uhtedelikuga);
 - 4) hinnata tööplatsi (umbes 10 × 22 m) ettevalmistamisega seonduvaid tegevusi (pinnase kandevõime parandamine, metsapuude mahavõtmine, elektriliinide, maa-aluste kommunikatsioonide olemasolu) ja agregaadid masti tõstmise võimalikkust;
 - 5) hinnata šurfide kaevamise võimalusi (pinnase omadused, ekskavaatori rentimine);
 - 6) kavandada puuragregaadid ja varustuse kohaleveo võimalusi arvestades kehtivaid liikluseeskirju (autorongi kogupikkus ≤ 18,75 m, lubatud laius ≤ 2,55 m, lubatud kõrgus ≤ 4 m; täishaagise lubatud suurim täismass kaheteljelisel ≤ 18 tonni, kolmeteljelisel ≤ 24 tonni, neljateljelisel ≤ 30 tonni; autorongi lubatud suurim mass kolmeteljelisele vedukile + kaheteljelise täishaagis ≤ 40 tonni);
 - 7) hinnata abitööde mahtu (vajadusel tee ehitamine rajatava puurauguni, puuragregaadid paigaldamine ja töövarda vertikaalselt loodi ajamine, šurfide kaevamine kopaga ja selle seinte kindlustamine puidust või terasest plaatidega, šurfide tõkkepiirete paigaldamine, uhtelahu voolurennide kaevamine, vee pumpamine kohalikust veekogust või autoga vedamine, uhtelahu valmistamine).
- Lisaks eelloetletule tuleb ette valmistada puurimiseks vajalikud instrumendid ja materjalid: puurvardad, raskusvardad, laiendid, mantelkorud, keevitusvahendid, generaator, torud südamikuga puurimiseks, filtrid, kahvelvõtmed puurvarrastele ja puuri juhttorudele, šarniirvõtmed mantelkorudele ja puurvarrastele, pikendustorud šarniirvõtmetele, renn või ratas kelk puurvarraste väljavõtmiseks, klambrid mantelkorudele, imivoolikud, survevoolikud, rataspuurid, labapuurid, puurkroonid, puuraugu avariivahendid, tsemendikotid ja uhtelahu komponentide kotid, puistikruus, plangud, prussid, lauad, tsemendi segamise küna,

ämbrid, diiselkütte mahutid, õli-, määrde- ja jahutusvedeliku kanistrid, 200 liitrised vaadid (2 tükki), labidad, kangid, torutangid (2 tükki), ketasloikurid, kirves, saag, haamid, tungraud (15 tonni, 2 tükki) ja võrkšurfide puhastamiseks ujuvast prügist.

Tööprotsessi jälgimine ja dokumentatsioon puurimistöodel

Väheuuritud ja keerulise geoloogilise läbilõikega piirkondades on soovitatav teha eelnev geoloogiline uuring, puurides puursüdamikuga või kasutada geofüüsikalisi uurimismeetodeid. **Kivimite puuritavust** hinnatakse ligikaudselt järgmiste näitajate alusel:

- 1) mehaaniline puurimiskiirus (m/tunnis);
- 2) keskmine surve puuraugu põhjale;
- 3) rootori pöörete arv (p/min);
- 4) mudapumba rõhk (manomeetri näit);
- 5) puurinstrumendi kulumise iseloom.

Puuritavate kivimite **vee läbilaskevõimet ja veesisaldust** hinnates on uhtevedeliku kulu puurimise ajal üks olulisemaid näitajaid. Puurimisprotsessi käigus on vaja:

- 1) fikseerida ringleva uhtevedeliku maht ja tase setteaukudes;
- 2) mõõta ja jälgida uhtevedeliku voolamiskiirust puuraugust setteaukudesse;
- 3) kontrollida uhtevedeliku kvaliteeti (erikaal, viskoossus, purustatud kivimi sadestumine setteaukudes, liivisisalduse protsent, väljavoolujoa temperatuur).

Normaalse uhtevedeliku parameetrid on:

- 1) erikaal 1,15–1,2 g/cm³;
- 2) viskoossus savides 15 sek, peeneteralistes liivades 20–22 sek, keskmiseteralistes liivades 22–25 sek, jämeteralistes liivades kuni 30 sek;
- 3) sadestumise % ei tohi ületada 3%.

Rootorpuurimisel ilma proovide (puursüdamiku) võtmiseta on väljauhutud purustatud kivimi uurimine põhiline alus geoloogilise läbilõike kirjeldamiseks. Kivimikihi sügavust määratakse esimeste purustatud kivimikildude ilmumise järgi puuraugu suudmes. Sealjuures tuleb arvestada, et kivimipuru liigub koos uhtevedelikuga puuraugu põhjast maapinna suunas kiirusega ca 15–20 m/min. Jätkates sama kivimi puu-

rimist, tõuseb selle kivimi osakeste hulk uhtelahuses. Purustatud kivimit on võimalik määrata uhtevedelikku koos purustatud kivimi kildudega anumasse kogudes ja veega kilde puhastades. Seejärel kogutud materjal kuivatatakse, kirjeldatakse, tähistatakse sedeliga ning paigutatakse karpi või kotikesse. Sedelile tuleb märkida puuraugu number, asukoht, kivimi nimetus, proovi sügavus, proovivõtmise kuupäev, proovivõtja nimi.

Teist tüüpi kivimi ilmumise näitajaks on ka löikeinstrumendi, rootori ja mudapumba töörežiimi näitajate muutumine. Puuragregaadi mõõteriistade näituste jälgimine ja nende põhjal õige puurimisrežiimi valimine kuulub puurija kohustuste hulka. Mõõteriistade näidud ja nende põhjal tehtud muudatused puurimisrežiimis tuleb kirjutada puurpäevikusse. Pärast löikeinstrumendi väljatõstmist puuraugust tuleb pöörata tähelepanu instrumendi kulumise jälgedele.

Erinevate settekivimite puurimisel ilmnevad puuragregaadi ja -instrumendi töö jälgitavad tunnusjooned on:

- 1) **kobedad ja nõrgalt tsementeerunud liivad** – rataspuuri edasimineku pinnases on kiire, toimub intensiivne savilahu neeldumine, kerge savilahu korral sadestub uhterennidesse liiv, puuragregaadi seadmete näidud on normi piirides, rataspuur kulub ja nürineb vähesel määral;
- 2) **liivakivid** – rataspuuri edasimineku on aeglane, kõvade ja lõheliste kivimite läbimisel rataspuur hüpleb, savilahu neeldub ebaühtlaselt, kerge savilahuse kasutamisel sadestub uhterennidesse vähesel määral liiva ja väikeseid liivakivitükke, suurt savilahuse neeldumist ei teki, rataspuur nürineb kiiresti;
- 3) **pehmed ja plastsed savid** – rataspuuri edasimineku on hüppeline, rootor ja ketid on pinges, mudapumba rõhk on kõrge ja tõuseb aeg-ajalt kiiresti, savilahuse värvus muutub, savilahuse viskoossus ja erikaal suurenevad, savilahuse neeldumine puudub, rataspuuri kulumist ei täheldata, rataspuuri labadele kleepub savi (saab võtta korraliku proovi);
- 4) **sitkeplastsed ja tihedad savid** – rataspuur töötab ühtlaselt kuid raskelt, mudapumba manomeetri näit on kõrge, savilahuse värvus muutub, setet on savilahuses vähe, savilahuse neeldumine puudub, rataspuuri kulumine ei ole märgatav;
- 5) **kildastunud liiv ja savi** – rataspuuri edasimineku on kerge, kuid kergelt hüplev, uhterennis tekib palju

setet, sealt võib leida üksikuid kildatükke suurusega 25 mm ja rohkem, rataspuur kulub;

6) **lubja- ja dolokivid ning teised kõvad kivimid** – rataspuuri edasiminekuks kulgeb tõugetena ja raskendatult, mudapumba manomeetri rõhk on madal, uhterenni sadestuvad väikesed harvad purustatud kivimitükid, rataspuur kulub kiirelt.

Hinnang valitud puurimisrežiimi õigsusele puurinstrumendi kulumisjälgede põhjal

Valitud puurimisrežiimi õigsuse üle on võimalik otsustada puurinstrumendi kulumisjälgede põhjal. Alljärgnevalt on toodud ülevaade puurimisel sageli ilmnevatest vigadest ja nende põhjustest.

Vea tunnus: ülemäärane kildude eraldumine puuri hammastest.

Põhjus: 1) liiga suur rõhk rataspuurile; 2) liiga suur rataspuuri pöörlemiskiirus; 3) ebaõige rataspuuri margi valik (valitud instrumendi jaoks liiga kõva kivim).

Vea tunnus: suhteliselt uue rataspuuri hammaste külgede ülemäärane kulumine.

Põhjus: rataspuuri liiga suur pöörlemiskiirus, harvem puurimisel või puuraugu laiendamisel raskusvarraste ebastabiilsuse tõttu rataspuurile rakendunud suur rõhk.

Vea tunnus: ülemäärane rataspuuri diameetri vähenemine suure läbimiskiiruse juures.

Põhjus: ebaõige puurinstrumendi valik kõvade kivimite jaoks.



Vea tunnus: puurinstrumendi rataste hammaste otste lamedaks muutumine (kalestumine).

Põhjus: 1) pärast puurimist ühte tüüpi hammastega rataspuuriga kasutatakse teist tüüpi hammastega lõikeinstrumenti; 2) kõvade kivimite puhul kasutatakse liiga suurte hammastega rataspuure; 3) harvem puurkolonni vibratsiooni tagajärjel.

Vea tunnus: rataspuuri hammaste kulumine (siledad lainelised pinnad uhtvedeliku väljumisavade juures puuri hammaste vahel), hamba otste teravnemine.

Põhjus: intensiivne uhtmine (rataspuur kulub rohkem abrasiivse uhtelahuse liigse kasutamise tagajärjel kui kivimit purustades), mida on tihti märgata teemantpuuride kasutamisel. Tuleb vähendada uhtmise intensiivsust.

Vea tunnus: ebaühtlane rataspuuri hammaste kulumine.

Põhjus: 1) ei ole jälgitud uue rataspuuri sissetöötamise reegleid instrumendi kasutamise algfaasis; 2) rattad ei ole tsentris (valmistaja praak).

Vea tunnus: soonte tekkimine rattal (sooned tekivad rataspuuri hammaste otstes kõvade osade vahel).

Põhjus: tsementeeritud hammastega rataspuuri kasutamine liiga kõvade kivimite puhul.

Vea tunnus: rataspuuri siledaks kulumine (puurinstrumendi rattad ei ole pöörelnud puuraugu põhjas).

Põhjus: rataste kinnikiilumine (liiga paks savilahu tekitab kivimipurust krae rataspuuri lähedale).

Õigesti valitud puurinstrumendi kasutamine suurendab puuri läbivuse efektiivsust 25–30%. Andmed puurinstrumentide kulumise kohta märgitakse puurpäevikusse.

Kulunud hammastega rataspuur (Wikimedia).

6. AVARIID JA NENDE LIKVIDEERIMINE KEERDPUURIMISEL

Puuragregaadiga ei tohi töötada madala kvalifikatsiooniga ja puurimistööst väheste teadmistega isikud. **Puurimist on keelatud alustada**, kui puuragregaat ei ole varustatud täieliku komplekti lihtsate avarii likvideerimise vahenditega (välis- ja sisekeermega keermelõikurid, ämblik, trossipüüdja, tsentreerimiskonks, löögipakk jm).

Puuragregaadil peavad olema töökorras kontrollmõõteriistad (raskuse indikaatorid, manomeetrid, voltmeetrid, ampermeetrid jm). Puurimistööst avariideta korraldamiseks peab puuragregaat olema varustatud piisava hulga asendusdetailidega.

Puurmeister peab isiklikult kontrollima ja veenduma, et puurimisrežiim ja instrumentide valik oleks kooskõlas läbitavate kivimite omadustega (õigeaegne puurinstrumenti vahetamine, mantelkorude sisselaskmine, surve puurinstrumentidele ja -varrastele, instrumenti pöörlemiskiirus, tõstetrossi kulumisaste jm).

Puurmeistril peavad olema täpsete mõõtmega joonised (eskiisid) kõigi kasutatavate tööriistade ja puurimisvahendite kohta, et avarii korral puuraugus oleks võimalik valida või valmistada nende kättesaamiseks vajalikud instrumentid. Uut tüüpi puurinstrumenti kasutamisel tuleb juba enne instrumenti kasutamist

leida meetod ja vahendid instrumenti väljavõtmiseks puuraugust avarii korral.

Puurauku lastavad instrumentid ja töövahendid peavad olema terved ja töökorras. Erilist tähelepanu tuleb pöörata lõikeinstrumentide, juhttorude ja puurvarraste ühenduskeermetele, samuti kiilrihmade, survevoolikute, tihendite ja agregaadid pumba liikuvate detailide kulumisastmele ning uhtvedelikule. Neid tuleb kontrollida regulaarselt ja alati enne vastutusrikast operatsiooni (mantelkorude puurauku laskmine, tsementeerimine, avariide likvideerimine jm). Puurinstrumentid ja avarii likvideerimise vahendid, eriti nende keermesed, peavad olema määratud paksu määrdega. Keermesed tuleb katta kaitsemuhvidega.

Täpselt tuleb jälgida puuraugu sügavust ja puurauku lastavate puurvarraste, lõikeinstrumentide ning mantelkorude pikkust. Kõik mõõtmistulemused tuleb märkida puurpäevikusse.

Puuragregaadi seisu ajal peab puuraugu suue olema suletud korgi või kaanega, et ära hoida kõrvaliste esemete sattumist puurauku.

Häid kogemusi annab puurijatele viibimine avariide likvideerimise juures lähedaste geoloogiliste tingimustega piirkonnas.

KEERDPUURIMISE AVARIIDE PÕHJUSED, NENDE ENNETAMINE JA LIKVIDEERIMINE

Keerdpuurimise avariide loetelu:

1. puurinstrumenti kinnikiilumine puurkolonni allalaskmisel puurauku;
2. puurinstrumenti kinnikiilumine puurimise ajal;
3. puurinstrumenti kinnikiilumine puuraugu varingu tagajärjel;
4. puurinstrumenti kinni kiilumine ja selle raskuse suurenemine puurkolonni ülestõstmisel;
5. puurvarraste eraldumine (ühenduslukkudest lahtitulek) puurimisel;
6. puurvarraste või mantelkorude kukkumine puurauku;

7. alumiste mantelkorude keermest lahtikeerdumine ja eraldumine;
8. mantelkorude lahtikeerdumine või ühenduskohtade purunemine torude kolonni puurauku laskmisel ülesalla rammimist kasutades;
9. puurinstrumenti (rataspuuri) eraldumine või purunemine puurimisel;
10. puurinstrumenti kinnipõlemine puurimisel;
11. väikeste metallesemete ja -detailide (haamer, rataspuuri osad, toruvõtmete plaadid jne) kukkumine puurauku;
12. trossi kukkumine puurauku.

1. Puurinstrumendi kinnikiilumine puurkolonni allalaskmisel puurauku

Põhjused: 1) puurinstrumendi liiga kiire ja hooletu puurauku laskmine; 2) savilahuse halb kvaliteet (puuraugu seintele moodustub pehme koorik).

Ennetamine: 1) puurauk tuleb kvaliteetse savilahusega korralikult läbi pesta ja hoida setetest puhas; 2) jälgida pidevalt savilahuse parameetreid ja vajadusel neid korrigeerida.

Avarii likvideerimine: 1) rammida mittepöörlevat puurkolonni üles-alla ning lülitada samaaegselt sisse agregaadid pump savilahuse tsirkulatsiooni taastamiseks; 2) kui savilahuse tsirkulatsioon on taastunud, jätkata üles-alla rammimist, pöörates puurkolonni samaaegselt käsitsi; 3) kui puurkolonn on saadud pöörlema, lülitada sisse rootori pöörded, rammides puurkolonni samal ajal üles-alla; 4) kui savilahuse tsirkulatsioon on taastunud, kuid puurkolonni ei ole võimalik pöörlema saada, võib karbonaatseid kivimeid (lubjakivi, merglid jt) puurides kasutada soolhappevani; 5) avarii likvideerimise ebaõnnestumisel alustatakse puurkolonni lahtikeeramist ja väljatõstmist puuraugust, kasutades vasakkeermega avarii likvideerimise instrumente (puurvardad, välis- või sisekeermega keermelõikurid jm).

Instrumendid ja materjal kinnikiilumise likvideerimiseks: 1) vasakkeermega instrumendid (puurvardad, väliskeermega keermelõikur, sisekeermega keermelõikur puurvarraste püüdmiseks); 2) tehniline soolhape.

2. Puurinstrumendi kinnikiilumine puurimise ajal

Põhjused: 1) puuraugu ebapiisav läbipesu savilahusega, eriti jämedateraliste liivade ja liivsavide puurimisel; 2) kasutatava savilahuse madal kolloidsus; 3) puurvarraste ühenduslukkude liigne kulumine; 4) lõikeinstrumendi diameetri liigne vähenemine puurimise käigus.

Ennetamine: 1) suurendada puuraugu läbipesu savilahusega või vähendada puurinstrumendi läbivuskiirust; 2) parandada savilahuse kvaliteeti (tõsta kolloidsust); 3) kasutada vähe kulunud või uusi puurinstrumente (puurkroonid, rataspuurid); 4) kontrollida regulaarselt puurvarraste ühenduskohtade korrasolekut.

Avarii likvideerimine: 1) proovida savilahuse tsirkulatsiooni taastamist; 2) avarii likvideerimise eba-

õnnestumisel alustada puurkolonni lahtikeeramist ja väljatõstmist puuraugust, kasutades vasakkeermega instrumente (puurvardad, väliskeermega keermelõikur, sisekeermega keermelõikur puurvarraste püüdmiseks).

3. Puurinstrumendi kinnikiilumine puuraugus varingu tagajärjel

Põhjused: 1) mittekvaliteetse ja liiga vedela savilahuse kasutamine varinguohtlike kivimite (kruus, liivad, lõhelised lubjakivid, pehmenenud ja paisuvad savid) läbimisel; 2) liiga suure viskoossusega savilahuse kasutamine; 3) puuraugu vertikaalsest suunast kõrvale kaldumine (puurkolonni kinnikiilumine, kui väljatõstmise ajal tekib varing); 4) savilahuse neeldumine ja uhtvedeliku taseme langus puuraugus või tsirkulatsiooni täielik lakkamine lõheliste kivimite läbimisel.

Ennetamine: 1) kasutada kvaliteetset savilahust (läbitavale kivimile vastavat) ja kontrollida perioodiliselt savilahuse kvaliteeti; 2) kasutada rasket savilahust; 3) puurkolonni ülestõstmisel täita puurauk õigeaegselt savilahusega; 4) pärast varisevate kivimite läbimist manteldada see osa puuraugust torudega.

Avarii likvideerimine: 1) suurendada kiilunud instrumendi läbipesu, tõstes agregaadid pumba tootlikkust; 2) karbonaatsete kivimite puhul kasutada soolhappevani ja püüda puurkolonni rammida üles-alla; 3) avarii likvideerimise katsete ebaõnnestumisel keerata puurvardad varingu piirkonnas lahti; 4) kui puurinstrumendi (rataspuuri juhttoru, südamiktoru) ülemine ülekandeava on seest puhas, kasutada instrumendi väljavõtmiseks vasakpoolse väliskeermega keermelõikurit (ummistunud ülekandeava korral kasutada vasakpoolse sisekeermega keermelõikurit); 5) eelnimetatud katsete ebaõnnestumisel puhastada puuraugu ülemine osa puurimisega (kasutada kvaliteetset savilahust) instrumendi juhttoruni ja tõsta puurinstrument välja; 6) kui puurvardaid ei õnnestu kogu ulatuses lahti keerata ja instrumenti välja tõsta, tuleb katsuda puurinstrumendist mööda puurida.

Instrumendid ja materjalid kinnikiilumise likvideerimiseks: 1) tehniline soolhape karbonaatsete kivimite puurimisel; 2) vasakkeermega instrumendid (puurvardad, keermelõikurid); 3) vahendid puuraugu lahtipuurimiseks kuni puurinstrumendi juhttoruni (puurvardad, juhttoru läbimõõduga rataspuurid, puurkroonid, südamiktorud pikkusega 6–9 m); 4) parempoolse keer-

mega keermelõikurid instrumendi väljatõstmiseks; 5) lisandid kvaliteetse savilahuse valmistamiseks; 6) tsement ja teraskiil puurauku jäänud puurinstrumendist mööda puurimiseks.

4. Puurinstrumendi kinnikiilumine ja raskuse suurenemine puurkolonni ülestõstmisel

Põhjused: 1) koheva kooriku tekkimine puuraugu seintele mittekvaliteetse savilahuse kasutamisel; 2) kivimite (savid, merglid jt) paisumine mittekvaliteetse uhtelahuse või vee kasutamisel.

Ennetamine: 1) jälgida uhtelahuse kvaliteedinäitajate vastavust läbitavale kivimile; 2) puurkolonni ülestõstmisel avastatud paisuvate või varisevate kivimite tekitatud takistused tuleb kvaliteetset savilahust kasutades mitu korda üle puurida; 3) paisuvate kivimite puurimisel ei ole soovitatav kasutada uhtvedelikuna vett; 4) paisuvate ja varisemisohtlike kivimite puurimisel on otstarbekas kasutada juhttorust suurema läbimõõduga puurinstrumenti ja suurendada pumba tootlikkust savilahusega pesemisel.

Avarii likvideerimine: 1) taastada savilahuse tsirkulatsioon; 2) tõmmata puurkolonni keskmise tugevusega ülespoole ja seejärel kukutada alla, vabastades vintsi piduri (selliselt rammides tõmmata puurkolonni iga korruga veidi ülespoole ja proovida pöörata kuni instrumendi täieliku vabanemiseni); 3) kui puurkolonn ei liigu, kuid savilahus tsirkuleerib, võib karbonaatsete kivimite puhul kasutada soolhappevanni (pärast soolhappega töötlemist jätkata üles-alla rammimist ja hoida töös savilahuse tsirkulatsioon); 4) kui neid võtteid kasutades ei õnnestu puurkolonni ikkagi välja tõmmata, tuleb kolonni lahtikeeramisel kasutada vasakkeermega instrumente.

Instrumentid ja materjalid kiilumise likvideerimiseks: 1) suurema diameetriga lõikeinstrument (rataspuur, puurkroon); 2) vasakkeermega instrumentid (puurvardad, keermelõikurid); 3) tehniline soolhape.

5. Puurvarraste eraldumine (ühenduslukkudest lahtitulek) või purunemine puurimisel

Põhjused: 1) puurvarraste ühenduslukkud on halvasti kinni keeratud; 2) ühenduslukkude keermes on kulumine või vigastatud; 3) puurinstrumendi vasakuuniline pöörlemine; 4) kulumine või vigastatud puurvardad.

Ennetamine: 1) kontrollida puurvardaid ja nende ühenduslukke enne puurkolonni puurauku laskmist; 2) liigselt kulunud puurvardad ja ühenduslukkud tuleb välja vahetada; 3) keelatud on savilahuse väljatungimise kohtade tihendamine (takk, lina, tihendid jm) puurvarraste ühenduslukkudes.

Avarii likvideerimine: 1) mõõta väljatõstetud puurkolonni pikkus ja teha kindlaks puurvarraste eraldumise või purunemise põhjused; 2) varisemiskindlate seintega või mantelkorudega kindlustatud puuraugu puhul lastakse puurauku parempoolse keermega keermelõikur (välis- või sisekeermega), mille abil puurvarraste kolonn koos puurinstrumendiga välja tõstetakse; 3) kui puuraugu seintesse on ujutud tühemikud, tuleb puurvarraste otsas lasta puurauku tinast või tsingist pitsat, et teha kindlaks uppunud puurkolonni ülemise otsa kõrvalekalle puuraugu tsentrist. Seejärel suunata allakukkunud puurkolonni ülemine ots puuraugu tsentrisse parempoolse tsentreerimiskonksuga, haarata uppunud puurvarraste kolonn parempoolse keermelõikuriga ning tõsta puuraugust välja; 5) kui avarii likvideerimine ei õnnestu, tuleb allakukkunud puurvarrastest ja -instrumendist mööda puurida.

Instrumentid ja materjalid eraldunud või purunenud puurvarraste kättesaamiseks:

1) tagavara puurvardad; 2) parempoolse sise- ja väliskeermega keermelõikurid; 3) kõverdunud puurvarras ja püügilehter väliskeermega keermelõikuri jaoks; 4) pehmest metallist (tina, tsink) laup-pitsat; 5) tsentreerimiskonks (parempoolne); 6) teraskiil uue puurinstrumendi mööda juhtimiseks allakukkunud puurvarrastest või -instrumendist; 7) puuraugule vastava läbimõõduga juhttorud pikkusega 6–9 m rataspuuride jaoks või südamikutorud puurkroonidele.

6. Puurvarraste või mantelkorude kukkumine puurauku

Põhjused: 1) puurijate lohakas töö või madal kvalifikatsioon; 2) tööriistade (kinnitus- ja tõstetrossid, seeklid, puurvarraste ja mantelkorude võtmed, klambrid jm) purunemine või kõrge kulumisaste.

Ennetamine: 1) puurijate süstemaatiline väljaõpe õigete töövõtete omandamiseks; 2) puuraugu ümbruse puhastamine mittevajalikest instrumentidest ja jalgealuse pinna libeduse likvideerimine; 3) tööriistade korrasoleku ja kulumisastme süstemaatiline kontrollimine.

Avarii likvideerimine: 1) puurauku kukkunud puurvarraste või mantelitorude ülemise otsa täpse asukoha määramine. Allakukkunud torude asukoha jäljendi saamiseks lastakse puurauku puurvarraste abil laupitsat ja mõõdetakse kukkunud torude ülemise otsa sügavus; 2) pitsati jäljendi järgi määratakse sobiv lahendusviis ja instrumendid allakukkunud torude püüdmiseks; 3) kui manteloru ülemine ots on muljutud, viiakse valtsimiseseade puurvarraste abil manteloru otsani ja töödeldakse muljutud osa ringikujuliseks; 4) kui allakukkunud torude väljatõmbamine ebaõnnestub, kasutatakse sügavate puuraukude puhul torude freesimist või neist möödapuurimist teraskiilu abil, madalate puuraukude juures on otstarbekas alustada uue, asenduspuuraugu, rajamist.

Instrumendid puurauku kukkunud puurvarraste ja mantelitorude kättesaamiseks: 1) laupitsat; 2) parempoolse keermega keermelõikurid (välis- ja sisekeermega) puurvarraste ja mantelitorude väljatõstmiseks; 3) parempoolsed tsentreerimiskonksud; 4) torude valtsimiseseadmed, freesid; 5) teraskiil puurinstrumendi torudest möödajuhtimiseks; 6) tsement.

7. Alumiste mantelitorude keermest lahtikeerdumine ja eraldumine

Põhjused: 1) alumiste mantelitorude ebaõige ühendamise ja paigalduse; 2) pinnase ja kivimite ära uhtumine uhtevedelikuga mantelitorude kolonni alumise otsa alt; 3) liiga suure diameetriga puurinstrumendi (rataspuuri, puurkrooni) juhttoru kasutamine lõheliste kivimite puurimisel (juhttoru või südamiktoru kinnikiilumine alumistesse mantelitorudesse).

Ennetamine: 1) mantelitorude kolonni ei tohi jätta rippuma ülemise kinnitusklambri külge, kui alumise manteloru ots on kivimisse surumata ja torud omavahel korralikult ühendamata; 2) manteloru tagune osa tuleb korralikult tsementeerida; 3) enne mantelitorude ühendamist määrada keermeid kuumutatud kuuse-, männi- või seedrivaiguga; 4) pärast keermetega ühendamist tugevdada alumiste mantelitorude ühenduskohad keevise; 5) alumiste mantelitorude läbimisel kasutada väiksema läbimõõduga juhttoru rataspuurile või südamiktoru.

Avarii likvideerimine: 1) paigaldada allakukkunud mantelitorude ülemine keermestatud ots puuraugu tsentrisse ja ühendada see ülemiste mantelitorudega (õnnestub harva) või kasutada püüdmiseks väliskeer-

mega keermelõikurit; 2) kui allakukkunud mantelitorude ülemine ots asub enam-vähem puuraugu tsentris, aga torusid välja tõmmata ei õnnestu, paigaldada allakukkunud torudesse peenemad mantelitorud, kasutades mantelitorude alumisse otsa kinnitatud suunavat puidust koonust; 3) eelnimetatud katsete ebaõnnestumisel tõsta mantelitorude kolonni ülemine lahtine osa teraskiilu abil puuraugust välja ja puurida manteltorust mööda (kasutatakse suurte sügavuste puhul).

Instrumendid mantelitorude püüdmiseks: 1) laupitsat; 2) koonusekujuline puidust kork; 3) tsentreerimiskonks; 4) väiksema diameetriga mantelitorud; 5) parempoolse väliskeermega keermelõikur või torupüüdja (hüdrauliline, mehaaniline); 6) teraskiil; 7) tsement.

8. Mantelitorude lahtikeerdumine või ühenduskohtade purunemine torude kolonni puurauku laskmisel üles-alla rammimist kasutades

Põhjused: 1) puuraugu kõrvalekaldumine (köverdumine) vertikaalsest suunast ebaõige puurimisrežiimi valikul üleminekul pehmematest kivimitest kõvadesse; 2) puuraugu töötlemine mittekvaliteetse savilahusega enne mantelitorude kolonni sisse laskmist; 3) mantelitorude keermestatud ühenduskohtade halb kvaliteet (keermed loksuvad, ei ühendu korralikult).

Ennetamine: 1) üleminekul pehmematelt kivimikihtidelt tugevatele või kaldu asetsevatele kihtidele peab surve löikeinstrumendile olema nõrk ja instrumendi tungimist tugevatesse kihtidesse tuleb alguses tagasi hoida; 2) puuraugu vertikaalsuse süstemaatiline mõõtmine iga 50–60 m järel ja vertikaalsuse korrigeerimine; 3) enne mantelkolonni puurauku laskmist töödelda puuraugu seinu löikeinstrumendiga, millel on pikk (6–9 m) juhttoru või südamiktoru; 4) kui mantelitorude kolonni allalaskmisel puurauku muutub vajumine raskemaks või tekib takistus, pöörata kolonni toruvõtmetega käsitsi parempoolse suunaga; 5) teiste võimaluste puudumisel võib mantelitorude kolonni ettevaatlikult üles-alla rammida, arvestades torude ühenduskohtade, kinnitusklambrite ja tõstetrosside vastupidavusega.

Avarii likvideerimine (mantelitorude kättesaamine): 1) puuraugust tõstetakse välja need mantelitorud, mis ei ole alla kukkunud, ja mõõdetakse nende pikkus;

2) laup-pitsatiga määratakse allakukkunud mantelto-
rude ülemise otsa asukoht puuraugu tsentri suhtes;
3) puurvarraste abil lastakse allakukkunud torudeni
parempoolse väliskeermega ja vajaliku läbimõõduga
keermelõikur või torupüüdja ja tõstetakse mantel-
torude kolonn tervikuna või osade kaupa puur-
august välja; 4) kui allakukkunud mantelto-
rude ülemine ots on vigastatud, määratakse koonusekujulise
pitsatiga vigastuse asukoht ja olemus ning vigastus
likvideeritakse valtsimisseadme või freesiga; 5) kui
torude ülemine ots on purunenud ja seda ei ole või-
malik taastada, tõmmatakse torud välja hüdraulilise
või mehaanilise torupüüdjaga; 6) läbi allakukkunud
torude paigaldatakse puurauku uus väiksema läbi-
mõõduga mantelto-
rude kolonn.

**Instrumendid puurauku jäänud mantelto-
rude välja-
tõstmiseks:** 1) laup-pitsat; 2) koonusekujuline pitsat;
3) toru läbimõõdule vastav parempoolse väliskeer-
mega keermelõikur; 4) hüdrauliline või mehaaniline
torupüüdja; 5) väiksema diameetriga mantelto-
rude koonusekujuline puidust kork.

9. Puurinstrumendi (rataspuuri) eraldumine või purunemine puurimisel

Põhjused: 1) lubatust suurem rõhk puurinstrumendile;
2) puurimine katkise või kulunud puurinstrumendiga;
3) puurinstrumendi vigastamine puurkolonni ettevaa-
tamatul allalaskmisel puurauku.

Ennetamine: 1) rõhk puurinstrumendile ja instru-
mendi pöörlemiskiirus peavad olema kooskõlas puur-
itava kivimi omadustega ja puuragregaadi võimalus-
tega; 2) kuni 50% ulatuses kulunud puurinstrument
tuleb uue vastu välja vahetada; 3) enne puurinstru-
mendi kasutuselevõtmist tuleb kontrollida selle kor-
rasolekut ja kulumisastet; 4) puurkolonni allalaskmi-
sel tuleb jälgida kolonni allavajumise kiirust, pöörata
tähelepanu takistustele puuraugu põhja lähedal.

**Avarii likvideerimine (puurinstrumendi kättesaa-
mine puuraugust):** 1) puhastada puurauk kvaliteetse
savilahusega. Lasta puurauku ülekanne, millel on
rataspuuri ühenduskeere (või parempoolse sise- või
väliskeermega keermelõikur). Nende abil tõsta eral-
dunud rataspuur puuraugust välja; 2) kui püüdmis-
katsed ebaõnnestuvad, võib olenevalt eraldunud
instrumendi materjalist ja konstruktsioonist kasu-

tada rataspuuri freesimist, torpedeerimist või puur-
instrumendist möödapuurimist teraskiilu kasutades;
3) rataspuuri väikesed osad tõstetakse puuraugust
välja alt kokku surutava torukujulise püüdja (ämb-
liku), südamiktoru või magnetfreesiga.

**Instrumendid puurauku kukkunud rataspuuri ja
selle tükide püüdmiseks:** 1) rataspuuri keermega
ülekanne; 2) parempoolse välis- või sisekeermega
keermelõikur; 3) laupfrees, 4) ämblik (vastava läbi-
mõõduga torukujuline püüdja); 5) puurkrooniga
südamiktoru; 6) magnetfrees.

10. Puurinstrumendi kinnipõlemine puurimisel

Põhjused: 1) puuragregaadi pumba liiga väike toot-
likkus, mis ei vasta vajalikule puurimisrežiimile;
2) suure rõhu ja suure pöörlemiskiirusega puurimine
kulunud puurinstrumendiga (rataspuur, labapuur,
puurkroon).

Ennetamine: 1) kontrollida süstemaatiliselt puur-
agregaadi pumba, voolikute, pöörli ja puurvarraste
korrasolekut, et ei tekiks ühenduskohtade ootamatut
purunemist savilahuse surve tagajärjel; 2) kontrol-
lida puurvarraste ühenduslukkude kinnitust puur-
instrumendi laskmisel puurauku; 3) jälgida agregaa-
di pumba tegelikku tootlikkust puurimisrežiimi (surve
puurinstrumendile, pöörete arv jm) valikul.

Avarii likvideerimine: 1) madalates puuraukudes saab
puurkolonni vabastada järskude tõmmetega üles,
pöörates samal ajal puurinstrumenti paremale (puur-
imise suunas); 2) kui puurinstrumendi vabastamine
ei õnnestu, kasutada puurvarraste lahtikeeramiseks
vasakkeermega instrumente (puurvardad, väliskeer-
mega keermelõikurid); 3) südamiktoruga puurimisel
on avarii likvideerimise instrumendiks vasaku välis-
keermega keermelõikur, et kätte saada südamiktoru
peal asuv ülekanne. Seejärel võib läbi väiksema
diameetriga südamiktoru edasi puurida; 4) äärmisel
juhul tuleb kinnijäänud toru likvideerida laupfreesiga
freesides.

Instrumendid kinnipõlenud puuri väljatõstmiseks:
1) vasakkeermega instrumendid (puurvardad, välis-
ja sisekeermega keermelõikur); 2) väiksema diameet-
riga rataspuur koos juhttoruga; 3) puurkroon koos
südamiktoruga; 4) frees.

11. Väikeste metallesemete ja detailide (haamer, rataspuuri osad, toruvõtmete plaadid jne) kukkumine puurauku

Põhjused: 1) puurijate hooletus või madal kvalifikatsioon; 2) töötamine katkiste või kulunud tööriistadega (haamid, võtmed, meislid jm); 3) puuragregaadi või -instrumentide remont puuraugu lahtise (sulgemata) suudme juures.

Ennetamine: 1) lubada puuragregaadiga tööle ainult kvalifitseeritud puurijad; 2) puurimise seiskumisel peab puuraugu suue olema suletud; 3) õige töökoha valik puuraugu suudme suhtes abioperatsioonide ajal; 4) tööriistade korrashoid (mitte kasutada kulunud ja katkiseid tööriistu).

Avarii likvideerimine: 1) puurkrooni ja südamiktoruga puurimisel tõstetakse väike kõrvaline metallese võetava südamikuga (prooviga) üles; 2) suure diameetriga

puuraugu puhul tuleb puuraugu põhja töödelda koonusekujulise labapuuriga, et metall kukuks kivimisse tekkinud koonuse tippu ja seejärel võtta ese püüdjaga (ämblik) välja.

Instrumentid väikeste metallesemete väljatõstmiseks puuraugust: 1) koonusekujuline labapuur; 2) väikeste esemete püüdja (ämblik); 3) südamiktoru koos puurkrooniga; 4) magnetfrees.

12. Trossi kukkumine puurauku

Põhjused: 1) puurijate madal kvalifikatsioon; 2) trossi purunemine kulumisel või liigse raskuse tõstmisel.

Ennetamine: 1) puurijate õigeaegne instrueerimine; 2) trossi kulumise perioodiline kontrollimine.

Instrumentid trossi väljatõstmiseks puuraugust: 1) trossipüüdja (kaks vedrukujuliseks keeratud varrast); 2) ühe- või kaheharuline konks.

AVARIIDE LIKVIDEERIMISE INSTRUMENDID KEERDPUURIMISEL

Hüdrauliline manteltorude püüdja. Kasutatakse allakukkunud või torukoloni otsast rebenenud mantelitorude püüdmiseks puuraugust. Püüdja paigaldatakse väljatõmmatavatesse mantelitorudesse puurvarraste abil. Hüdraulilise survevedelikuna kasutatakse savilahust või vett, mis surutakse agregaaadi pumbaga püüdjasse. Vedeliku surve liiguvad haaratsid mööda püüdja kiilukujulist korpust allapoole ja surutakse tugevalt vastu väljatõmmatava manteloru siseseina. Seejärel tõmmatakse puurvardad koos püüdjaga ülespoole. Mida suurem on väljatõmmatavate torude kaal ja mida tugevamalt tõmmata, seda rohkem surutakse püüdja haaratsid mantelorusse, sest püüdja kiilukujuline korpus surub haaratsid laiali. Hüdrosurve lõpetatakse pärast manteloru korralikku haaramist. Püüdja vabastamiseks tuleb puurvardad koos püüdjaga järsult allapoole suruda.

Väliskeermega keermelõikur puurvarrastele. Kasutatakse allakukkunud või ringikujuliselt purunenud puurvarraste ja lõikeinstrumentide püüdmiseks puuraugust, kui allakukkunud puurvarraste ülemine ava on vaba.

Kõik keermelõikurid (välis- ja sisekeermega lõikurid puurvarrastele või manteltorudele) jagunevad kasutusotstarbe järgi: 1) parempoolse väliskeermega,

uhtevedeliku kanaliga või kanalita; 2) vasakpoolse väliskeermega, uhtevedeliku kanaliga või kanalita.

Väliskeermega keermelõikureid koos vasakpoolsete puurvarrastega kasutatakse kinnikiilunud lõikeinstrumenti peal asuvate parempoolse keermega puurvarraste lahtikeeramiseks ja väljatõstmiseks.

Juhtoru ja väliskeermega keermelõikur puurvarrastele. Sama, mis parem- või vasakpoolse väliskeermega keermelõikur, millele on lisatud väljalõikega juhtoru, mis soodustab allakukkunud puurvarda ülemise otsa ülesleidmist puuraugus.

Väliskeermega keermelõikur manteltorudele. Kasutatakse allakukkunud või ringikujuliselt purunenud manteltorude ja südamiktorude püüdmiseks puuraugust. Manteltorude keermelõikurit kasutatakse paremkeermega ühendatud manteltorude lahtikeeramiseks ja väljatõstmiseks.

Sisekeermega keermelõikur puurvarrastele ehk kell. Kasutatakse allakukkunud või purunenud puurvarraste püüdmiseks puuraugust, juhul kui allakukkunud puurvarraste ülemine ava on ummistunud puurimis-settega või purunenud metalliga. Sisekeermega keermelõikureid kasutatakse parempoolse keermega ühendatud puurvarraste lahtikeeramiseks ja väljatõstmiseks.

Hüdrauliline torulõikaja. Kasutatakse puurauku kinni jäänud mantelitorude lõikamiseks, mis võimaldaks ülemised mantelitorud välja tõmmata. Hüdraulilise vedelikuna kasutatakse savilahust või vett. Puurvarrastega ühendatud kiilukujuline varras surub lõiketerad laiali ja torulõikajat päripäeva pöörates toimub mantelitoru lõikamine. Kui toru on läbi lõigatud, lõpetatakse vedeliku surve, eemaldatakse torulõikaja puuraugust ja tõmmatakse ülemised lahtilõigatud mantelitorud puuraugust välja.

Tsentreeriv konks. Kasutatakse allakukkunud puurvarraste või mantelitorude ülemise otsa seadmiseks puuraugu tsentrisse. Konks paigaldatakse puurvarraste abil tsentreeritava toru ülemisest otsast allapoole. Konksu päripäeva pöörates tõstetakse seda ülespoole kuni tsentreeritava toru ülemise otsani. Tegevust korraldatakse kuni tsentreeritava toru ots jääb puuraugu seinest eemale.

Väikeste metallist osade püüdja ehk **ämblik.** Püüdja pikkus on 1500–2500 mm ja seda kasutatakse puuraugus eraldunud või puurauku kukkunud väikeste metallist detailide ja instrumentide (purunenud rataspuuride tükid, haamid, toruvõtmete plaadid jm) püüdmiseks. Püüdjat võib valmistada ka õhukese seinaga torust, mille ülemises otsas on keere puurvarraste ülekande jaoks ja alumisse otsa on lõigatud 120–200 mm pikkused kiilukujulised hambad. Enne püüdja puurauku laskmist tuleks kiilukujulised hambad kergelt sissepoole koolutada. Metalleseme püüdmiseks surutakse püüdjale puurvarrastega ja pööratakse seda päripäeva.

Tsentreeriv konks koos parempoolse väliskeermega keermelõikuriga. Kasutatakse juhul, kui väljapüütava puurvarda ülemine ots on seest tühi. Allakukkunud puurvarraste ülemine ots tsentreeritakse konksuga ja keermelõikuriga tõstetakse see puuraugust välja. Keermelõikuri juhtimiseks puurvarda ülemise otsa avasse on püüdjale lisatud juhttoru.

Südamiktoru koos väliskeermega keermelõikuriga. Kasutatakse allakukkunud puurvarraste väljatõstmiseks puuraugust. Allakukkunud puurvarraste juhttoruks kasutatakse siin südamiktoru.

Hüdrauliline laiendaja. Kasutatakse puuraugu laiendamiseks. Paigaldatakse rataspuuri juhttorust või südamiktorust ülespoole. Laiendajat on otstarbekas kasutada: 1) puuraugu ettevalmistamisel manteldamiseks

(parandab tsementeerimise kvaliteeti); 2) puuraugu laiendamisel kruusafiltri paigaldamiseks; 3) mantelitoru siseseinte puhastamiseks; 4) paisunud savi- ja merglmügarike eemaldamiseks puuraugu seintelt; 5) puuraugu seinte kohandamiseks vertikaalsest suunast kõrvale kaldunud puurkolonnile; 6) puuraugu seintesse tekkinud soonte eemaldamiseks. Laiendajad on erineva konstruktsiooniga sõltuvalt nende kasutamise otstarbest ja valmistajast.

Trossi püüdmise seade. Kasutatakse trossi püüdmiseks puuraugust puurvarraste abil, pöörates seadet päripäeva ja liigutades üles-alla. Korralikul haakumisel tõmmatakse püüdja koos püütava trossiga üles. Püüdja võib valmistada kahest 10–12 mm jämedusest terasvardast, mis on keevitatud puurvarda luku külge. Püüdjat kasutatakse ka allakukkunud toru (mantelitoru, südamiktoru) püüdmisel, kui toru ei ole puuraugu põhja kinnikiilunud.

Löögipakk. Kasutatakse puurkolonni lahtilöömiseks, kui lõikeinstrument või juhttoru on kiilunud puuraugu seintesse näiteks paisuvate savide või puurimisette tõttu. Valmistatakse malmist või terasest, paku kaal on 50–100 kg. Löögipaku keskel olevast avast mahuvad läbi puurvardad koos lukkudega. Paku ülemiste servade külge on keevitatud rõngad, mille külge kinnitatakse riputusketid.

Kui pakk on valmistatud malmist, kinnitatakse paku alumise ja ülemise otsa külge 50 mm paksused teraselibid, et vähendada paku purunemise võimalust löökide tagajärjel.

Frees torude jaoks. Kasutatakse puurauku kukkunud või puuraugus olevate uputatud mantelitorude muljutud ülemiste otste töötlemisel ringikujuliseks. Frees lastakse aeglasel pöörlemisel puurvarrastega freesitava seadme mantelorusse. Freesi teravate plaatidega küljed eemaldavad freesitavate torude sissepoole muljutud osad.

Löögikork. Kasutatakse puurvarraste ülemise otsa kaitseks puurkolonni alla- või ülespoole löömisel löögipakuga, kui puurinstrument on kolonni ülestõstmisel kinnikiilunud puuraugu seintesse. Kork on terasest. Korgi alumises otsas olev keere ühendatakse puurvarda ülemise luku keermega.

Pitsat. Kasutatakse allakukkunud puurvarraste, mantelitorude ja instrumentide asukoha määramiseks puuraugus. Pitsat lastakse puurauku puurvarraste abil.

Vedruodega püüdja (ingl *overshot*). Kasutatakse allakukkunud puurvarraste püüdmiseks puuraugust. Püüdja painutatud vedruterasest plaatide taha haakuvad puurvarraste lukud, muhvid või võtmete paigutuskohad.

Vabastatavate vedruodega püüdja (ingl *slips*). Univeraalset, kergelt vabastatavatest hambulistest plaatidest püüdjat kasutatakse allakukkunud puurvarraste püüdmiseks puuraugust. Läbi püüdja saab suunata püütava instrumendi pesemist savilahusega. Püüdja vabastamiseks püütavast instrumendist pööratakse püüdjat puurvarraste abil päripäeva (haaravad plaadid on vasakpoolse keermega). Avari lihvideerimisel suure läbimõõduga mantelkorudes kasutatakse püüdja alumise otsa külge kinnitatud lehitrit, mis suunab püütava puurvarda ülemise otsa püüdja plaatide vahele.

Lauprees. Kasutatakse puuraugu põhja jäänud või allakukkunud väikeste esemete (rataspuuride osad, haamid jm) purustamiseks, kui teised püüdmiskatsed on jäänud tulemuseta. Purustatud tükid tõstetakse puuraugu põhjast välja magnetfreesiga või kivimisse südamiktoruga puurides (ca 0,5 m). Väljatõstmisel jäävad metallitükid südamiktorusse.

Rullidega torulõikamiseade. Kasutatakse avariide lihvideerimisel või mantelkorude lõikamiseks puuraugus torude kokkuhoiu eesmärgil. Torulõikaja lastakse puuraugus vajalikku sügavusse lõigatavatest mantelkorudest peenemate torudega. Torud kinnita-

takse puuraugu suudmes toruklambriga. Toruklambri ja maapinna vahel paikneb kaks terasplaati, mille vahele paigaldatakse tugilaager. Samal ajal ühendatakse torude sees olevad puurvardad lõikaja ülemise vardaga, mis omakorda on ühendatud lõikaja sees oleva koonusega. Puurvarraste ülemine ots ühendatakse tõmmiskeermega, mille alla paigaldatakse terasplaat. Terasplaat toetub lõikajaga ühendatud torude ülemisele otsale. Tõmmiskeermega mutri alla paigaldatakse tugilaager. Pingutades tõmmiskeermega mutrit, surutakse lõikajas paikneva koonuse abil lõikerullid tugevalt vastu lõigatava toru sisseina. Samaaegselt pööratakse lõikajaga ühendatud toru päripäeva. Selle tegevusega toimubki toru lõikamine. Pärast toru läbilõikamist vabastatakse tõmmiskeermega mutter (koonus lõikajas vajub alla ja vedrude surve lõikerullid peituvad lõikajasse). Seejärel eemaldatakse lõikaja puuraugust ja läbilõigatud toru tõmmatakse puuraugust välja.

Ühe teraga läbilõikamiseade. Erineb rullidega torude lõikamise seadmest selle poolest, et lõigatakse ühe teraga, kusjuures kaks rulli on toetusrullid. Lõiketera ja toetusrullide väljasurumine toimub lõikerullidega seadmega analoogselt eelkirjeldatuga, kuid rulle väljasuruva koonuse asemel kasutatakse tõukehoobasid.

Torulõikajate mõõtmed on koondatud käsiraamatutes olevatesse tabelitesse.

SOOLHAPPEVANNI KASUTAMINE PUURINSTRUMENDI KINNIKIILUMISEL PUURAUUGUS

Soolhappevanne kasutatakse puurinstrumendi kinnikiilumisel karbonaatsete kivimite varingute või lahti-puuritud kivimipuru sette alla. Puuraugus peab olema tagatud hea uhtvedeliku tsirkulatsioon. Toimingu läbiviimisel kasutatakse tehnilist soolhapet, mis on kollane läbipaistev ilma sademeta vedelik vesinik-kloriidi ehk kloorvesiniku (HCl) sisaldusega mitte vähem kui 27,5%. Soolhappe söövitava toime tõttu nahale, limaskestadele ja riietele peab selle kasutamisel rakendama ohutusabinõusid – kummikindaid, kummiriideid ja happekindlat gaasimaski.

Tegevused soolhappevanni kasutamiseks:

1) arvutatakse puuraugu töötlemiseks vajalik tehnilise soolhappe kogus, lähtudes puuraugu põhja tehnilisest

seisundist, geoloogilise läbilõike iseärasusest ja puurinstrumendi kinnikiilumise sügavusest. Soolhappe kogust ei tohi üle doseerida, sest kauaaegne kokkupuude soolhappega võib põhjustada puurvarraste lukkude ja ülekannete keermete kahjustumist;

2) valmistatakse vajaliku kontsentratsiooniga soolhappe lahus, mis pöörli ülemise otsa kaudu valatakse puuraugus olevatesse puurvarrastesse. Pärast soolhappe sisse valamist suletakse kiiresti pöörli ava ja alustatakse uhtvedeliku pumpamist läbi puurvarraste puuraugu põhja suunas, surudes soolhappe kinnikiilunud puurinstrumendi suunas. Uhtvedelikku tuleb pumbata sellise arvestusega, et surutav soolhape ümbritseks puuraugus kogu puurimist takistava piir-

konda ja sellest ca 10 m kõrgemal oleva puuraugu osa;

3) puuragregaadi vintsiga ja talisüsteemiga tõmmatakse puurkolonn võimalikult tugevasse pingesse ja jäetakse umbes tunniks ajaks pinge all seisma;

4) seejärel pumbatakse puurauku uhtvedelikku, lastes pumbal töötada ja pöörates pumba rihmaratast 3–4 pööret. Seejärel lastakse pumbal mõni minut

seista ning pumbatakse uuesti uhtvedelikku, pöörates pumba 3–4 pööret. Tegevust korratakse 6–8 korda. Seejärel pumbatakse kogu puurauk uhtvedelikku täis ning alustatakse kinnikiilunud puurinstrumenti pöörämist ja üles-alla rammimist;

5) pärast puurinstrumenti väljatõstmist puhastatakse puurauk vana uhtvedeliku jääkidest, vahetatakse kasutatud vedelik uue vastu ja jätkatakse puurimist.

UHTEVEDELIKU NEELDUMIST TAKISTAVATEST MEETODITEST LÕHELISTES KIVIMITES

Puurvarraste kaudu pumbatakse puuritavasse auku uhtvedelik, millel on suur viskoossus, väike erikaal, väike vedeliku imendumine ja kõrgenenud tiksotroopia (omadus pakseneda). Seejärel viiakse südamiktoruga kivimi lõhedesse pastataoline mass.

Südamiktoru (pikkus 4–6 m), mis on seest määritud vedela õli või diiselmootoriga, täidetakse kiiresti kivistuva tamponeerimise seguga või toru sisemisest läbimõõdust väiksemate, savilahusest (savi 30–35%) ja tsemendist (50%) valmistatud pasta pallidega. Pasta surutakse torust kivimi lõhedesse savilahuse abil, kus ta kivistub.

Südamiktoru alumine ots, kuhu on keeratud puurkroon, suletakse umbes 10 cm ulatuses tiheda, korralikult kinni taotud saviga. Südamiktoru ülemises otsas pastapallide peal paikneb kummist või mõnest muust materjalist tihend, mis väljasurumisel eraldab pallid uhtvedelikust.

Südamiktoru ülemise otsa külge on keeratud ülekanne, mis ühendab toru puurvarrastega. Vastavalt pasta väljasurumise mahule tõstetakse puurkolonni vähehaaval ülespoole. Kui tamponeerimise segu on välja surutud, langeb rõhk järsult. Pärast tsemendi kivistumist puuritakse tamponeeritud koht uuesti läbi ja jätkatakse puurimist tavalisel viisil. Kui tugev neeldumine lõhedesse jätkub, korratakse tamponeerimist.

PUURAUGU KÕRVALEKALDUMINE VERTIKAALSEST SUUNAST

Puuraugu kõrvalekaldumine vertikaalsest suunast võib tuleneda ebatäpsest geoloogilise ehituse tundmisest kohtades, kus puuritavad kivimite kihid on erineva tugevusega või paiknevad oodatust erinevas asendis (püsti või kaldu). Selline kihtide lasuvus võib kallutada puurinstrumenti vertikaalset kõrvale.

Tehnilised põhjused on tihti seotud võimaluse puudumisega puuraugu projektijärgse sügavuse saavutamiseks (lõikeinstrumentide ja puurvarraste purunemine puurimisrežiimi rikkumisel, agregaaadi ebaõige paigaldus, töötamine kõverate puurvarraste ja nelikandiga, puurvarraste läbimõõt ei vasta puuritava augu läbimõõdule, konduktortoru ebaõige paigaldus puurauku, ebaõige üleminek väiksema diameetriga puuraugule, puuragregaadi tehnilised näitajad ei võimalda saavutada puuraugu projektijärgset sügavust).

Kõrvalekalde ennetamiseks tuleb: 1) likvideerida puuragregaadi vibratsioon, mis viib agregaaadi välja esialgsest õigest paigaldusest. Süstemaatiliselt tuleb jälgida puuragregaadi vertikaalsust ja vundamendil või autoraamil paikneva puuragregaadi toetusjalgade vastupidavust; 2) õigesti tsentreerida agregaaadi mast ja rootor (eriti vajab jälgimist liikuvatel puuragregaatidel); 3) alustada puurimist ettevaatlikult ja hoida surve lõikeinstrumentidele madal; 4) enne juhttoru tsemenditeerimist veenduda selle vertikaalsuses; 5) kasutada jäiksid ja õige läbimõõduga raskusvardaid; 6) jälgida, et töövarras (nelikant), puurvardad ja nende ühendused oleksid sirged; 7) jälgida puurimisrežiimi (eriti survet puurinstrumentidele) ja korrigeerida seda vastavalt kivimi muutustele; 8) mitte kasutada liigselt kulumud ja defektidega lõikeinstrumente.

Liigse kõrvalekalde likvideerimiseks tuleb välja selgitada kõrvalekaldumise koht ja teha sinna tsemendist sild. Pärast tsemendi kivistumist puuritakse uue suunaga puurauk sillast läbi. Läbipuurimisel kasutatakse puurkrooni või rataspuuri juhttoru pikkusega 12–15 m. Juhttoru või südamiktoru peab olema jäik, surve puurinstrumendile nõrk ja pöörlemiskiirus suur.

Puuraugu kõrvalekallet vertikaalist mõõdetakse spetsiaalse instrumendiga, mida nimetatakse inklinomeetriks. Selle kasutamiseks on vajalikud puuraugu karotaaži seadmed. Sügavamate ja keerulisemate puuraukude puhul kasutatakse kõrvalekalde mõõtmiseks spetsiaalseid elektroonilisi sonde, mis paigaldatakse puurauku puurvarrastes oleva ava kaudu.

PUURIMISE SUUNA MUUTMINE PUURAUUGUS

Puurimise suuna muutmine puuraugus võib osutada vajalikuks näiteks puuraugu põhja jäänud instrumendist mööda puurimiseks. Selleks kasutatakse mööda juhtivat teraskiilu pikkusega 2–3 m ja kaldenurgaga 2–3 kraadi. **Puurimise suuna muutmiseks:** 1) valatakse puuraugu põhjast umbes 10–15 m kõrgemale tsemendist kork; 2) paigaldatakse (pärast tsemendi kivistumist) väljaarvestatud sügavusele teraskiil, mis vajaduse korral lastakse puurauku koos mantel-torudega; 3) alustatakse möödapuurimist puuraugu põhja jäänud esemest löikeinstrumendiga, millel on lühike juhttoru. Kiil peab puurimise ajal säilitama oma asendi. Kiilust möödapuurimine peab toimuma ettevaatlikult (vähese survega puurinstrumendile); 4) puurinstrument tõstetakse välja ja kontrollitakse puuraugu vertikaalsust, kui on puuritud 10–15 m. Kui vertikaalsus on õige, jätkatakse puurimist puurimiseks ettenähtud tavalise instrumendiga. Kui töö ebaõnnestus, suletakse lahtipuuritud intervall tsemendilahusega ja pärast tsemendi kivistumist puuritakse uuesti lahti.

Kirjandus

Belorussov, V. O., Skrynnik, V. I. 1973. Sputnik burovika [Спутник буровика]. Izdatel'stvo Tehnika, Kiiev, 235 s.

Dubrovski, V. V., Kertčenski, M. M., Lebedev, K. P., Plohov, V. I. 1960. Spravočnik po bureniju skvažin na vodu [Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду]. Gostoptehizdat, Moskva, 484 s.

*Johansen, K. V. 1986. Sputnik burovika [Спутник буровика]. Nedra, Moskva, 294 s.

Kazmin, V. M. 1958. Spravočnik burovogo мастера структурного бурения [Справочник бурового мастера структурного бурения]. Gostoptehizdat, Moskva, 448 s.

Oborudovanie dlja neftegazovoi promyšlennosti INKOS [Оборудование для нефтьгазовой промышленности "Инкос"]. Tehniline kirjeldus ja eksploatatsiooni juhend.

*Овчинников В. П., Грачев С. И., Фролов А. А. (ред.) 2006. Справочник бурового мастера. Учебно-практическое пособие в 2-х томах. Институт нефти «Инфра-Инженерия», 608 s.

Tšeban, E. 1975. Eesti NSV põhjavesi ja selle kasutamine. Valgus, Tallinn, 167 lk.

*Ustanovka razvedočnogo burenija URB-2,5A [Puuragregaat URB.2,5A uuringutöödeks]: <http://www.urb2-5a.ru/>

*leitav internetist

7. PUURIMISSEGUD

Puurimissegudest sõltub tihti puurimise edukus – õige puurimisegu kasutamine võib oluliselt kiirendada puurimist ja vähendada kulusid. Nende omadused on erinevad ja ei ole olemas puurimisegu, millel oleks kõik vajalikud parameetrid ideaalsed. Samas on võimalik valmistada segu, mille olulised omadused on vastavad konkreetsetele geoloogilistele tingimustele ja puurimismeetodile. Sellist segu, mille valmistamiseks kasutatakse laboritehnikat ja mille komponente valitakse analüüside, mitte oletuste põhjal, võib nimetada inseneeritud seguks. Kokkuvõttes võime öelda, et iga puurimistöö on ainulaadne ja seetõttu vajab see ka ainulaadset puurimisegu.

Selleks, et puurimissegudest aru saada, on vaja mõista nende olemust. Enamik inimesi kujutab puurimisegu ette vedelana (lahusena), mis ei ole enamasti väär, aga me peame meeles pidama, et puurimisegu on süsteem, milles esinevad erinevad ained. Puurimisegu võib sisaldada gaase, vedelikke või tahkeid osakesi suspendeeritud olekus. Puurimisvedelikud võime jagada gaasi-, vee- ja õlipõhisteks. Ükski nimetatud baasainetest ei ole aga üksikult kuigi hea puurimisegu.

Gaasipõhiseks puurimisseguks võib olla õhk (kasutatakse suruõhukompressoreid), õhk veetolmu sisaldusega ning vaht, mis on moodustatud veest ja pindaktiivsetest ainetest (kui süsteemi lisada ka polümeere, võib valmistada tiheda vahu, mis meenutab habemeamajamise vahtu).

Veepõhised puurimissegud võivad sisaldada lahustunud soolasiid ja pindaktiivseid aineid, bentoniidi või orgaaniliste polümeeride kolloidlahuseid ning õliemulsiooni ja erinevate mittelahustuvate tahkete osakeste suspensiooni.

Õlipõhised puurimissegud ei sisalda vett savide paisumise ja lagunemise vältimiseks. Suurepärased määrdeomadused võimaldavad väiksemaid hõlbeid näiteks puursüdamik puurimisel, kuid taolised süsteemid on väga kulukad, aeganõudvad ja keskkonda saastavad.

Hea puurimisegu valmistamiseks on vaja kõigepealt teada puurimisegu kasutamise eesmärki puurtöödel, kus puurimisegu kõige olulisem otstarve on puurhiiva (puurimisel purustatud setete ja kivimite osad)

transport. Kuid on ka puurimismeetodeid, kus puurhiiva transport on kõige vähem oluline. Näiteks tigu-puurimisel tuuakse puuritav materjal maapõuest välja mehaaniliselt ja ilma mistahes puurimisvedelikuta, aga ka seal kasutatakse puurimisegu, mille peamine ülesanne on tööriista määrimine libisemise tagamiseks ja kulumise vähendamiseks.

Õige puurimisegu valmistamiseks peab olema tuttav puurimisegu kõikide funktsioonidega. Puurimisegu peab:

- 1) puhastama puurotsiku puurimisel tekkivatest purustatud setete ja kivimi osakestest, mille paakumine puurotsiku ümber vähendab läbimiskiirust ja suurendab puurotsiku kulumist;
- 2) jahutama puurotsikut;
- 3) transportima puurhiiva maapinnale (efektiivse transpordi tagab puurimisegu tihedus, kiirus ja reoloogia, s.t voolavuse näitajad);
- 4) tsirkulatsiooni katkemisel moodustama suspensiooni;
- 5) soodustama puurhiiva väljasettimist, kui puurimisegu jõuab maapinnale (väljasettimise kiirust saab reguleerida puurimisegu geeli tugevusega);
- 6) omama määrdeomadusi puurotsikute ja varraste määrimiseks;
- 7) stabiliseerima puuraugu seinu, s.h takistama savide paisumist eraldades neid puurimissegus olevast veest;
- 8) ühtlustama rõhkusiid puuraugus (segu tihedus aitab tagada suuremat vasturõhku);
- 9) tekitama üleslükkejõu, toetades sellega vardaid ja puurpead;
- 10) tagama parima informatsiooni puuritavast pinnast (puurimisseguga maapinnale tõusva puurmaterjali põhjal on lihtne teha järeldusi puuritava pinnase ja kivimite kohta, et vajadusel korrigeerida puurimisegu koostist või vahetada puurotsikut).

Alljärgnevalt tutvustame veepõhiseid segusiid ja nende omadusi: viskoossust, tihedust, filtrikooriku kvaliteeti, tahkete osade sisaldust ja vee kvaliteeti.

Puurimisegu viskoossus näitab meile tegelikult voolamise takistust – mida viskoossem ehk paksem on

segu, seda halvemini ta voolab ja seda rohkem jõudu kulub puurimisega liigutamiseks puurvarrastes ja -augus. Viskoossuse valikul tuleb arvestada puurimisega tihedust (erikaalu), puuraugu läbimõõtu, pumba tootlikkust, puurimiskiirust, rõhku ja puuraugu seisukorda. Näiteks liivasel pinnasel oleks mõistlik kasutada vedelamat segu, et tagada puuraugus väiksem rõhk ja kiirem vool ning sellega suurendada läbimiskiirust. Seevastu rohkete lõhedega paekivis, kus läbimiskiirus on kivimi suure tugevuse tõttu juba niigi limiteeritud, oleks targem kasutada suurema viskoossusega segu, et vähendada segu kadusid kivimi pragudesse. Viskoossuse juures eristatakse kolme silmaga raskesti eristatavat näitajat:

- 1) plastilist viskoossust, mis näitab mehaanilist hõõrdumist osakeste vahel, ja baasvedeliku viskoossust (puurimissegudes vesi);
- 2) voolavuspiiri ehk jõudu, mis kulub puurimisega liikuma panemiseks (mõõdetakse voolavas olekus);
- 3) geeli tugevust, mis on sisuliselt sama voolavuspiiriga, kuid mõõdetakse seisvas puurimisvedelikus (näiteks varraste vahetamise ajal).

Kõige efektiivsemad puurimissegude paksendajad on savid (peamiselt bentoniitsavid oma osakeste kuju ja molekuli struktuuri poolest), orgaanilised polümeerid ja õlipõhistes segudes õlis hüdreeruvad savid.

Tihedus ehk erikaal on puurimisega kaal mahuühiku kohta. Veepõhise segu korral on see puurimisseguga kaasa tulnud puurhiiva massi ja vee massi summa. Võimalik on valmistada ka segusid, kuhu saab erikaalu suurendamiseks lisada näiteks püriiti või mõnda muud rasket materjali. Tuleb meele pidada, et vahel töötab suur erikaal puurijate kasuks, teinekord teeb aga hoopis kahju. Suur erikaal tähendab tihti ka paljude tahkete osakeste olemasolu, mis kulutab vardaid, puurotsikut ja pumpasid, samuti võib liiga raske segu olla väga paks või üldse mitte pumpatav. Paksu seguga on üleslükkejõu tõttu lihtsam vardaid üles tõsta, kuid selle võrra raskem on näiteks maaküttetorusid „uputada“.

Filtrikooriku kvaliteet. Filtrikoorik koosneb tahketest osakestest, mis kleepuvad puuraugu seinale puurimisvedeliku pinnasesse filtreerumise tõttu. Kuna puurimisega on süsteem, siis puuraugu seinale moodustub koorikutaoline kiht erinevatest tahketest osakestest (bentoniit, polümeerid, puurhiib jm), mis takistavad lahuse edasist imbumist.

Eesmärk on puurimisseguga luua õhuke ja tugev filtrikoorik, mis stabiliseerib puuraugu seinu ja takistab ka kasutatava segu imendumist puurimise jätkudes. Kui filtrikoorik pole piisavalt tugev, siis on puurimisega kaod suured ja puuraugu seinad võivad variseda. Samas tekitab liiga paks filtrikoorik liigset hõõrdumist ja takistab varraste ning puurotsiku liikumist.

Tahkete osade (puurhiiva) sisaldus sõltub suuresti puurimissegude teistest omadustest (näiteks viskoossusest, geeli tugevusest ja kandevõimest). Antud kontekstis loetakse tahketeks osadeks kõike, mis on värskele puurimissegule lisandunud puurimisel ehk kõike, mis ei ole puurimissegus vajalik või seda, mida pole puurimisega valmistanud insener sinna lisanud. Tahkete osade sisaldust mõõdetakse maapinnale voolavast puurimissegust, et saada teada, kui palju materjali puurimisega realselt puuraugust välja kannab. Mõõtmisi tehakse vastava seadmega või vertikaalpuurimises tihti ka setteanumate või -tiikide süsteemiga. Taaskasutatava puurimisega puhul tuleb vältida puurhiiva puurauku tagasi pumpamist ja ühtlasi ka pumpade liigset kulumist.

Vee kvaliteet. Vesi oleks tegelikult päris hea puurimisvedelik oma viskoossuse poolest, kuid seda mitte iga puurimistöö jaoks. Enamasti ei ole puhas vesi sobilik isegi bentoniitsavist puurimissegude segamiseks. Enne puurimisega valmistamist peab mõõtma vee kolme parameetrit: happelisust (pH tase), karedust ja soolsust.

Joogivee happelisus (pH) on tavaliselt 7 või selle lähedal. Savide ja polümeeride heaks hüdreerimiseks on tarvis vett, mille pH on 8 ja 9 vahel – seega joogivesi tavaliselt puurimisvedeliku segamiseks ei kõlba. Et puurimisega kasutatava vee happelisus oleks nõutud piirides, tuleb mõõta olemasoleva veeallika pH-d ja happelisuse korrigeerimiseks kasutada pesusoodat ehk naatriumkarbonaati.

Vee karedus ehk kaltsiumi- ja magneesiumisoolade sisaldus vees on teine puurimisega halvendav faktor. Ideaalis peaks vee karedus olema alla 100 mg/l, aga need tingimused ei ole alati tagatud. Vee parendamiseks saame kasutada jällegi pesusoodat, mis neutraliseerib küll vaid kaltsiumisisaldusest tingitud kareduse. Magneesiumist tingitud kareduse vastu on mõtet võidelda vaid siis, kui pärast pesusooda kasutamist jääb karedus üle 500 mg/l. Bentoniitsavide kasutamisel

neutraliseerib magneesiumist tingitud kareduse ka savi ise, aga see tõstab oluliselt puurimisegule hinda.

Soolsus võib olla nii hea kui halb – bentoniitavide segamisel on väiksema soolsus puurimissegule laastav, seetõttu savi põhja ja tekitades peale veekihi, mille tulemusel puurimisegule ei moodustugi. Samas on soolade ja polümeeride seguga võimalik läbida väga tihedaid reaktiivse savi kihte, kuid alati ei ole võimalik puurimisegule koostist töö käigus muuta puuritava kihi omadustele vastavaks. Üldistades võib öelda, et soolast vett ei saa puurimissegude valmistamiseks kasutada.

Puurimissegude teema on puurimisel kindlasti üks olulisemaid, mis on aga pärinud siiski liiga vähe

tähelepanu erinevate puurimismeetodite tutvustamisel. Osalt just seetõttu, et ei ole olemas ühest lahendust. Iga puurauku on vaja vaadelda unikaalsena ja leida just selle puurauku jaoks vajalik segu, mis võimaldaks kiiret läbindamist ja kindlustaks ka puurimise eesmärgi. Näiteks puurkaev peab andma vett ja selle puurimiseks ei saa kasutada paljusid polümeere või õlipõhiseid segusid. Bentonitsegule, mis üldiselt kiirendab puurimist, peab kasutama targalt, sest see võib kergesti ummistada vettandva kivimikihi lõhed ja poorid. Puurimisel tuleb alati leida kuldne kesktee, mis viib eesmärgini võimalikult kiiresti ja mõistlike kuludega. Tihti peitub lahendus just õige puurimisegule valikus.

8. PUURKAEVU FILTRID

Vältimaks puurkaevu töötava osa varisemist, savide paisumist ja kivimiosakeste sattumist väljapumbatavasse vette, paigaldatakse puurkaevu töötavasse ossa filter. On välja töötatud hulgaliselt erinevaid filtreid, mis sobivad erinevatesse geoloogilistesse tingimustesse. Allpool käsitleme filtreid, mis on osutunud Eesti oludele sobivaks ja leiavad siin kasutamist.

Filtreid võib klassifitseerida nende valmistamise materjali või filtriavade tüübi alusel. Filtrite materjaliks on sagedamini süsinikteras, galvaniseeritud ja roostevaba teras, polüvinüülkloriid (PVC-plast) ja polüetüleen (PE-plast). Vähem leiavad kasutust, kuid väärib siiski nimetamist vaskvõrk, roostevabast terasest ja kapronist võrk, fiiberplast ning keraamilised materjalid.

Filtrite tüübid

Filtriavade järgi eristatakse üldiselt kolme tüüpi filtreid: perforeeritud torudest ümarate avadega filtrid, pilu- ja võrkfiltrid. Tulenevalt paigaldussügavusest või geoloogilise läbilõike ehitusest kasutatakse ka kombineeritud filtreid. Peamiselt kombineeritakse võrk- või pilufiltreid perforeeritud torudest filtriga.

Kõige tavalisem on **perforeeritud torudest filter**, mis kujutab endast toru, millesse on puuritakse sobiva läbimõõdu ja tihedusega augud. Torude materjal võib seejuures olla erinev. Selline filter tagab puurkaevu seina püsivuse, kuid ei aita ära hoida väikese läbimõõduga tahkete lisandite eraldumist väljapumbatavasse vette.



Perforeeritud torud.

Nende vältimiseks kasutatakse pilu- või võrkfiltrid.

Pilufiltrid kujutavad endast kas torusid, millesse on freesitud või pressitud torukoloni teljega risti või paralleelselt asetsevad pilud, või metallvardaid, mille torukujulisele karkassile on mähitud ja keevituse või liimimisega kinnitatud traadist filtrid. Materjal võib jällegi olla erinev, laiemalt levinud on siiski PVC-plastist ja roostevabast terasest pilufiltrid. Levinumad pilufiltrite tüübid on:

1) **mähitud traadist karkasspilufiltrid**. Neid valmistatakse tööstuslikult spetsiaalsete rakiste ja traadikerimise tööpinkide abil. Torujale rakisele kinnitatakse vajaliku sammuga soonitud metallvarrastest karkass, soontesse keritakse V-kujulise profiiliga traat



Roostevabast terasest mähitud traadiga karkassfilter.

ja kinnitatakse punktkeevitusega karkassi varraste külge. Filtritoru otsad vormistatakse umbse toruna, millel on liide filtrite ühendamiseks (keere, keevitusfaas, kiirliitemuhv, äärik vms). Traadi V-kujuline profiil on filtri juures parim, sest horisontaalse pinna puudumise tõttu ei jää kivimosakesed sellele püsima, vaid läbivad filtri ja see ei ummistu.

2) **torusse freesitud horisontaalsete või vertikaalsete piludega filtrid.** Neid valmistatakse tööstuslikult saagimispinkide või laserlöikuspinkide abil. Umbesse torusse freesitakse vajaliku laiussega enamasti horisontaalsed, kuid mõnikord ka vertikaalsed pilud. Filtritoru otsad vormistatakse samuti umbse toruna, millel on liide filtrite ühendamiseks. Piisava survetugevuse säilimiseks paiknevad pilud sektsiooniti, vaheldudes umbse toruga nii piki- kui ristisuunas. Olenevalt kasutatava toru seina paksusest tekib sellistel filtritel suurem või väiksem horisontaalne pind, millele kivimi-

PVC-pilufiltrid.



Sild-pilufilter.

osakesed ladestuvad, ummistades seetõttu filtrit. See oht on väiksem vertikaalsete piludega filtritel.

3) **sild-pilufiltrid.** Neid valmistatakse tööstuslikult roostevabast, galvaniseeritud või süsinikterasest plaadist (lehtmetailist), mis on asetatud tugevale alusele ja millesse stantsi abil vormitakse etteantud sammu ja kõrgusega väljaulatuvad piludega kühmud ehk nn sillad. Pärast seda keeratakse plaat ümaraks toruks ja plaadi servad keevitatakse pikiõmblusega kokku. Tekkinud toru otstesse vormistatakse vajalik liide. Niinimetatud sillad paiknevad piki toru telge, pilude ummistumine on vähene ja filtri survetugevus on lähedane umbse toru omale.

Kõige efektiivsemalt töötavad pilufiltrid koos filtritagusesse ruumi paigaldatud **kruusafiltriga** ehk nn puistega (ingl *gravel pack*). Kruusa terasuurus tuleb valida vastavalt filtri pilude laiussele ja puurauku ümbritsevale pinnasele. Puiste põhiülesanne on vee sisendkiiruse vähendamine ja tahkete osakeste (liiva) liikumise füüsiline takistamine enne kaevu jõudmist. Kruusapuiste paigaldatakse filterkolonni taha maapinnalt valades ning samaaegselt õhktõstukiga kaevu pumbates. Loomulikult peab filtri ülemine ots olema seejuures suletud, et vältida puistematerjali sattumist filtrisse. Puiste täidab oma eesmärgi paremini, kui selle kiht on võimalikult paks. Seetõttu tehakse kruusafiltriga kaevudele enamasti ka töötava osa laiendus. Kui kaev on projekteeritud töötava osaga Kvaternaari setetesse (pudedad ja varisevad kruusad ja liivad), on puistekruusa paigaldamine filterkolonni välise pinna taha varisemise tõttu problemaatiline. Sel juhul on ainus võimalus kasutada ära veekihi enda materjali, formeerides niinimetatud loodusliku puiste. See õnnestub puurkaevu intensiivse pumpamise abil pärast filterkolonni paigaldamist – peenem materjal pumbatakse maapinnale ja sobiva terasuusega materjal moodustab filterkolonni taha kruusakihi. Tänapäeval toodetud PVC-plastist pilufiltritele on



Tehases liimitud puistekihiga filter.

enamasti kruusakiht juba tehases peale liimitud, andes sellega filtri paigaldamisel märgatava ajavõidu.

Kohapeal paigaldatud puistekihi paksus sõltub puuraugu läbimõõdust. **Puistematerjaliks** on karjäärast kaevandatud ja erinevatesse fraktsioonidesse sõelutud, vahel ka pakendatud, kvartslüiv või -kruus. Konkreetse leiukoha liiva- ja kruusaterad võivad olla erineva kulutusastmega ehk ümaramad või nurgelisemad ja moodustada filtri taha paigaldatuna kas tihedama või hõredama kihi. Puistematerjaliks võivad olla ka tööstuslikult toodetud ideaalselt ümarad silikoonist kuulikesed, mis on aga looduslikust materjalist suurusjärgu võrra kõrgema hinnaga ja pole seetõttu laiemat kasutust leidnud.

Võrkfiltrid valmistatakse kas vask-, teras- või kapronvõrgust, mis on paigaldatud metallvarrastest karkassile. Võrk kinnitatakse karkassi külge punktkeevituse või liimimisega. Valitava võrgu silma (avade) suurus sõltub jällegi puuraugu ümbritseva setendi terasuurusest. Väiksema vastupidavuse tõttu leiab võrk kasutamist eelkõige kombineeritud filtrites. Võrkfiltrite peamiseks probleemiks on võrgusilmade ummistumine kaevu eksploatatsioonil sageli tekkiva kolloidse ainega. Seetõttu vajavad võrkfiltriga kaevud märksa sagedasemat hooldust kui pilufiltriga kaevud.

Kombineeritud filtreid kasutatakse juhul, kui tavapärase filtrite tugevusparameetrid ei ole piisavad. Filtri tugevust tõstetakse perforeeritud torule **distsants-**



Mähitud perforeeritud toruga kombineeritud filter.



Kapronvõrguga pilufilter.

varraste lisamisega, mis kinnitatakse keevitades, liimides või sulatades (plastide puhul). Distsantsvarrastele kinnitatakse omakorda ühest või teisest materjalist võrk või mähitakse traat.

Filtrite füüsikalised ja keemilised parameetrid

Filtrite projekteerimisel ja valikul tuleb arvestada neid iseloomustavate parameetritega, mis peavad sobima veekihi kivimite omadustega, puurkaevu konstruktsiooniga, manteloru läbimõõduga ja filterkolonni paigaldussügavusega. Valiku hõlbustamiseks on filtrite tootjad enamiku olulistest parameetritest tootekataloogide tabelites ja graafikutel välja toonud, kuid geoloogiliste tingimuste mitmekesisuse tõttu jääb lõpliku valiku tegemine siiski konkreetse puurkaevu projekteerija õlule. Peab arvestama, et mitte kõik puurkaevude rajajad ei soeta tööstuslikult toodetud filtreid, vaid valmistavad neid ise. Järgnevalt on toodud mõned filtreid iseloomustavad näitajad.

Filtri avatud osa on tavaliselt protsentides väljendatud filtri avade pindala suhe kogu filtri pindalasse. Avatud osa mõjutab otseselt filtri veeläbilaskvust ja seega kaevu tootlikkust. Suurema avatud osaga on üldjuhul perforeeritud torud ja metallist pilufiltrid, millesse saab suuremaid auke või rohkem pilusid teha surve-tugevust oluliselt kaotamata. Neil filtritel on avatud osa enamasti vahemikus 20–25%. Plastfiltrite avatud osa on tavaliselt 8–10%, sest kasutusel olevate materjalide omadused ei võimalda rohkem ja suuremaid avasid teha.

Filtri sisemist ja välimist läbimõõtu ning filtrite ühendusviisi väljendatakse millimeetrites. Kaevu projekteerimisel tuleb teada, et filtritorude ühendamise liite läbimõõt võib olla ka suurem torude läbimõõdust.

Filtri veeläbilaskvust ehk **tootlikkust** väljendatakse tootlikkuse ühikutes (l/s või m³/h) filtri ühe jooksva meetri kohta ja kujutatakse tabelgraafikuna. Tootlikkus sõltub nii vee voolukiirusest kui filtri läbimõõdust. Parameetriga peab arvestama filtri pilu laiuse valikul ja selle sobitamisel geoloogilises läbilõikes esinevate kivimite terasuurusega.

Filtri survetugevusest (vastupidavus välisrõhule) sõltub filtri võimaliku paigaldamise sügavus. Siin tuleb silmas pidada savikivimite leostumist ja paisumist, mis avaldab filtrile suhteliselt suurt survet juba üsna maapinna lähedal, samuti torutaguse ruumi tsemendteerimisel tekkivate suurte rõhkudega, puiste paigaldamisel tekkiva lisakoormusega ning rõhkude muutusega kaevu pumpamisel. Suurendamiseks vastupidavust välisrõhule valitakse tugevamast materjalist, suurema seinapaksuse või väiksema avatud osaga filter.

Filtri tõmbetugevuse parameeter sõltub otseselt toru kaalust. Sellega peab arvestama väga pika kolonni paigaldamisel, et vältida kolonni liitest lahtitulekut oma raskuse tõttu. Lisaks peab arvestama kruusapuiste paigaldamisel tekkiva võimaliku lisakaaluga juhul, kui puistematerjal moodustab tropi toru läbimõõdust suuremate toruliidete kohal, aga ka puiste settimise faasis.

Filtri materjali keemiline vastupidavus iseloomustab materjali korrosioonikindlust ja ühe või teise materjali reaktsiooni agressiivse või soolase põhjaveega, aga ka näiteks kaevu desinfitseerimiseks kasutatavate kemikaalidega.

Filtri kaal antakse kaaluühikus (tavaliselt kg/m) jooksva meetri kohta. Parameetriga peab arvestama filtrite transpordil, kuid eelkõige tuleb silmas pidada puuragregaadi vintsi tõstejõudu kolonni paigaldamisel.

Filtri löögitaluvus (vastupidavus purunemisele) näitab, millist jõudu on vaja rakendada filtri purustamiseks. Eristatakse filtri sein ja filtri liitekoha löögitaluvust. Eestis tuleb näitajaga arvestada mäetööde piirkonnas, olulisem on see aga maavärinaohtlikel aladel.

Filtri temperatuuritaluvus ei oma Eesti oludes üldjuhul tähendust. Sellega tuleb arvestada suurte puurimissügavuste korral ning vulkaanilistes ja kuumaveeallikate piirkonda-

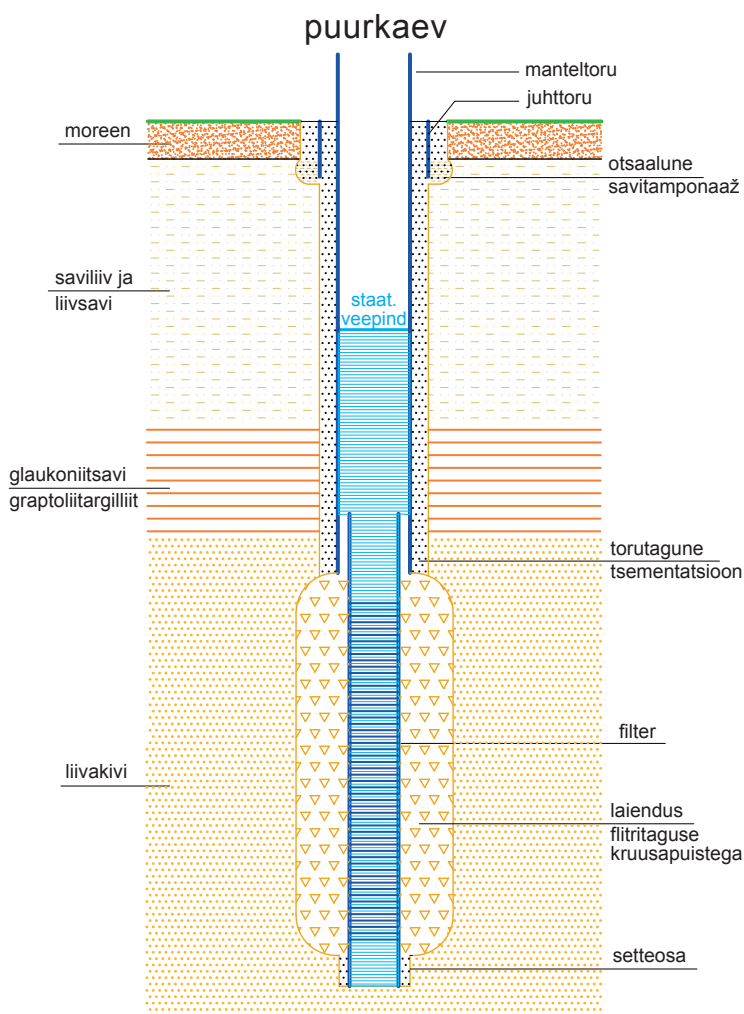
des. Näitajaga tuleb arvestada plastmaterjalide puhul, mille sulamistemperatuur on madal ja mis pehmenevad juba sulamistemperatuurist märgatavalt madalamal temperatuuril.

Filtri konstruktsioon puurkaevus

Puurkaevu paigaldatuna eristatakse filterkolonni konstruktsioonis kolme osa:

- 1) **setteosa** – tavaliselt filterkolonni alumises otsas paiknev suletud põhjaga umbne, kuni 6-meetrine toru, kuhu koguneb sete, mille filter on läbi lasknud;
- 2) **filtriosa** – paigaldatakse määratud sügavusele puurkaevu vettandvate kihtide osa ulatuses;
- 3) **filtripealne osa** – kolonni kõige ülemises otsas paiknev umbne toru, mis ulatub kuni 10 m manteltorusse või ka maapinnani välja.

Filtri taha paigaldatakse kogu ruumi ulatuses kruusapuiste.



Pilufiltri ja kruusapuistega puurkaev.

9. PUURKAEVU JA -AUGU KONSERVEERIMINE

Puurkaevude ja -aukude konserveerimiseks nimetatakse eksploatatsioonis olevate puurkaevude ja -aukude sulgemist veekaitse eesmärgil. Konserveeritud puurkaevu või -auku on vajaduse korral võimalik uuesti kasutusele võtta.

Puurkaevu või -augu konserveerimisel tuleb põhjavee saastumise vältimiseks veetõsteseade eemaldada ja päis sulgeda. Selleks suletakse manteloru ülemine ots keevitatava terasplaadiga või terasest kaevumütsiga, mis keermetatud poltidega kinnitatakse manteloru külge. Mantelorusse on poltide jaoks puuritud avad. Plastikust manteloru ülemine ots suletakse terasest kaevumütsiga.

Puurkaevu või -augu omanik või maaomanik on kohustatud puurkaevu või -augu konserveerimisest teatama kohalikule omavalitsusele ja piirkonna keskkonnaametile kirjalikult 10 tööpäeva jooksul konserveerimise päevast arvates. Konserveeritud puurkaevu või -augu kohta teeb keskkonnaamet keskkonnaregistris märke „konserveeritud“.

Kinnise soojussüsteemi puuraukude konserveerimisel tuleb soojuskandvedelik eemaldada ja asendada veega ning soojuskontuuri otsad sulgeda.

Enne konserveeritud puurkaevu või -augu taas kasutusele võtmist korraldab puurkaevu omanik või valdaja selle puhastamise vee selginemiseni ja veeproovide võtmise vastavalt keskkonnaministri määruses nr 43 (09.07.2015) paragrahvides 18–19 sätestatule. Kinnise soojussüsteemiga puuraukudele puhastuspumpamist ei tehta.

Enne kinnise soojussüsteemi puuraukude taas kasutusele võtmist tuleb kontrollida, kas soojuskontuur on töökorras. Selleks survestatakse (ca 4 baari) soojuskontuur veega ja hoitakse kaks tundi surve all. Selle aja jooksul ei tohi surve langeda üle 1 baari. Kui surve peaks langema, tuleb survestamist korrata. Surve teistkordsel langemisel üle 1 baari võib oletada, et soojuskontuur lekib. Kui surve kahe tunni jooksul ei lange alla 1 baari, vahetatakse vesi soojuskandvedeliku vastu. Kinnise soojussüsteemi puuraukude soojuskontuuris võib kasutada ainult keskkonnale ohutut soojuskandvedelikku, mille kohta peab olema ohutuskart. Soojuskontuuris ei ole lubatud kasutada etüleenglükooli.

Puurkaevu või -augu taas kasutusele võtmisel on puhastus- ja proovipumpamisel otstarbekas kasutada kompressorit ning õhktõstukit (ingl *air lift*). Veetõstetoru alumine ots paigaldatakse võimalikult kaevu põhja lähedale. Õhutoru paigaldatakse veetõstetorusse, kusjuures õhutoru alumine ots peab olema 1–2 meetrit veetõstetoru alumisest otsast kõrgemal. Sette olemasolu korral kaevu põhjas lastakse veetõstetoru koos õhutoruga sügavamale kaevu ja tõstetakse seejärel umbes 0,5 meetrit ülespoole ning lastakse uuesti alla. Selliselt torusid liigutades puhastatakse kaevu põhi settest. Veetõstetorust väljuv õhu ja vee segu puhastab õhktõste efekti põhimõttel kaevu põhja ja seinad, purustamata kaevu seintes olevat kivimit.

Hüdrogeoloogilisi uuringuid puurkaevus või -augus tehakse puhastus- ja proovipumpamise eesmärgist lähtuvalt.

Enne puhastuspumpamist mõeldab pumpamist teostav isik puurkaevu või -augu staatilise veetaseme. Puurkaevu või -augu hüdrogeoloogiliste parameetrite määramiseks tehakse proovipumpamine vähemalt 1,3-kordse projekteeritud tootlikkusega või maksimaalse tootlikkusega, kui proovipumpamisel ei ole võimalik projekteeritud tootlikkust saavutada. Mõeldavad hüdrogeoloogilised parameetrid on staatiline veetase, dünaamiline veetase, alandus, deebit ja erideebit. Proovipumpamist tehakse puurkaevu tootlikkuse ja dünaamilise veetaseme stabiliseerumiseni.

Proovipumpamise lõpus võtab proovivõtja atesteerimistunnistust omav isik veeproovid. Proovid võetakse keskkonnaministri määruse nr 43 (09.07.2015) lisa nr 4 punktides 5.1–5.6. nimetatud näitajate analüüsimiseks:

- 1) organoleptilised näitajad – värvus, hägusus, lõhn;
- 2) füüsikalised-keemilised näitajad (1) – oksüdeeritavus, elektrijuhtivus 20 °C juures, pH, üldkaredus; ammonium, fluoriid, kaalium, kaltsium, kloriid, magneesium, mangaan, naatrium, nitraat, nitrit, raud, sulfaadid, vesinikkarbonaadid;
- 3) mikrobioloogilised näitajad – coli-laadsed bakterid, enterokokid, *Escherichia coli*, kolooniate arv 22 °C;
- 4) füüsikalised-keemilised näitajad (2) – antimon, arseen, baarium, benseen, benso(a)püreen, boor, elavhõbe,

fenoolsed ühendid, kaadmium, kroom, nikkel, plii, pestitsiidid, seleen, tsüaniid, vask, lahustunud hapniku sisaldus;

5) põhjaveekogumi keemilise seisundi näitajad – naftasaadused, summa PAH;

6) radioloogilised näitajad – triitium, efektiivdoos.

Tootmisvee- või avatud soojussüsteemi puurkaevust võetakse veeproovid vastavalt punktidele 1 ja 2. Joogivee puurkaevust, mis ei ole ühisveevärgi osa,

võetakse veeproovid punktide 1, 2 ja 3 järgi. Ühisveevärgi osaks olevast joogivee puurkaevust võetakse veeproovid vastavalt punktidele 1, 2, 3 ja 4. Ühisveevärgi joogivee puurkaevust, mis avab ohustatud põhjaveekogumi, võetakse veeproovid vastavalt punktidele 1–5; kui joogivee puurkaev avab Ordoviitsiumi–Kambriumi (O–Cm) või Kambriumi–Vendi (Cm–V) põhjaveekiht, võetakse veeproovid vastavalt punktidele 1–6.

10. PUURAUGU LIKVIDEERIMINE

Puuraugud või -kaevud tuleb likvideerida (lammutada), kui need on amortiseerunud või kaotanud oma otstarbe. Likvideerimine toimub lammutamise ehitusprojekti alusel, mille võib koostada vastavat töölooma omav organisatsioon või isik. Projekt tuleb kooskõlastada Keskkonnaametiga. Puurkaevu või -augu likvideerimiseks tuleb kohalikule omavalitsusele esitada ehitusteatis ja selle juurde kuuluvad dokumendid (vaata keskkonnaministri määrus nr 43, 09.07.2015).

Enne puurkaevu või -augu likvideerimist tehtavad toimingud:

- 1) tõstetakse puurkaevust välja veetõsteseadmed;
- 2) puhastatakse puurkaevu vettandva osa ulatuses kõrvalistest esemetest (alla kukkunud veetõsteseade jms) selle edasise isoleerimise eesmärgil;
- 3) tehakse puhastuspumpamine puurkaevu või -augu kuuekordse mahu ulatuses, kui puurkaevu vesi on reostunud;
- 4) Keskkonnaameti nõudel viiakse läbi puurkaevu või -augu kloorimine kloorilahusega (ühe liitri vee kohta 100–125 mg aktiivset kloori).

Puurkaevu või puuraugu likvideerimise toimingud:

- 1) puurkaevu või -augu vettandev osa täidetakse vett läbilaskva materjaliga (jämeliiv, peenkruus, killustik);
- 2) puurkaevu ülejäänud tühimik täidetakse isoleeriva materjaliga (betoon, savi);
- 3) erinevaid põhjaveekihte avava puurkaevu vettandvad osad täidetakse vett läbilaskva materjaliga (jämeliiv, peenkruus, killustik) ja isoleeritakse tamponiga (betoon, savi);

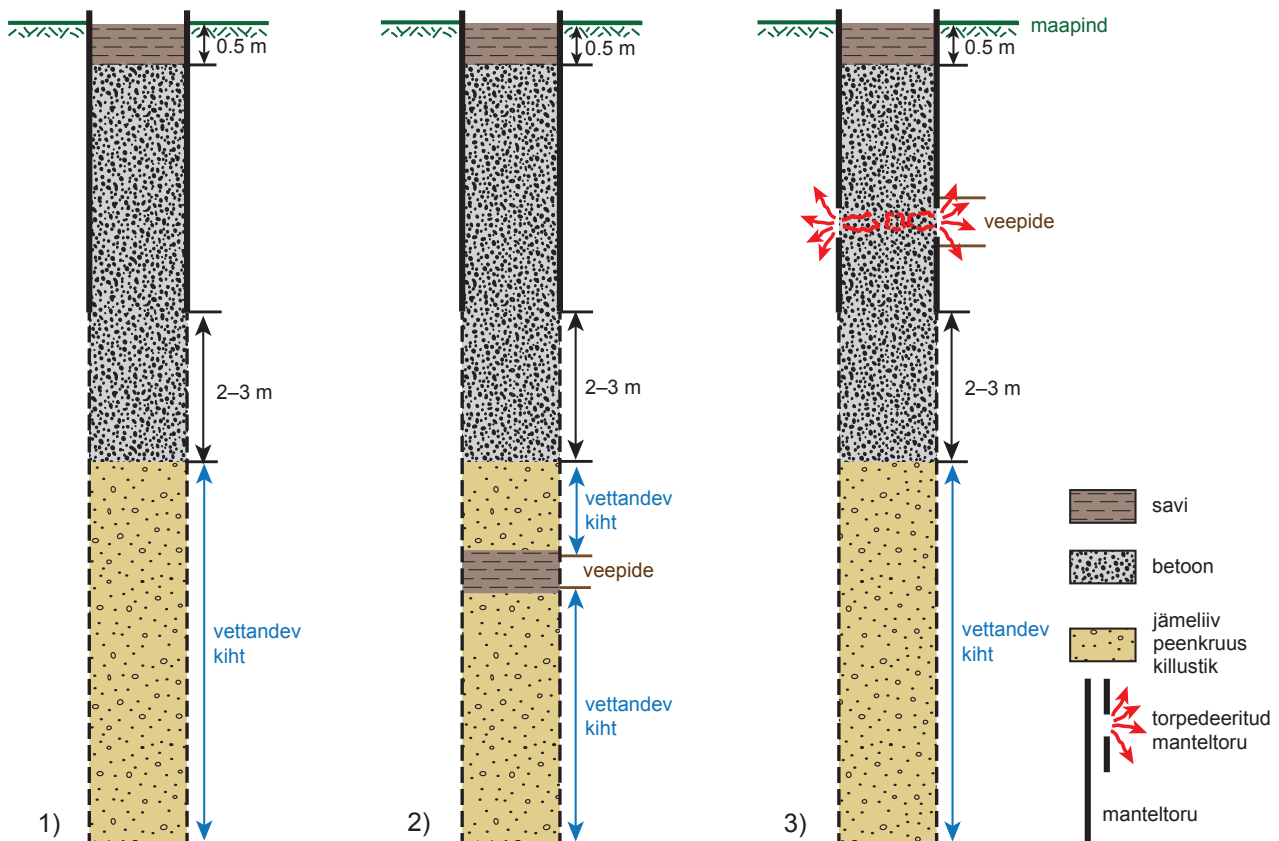
4) tsementeerimata manteltorude taguse osaga või rikunud tsementatsiooniga ja erinevaid põhjaveekihte manteltorudega isoleerivate puurkaevude või -aukude manteltorud tuleb torpedeerida veekihte eraldava veepideme kohal ning pumbata torpedeeritud avasse isoleeriv ja vettpidav materjal (betoon, raske savilahu).

Ülevooluga puurkaevu või -augu likvideerimisel tuleb ülevool enne tamponimist sulgeda. Selleks pikendatakse manteloru ülevoolu lakkamiseni ja seejärel puurkaev või -auk tamponitakse. Juhul kui manteloru ei ole võimalik ülevoolu lakkamiseni pikendada, tuleb puurkaevu vettandvasse osasse pumbata ülevoolu lakkamiseni rasket savilahust ja seejärel puurkaev tamponida.

Pärast puurkaevu või -augu tamponimist lõigatakse manteloru ülemine ots maha 0,5 m altpoolt maapinda ja täidetakse lahtikaevatud osa saviga. Manteloru tõmmatakse välja juhul, kui puurkaevu või -augu seinad ei varise kokku. Seda tehakse pärast puuraugu vettandva osa täitmist vett läbilaskva materjaliga (jämeliiv, peenkruus, killustik).

Manteloru eemaldatakse 3–5-meetrise osade kaupa, täites puuraugus vabanenud tühimikud isoleeriva materjaliga (betoon, savi). Kui manteloru eemaldamisel avatakse vettandvad kihid, täidetakse need vett läbilaskva materjaliga (jämeliiv, peenkruus, killustik) ja veepidemeks olevad kihid täidetakse isoleeriva materjaliga.

Kui veepideme asukoht kahe veekihi vahel ei ole teada, täidetakse kogu puuraugu ava väljatõmmatava manteloru asemel isoleeriva materjaliga. Manteloru



Puurkaevu või puuraugu likvideerimine.

väljatõmbamiseks võib kasutada suuri hüdraulilisi tungraudu või vibroseadmeid.

Kui manteldatud on kergesti varisev pinnas (vesiliiv, voolav savi jt) ja manteltoru on võimalik välja tõmata, eemaldatakse manteltoru pärast puuraugu vettandva osa täitmist vett läbilaskva materjaliga ja manteltoru alumisest otsast sügavamal tehakse 2–3 m ulatuses vettpidav tampoone (betoon, savi). Kergesti varisev pinnas sulgeb puuraugu. Puurkaevu või -augu lahti jäänud ülemine osa täidetakse vähemalt 0,5 m ulatuses saviga.

Kinnise soojussüsteemi puuraukude amortiseerumisel või kasutusotstarbe kaotamisel tuleb soojuskande vedelik soojuskontuurist eemaldada ja soojuskontuur täita keskkonnale ohutu vettpidava materjaliga (Cebo puurmört, tsemendilahus, bentoniitsavi lahus). Puurkaevu või puuraugu likvideerinud isik esitab kohalikele omavalitsusele puurkaevu või puuraugu lammutamise teatise ja selle juurde kuuluvad dokumendid (keskkonnaministri määrus nr 43, 09.07.2015, lisa 8). Teatis esitatakse 10 tööpäeva jooksul alates puurkaevu või puuraugu likvideerimistööde lõpetamisest. Kohalik omavalitsus informeerib puurkaevu lammutamisest

Keskkonnaametit ja kannab teatise andmed ehitisregistrisse. Lammutatud puurkaevu või -augu kohta tehakse ehitisregistris märge „lammutatud“. Keskkonnaamet korraldab puurkaevu või -augu lammutamisteatise andmete sisestamise keskkonnaregistrisse, kus lammutatud puurkaevu või -augu kohta tehakse märge „lammutatud“.

Täiendav materjal

Keskkonnaministri 09.07.2015. määrus nr 43 „Nõuded salvkaevu konstruktsiooni, puurkaevu või -augu ehitusprojekti ja konstruktsiooni ning lammutamise ja ümberehitamise ehitusprojekti kohta, puurkaevu või -augu projekteerimise, rajamise, kasutusele võtmise, ümberehitamise, lammutamise ja konserveerimise korra ning puurkaevu või -augu asukoha kooskõlastamise, ehitusloa ja kasutusloa taotluste, ehitus- või kasutusteatise, puurimispäeviku, salvkaevu ehitus- või kasutusteatise, puurkaevu või -augu ja salvkaevu andmete keskkonnaregistrisse kandmiseks esitamise ning puurkaevu või -augu ja salvkaevu lammutamise teatise vormid“ (<https://www.riigiteataja.ee/akt/114072015001>).

11. SALVKAEVUDE RAJAMINE JA KORRASHOID

SALVKAEVUD

Salvkaev ehk šahtkaev või raketega kaev on rajatis, mis kaevatakse kas käsitsi või ekskavaatoriga. Kui puurkaevuga võib avada nii pinnase- kui põhjavee, siis salvkaevuga tarbitakse põhiliselt ainult pinnasevett. Piisava veekoguse saamiseks on salvkaevu süvendi maht suurem kui puurkaevul, sest maapinna lähedal lasuvate setete veeandvus on puurkaevuga avatavate aluspõhjakiivimite omast üldjuhul märgatavalt väiksem.

Kaevu asukoha valikul peab lähtuma üsna mitmest tingimusest, millest sõltub piisavas koguses puhta, joogikõlbuliku vee saamine. Geoloogilisest aspektist on oluline, et kaev rajatakse vett hästi juhtivatesse liiva- või kruusakihtidesse, kus vett on piisavalt ja see sobib tarvitamiseks ilma töötlemata. Savid, savikad liivad ja savimoreenid juhivad vett halvasti ja kaevu rajamine neisse ei ole otstarbekas. Kaevu asukoha valikul tuleb arvestada ka vee liikumisega pinnases, mis üldjuhul järgib maapinna kallakust. Seetõttu on kaevu parimaks asukohaks mäenõlva allosa, kus pinnasevesi on maapinnale kõige lähemal. Salvkaevu asukoha valikul tuleb arvestada ka veetaseme kõikumisega. Pinnasevee hulk sõltub otseselt sademetest ning kuival suvel võib veetase mõnes piirkonnas langeda mitmeid meetreid, jättes liiga madalad kaevud kuivaks. Seetõttu peab kaevu põhi olema sügavamal kõige madalamast veetasemest kuival aastaajal. Vastavat teavet on mõttekas pärida naabritelt, kaevumeistritelt, geoloogidelt või kohalikelt keskkonnaametnikelt. Kui info on napp, võib kaevata prooviaugu. Kindlasti peaks kaevu asukoha valikul arvestama kaevuvee kvaliteeti mõjutada

võivate teguritega. Pinnasevee saastumist põhjustavad lekkiva kanalisatsiooni kogumiskaevud, torustikud või kütusemahutid, samuti väetamine, kuivkäimlad, sõnikuhoidlad ja ka talvine teede soolamine.

Salvkaevu ehitamine. Kui kaevu parim asukoht ja rajamissügavus on välja selgitatud, võib asuda ehitustööde juurde. Otstarbekas on kohe alguses kohale tuua kõik vajaminevad materjalid ja tööriistad, mõeldes läbi ka nende paigutuse tööplatsil. Lisaks piisava kaevesügavusega ekskavaatorile ja labidale läheb vaja veel küllaldaselt pika voolikuga tühjenduspeempe vee välja pumpamiseks kaevandist töö ajal, spetsiaalset haaratsit kaevurakete tõstmiseks ja paigaldamiseks ning sobiva läbimõõduga augufreesiga elektritrelli veetrassi toru läbiviimiseks rakkest.

Eeltööna rajatakse valitud kohas kaevand, mille läbimõõt on umbes meetri võrra suurem valitud kaevurakete omast ja seinte kallakus on 45° või laugem. Pinnas ladustatakse süvendist piisavalt kaugele, et vältida selle tagasivarisemist. Ohutuks kauguseks võib rusikareegli järgi alati võtta vahemaa, mis on suurem kui augu sügavus. Järgnev tegevus salvkaevu ehitamisel on vaadeldav seitsme etapina:

1) Kui veevool kaevisesse on vähene ja seinad ei varise, võib ekskavaator kohe kaevata vajaliku sügavusega augu. Kui maapinnalt vajaliku sügavuseni ei jõuta, kaevatakse ekskavaatori jaoks piisava suurusega aste, mis on tavaliselt 2–3 m sügavune. Oluline on, et astme pind jääks veetasemest kõrgemale. Kui ka astmelt kaevates ei ole ekskavaatori kopa ulatus piisav õige sügavuseni jõudmiseks, peab kaevamist jätkama nn vajukaevu meetodil – pinnast kaevatakse kas käsitsi või greiferkopaga rakete seest, misjärel rakked oma raskuse tõttu vajuvad sügavamale. Sel juhul ei tohi pinnases olla suuri kive, mida ei saa eemaldada ja mis põhjustavad rakkekolonni viltuvajumise. Töö käigus tuleb kaevu kogunev vesi ära pumbata. Selle tehnoloogia puhul tuleb arvestada hüdraulilise läbimurde ohtu peeneteralistes pinnastes. Selle ohu korral



tuleb kaev kas osaliselt või täielikult rajada vajukaevuna vee all. Vesi on sel juhul vastukaaluks üleslükkejõule. Parimaks lahenduseks on siis greiferkopaga kaevamine. Üsna sageli rajatakse madalamaid salvkaeve ka spiraal- ehk tigupuuriga puurides, kasutades spetsiaalseid tihenditega rakkeid.

2) Kuna salvkaev annab vett põhja kaudu, kaetakse süvendi põhi enne esimest raket umbes 50 cm paksuse kruusa- või peenkillustiku kihiga, mis suurendab veeandvust. Nüüd võib hakata rakkeid kohale panema. Rakete vahelised vuugid tihendatakse elastsete tihendite või mastiksiga, mida on lubatud kasutada kokkupuutes joogiveega. Tihendamist ei vaja need vuugid, mis jäävad pidevalt vee alla. Kui vuugitäiteks on mört, võib tarvilikuks osutada vuukide hilisem tihendamine, sest rõngad mõnevõrra ikkagi liiguvad kas siis omaraskusest tingituna või pinnase külmumisel ja sulamisel tekkivate liikumiste tõttu. Selles etapis pannakse rakke tasemeni, kust siseneb horisontaalne veetoru. Alumiste rakete tagune täidetakse kruusa või jämeliivaga.

3) Horisontaalse veetoru läbiviimiseks rakkest freestatakse rakkesse auk ja paigaldatakse hülss. Tekkinud vuugid tihendatakse joogiveele sobiva tihendusmasiga. Kaevus asub vertikaalne ja horisontaalne toru ühendatakse sellise nurkliitmikuga, mis võimaldab vertikaalse toru lihtsat eraldamist pumba või põhjapõhja klapi hoolduseks. Et horisontaaloru jaoks kaevatud kraav ei dreniks hiljem kaevu sulamis- ja sadevett, tuleb kraavile umbes 2–5 m kaugusel kaevust teha savilukk. Nüüd enne kaevu ülemise osa väljaehitamist on ka õige aeg panna kohale horisontaaloru ja teha

sellele vajadusel soojusisolatsioon. Pump või põhjapõhja klapp koos vertikaalitoruga pannakse kaevu pärast puhastuspumpamist.

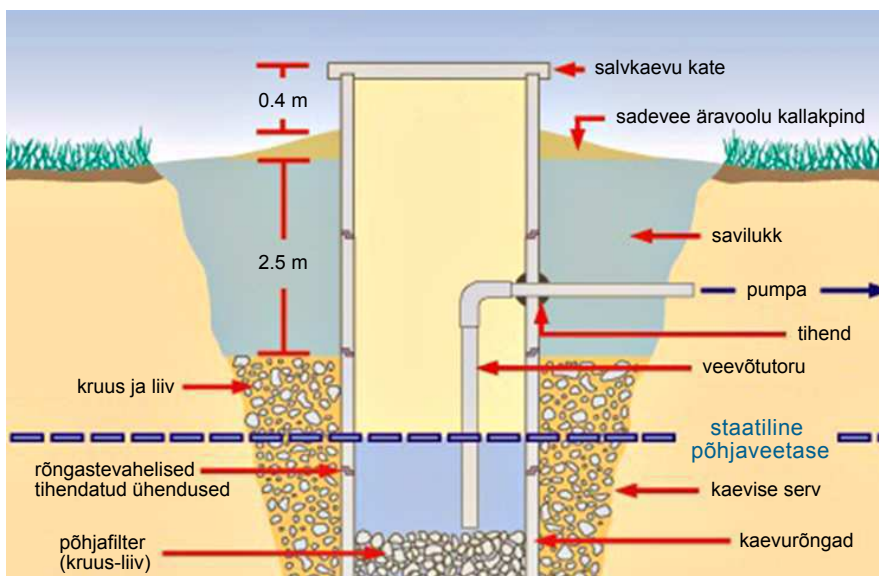
4) Järgmisena tõstetakse paika ja tihendatakse ülejäänud rakke nii, et ülemine rake jääks umbes pool meetrit maapinnast kõrgemale. Külmaergete vältimiseks soojustatakse ülemised rõngad väljastpoolt kile või spetsiaalse soojustusmaterjaliga. Veetasemest ülespoole jääv rakete tagune kaevus täidetakse välja-kaevatud pinnasega kuni 40 cm allapoole planeeritud maapinda kaevu ümber.

5) Vältimaks sadevete sattumist kaevu, täidetakse kaevu ümbrus nüüd 20–30 cm paksuse vett halvasti läbilaskva pinnasega, milleks on tavaliselt savi. Sadevee kaevust eemale juhtimiseks kaetakse kaevu ümbrus kuni 5 m ulatuses kaldu oleva savikihi. Savikihi asetatakse omakorda kile, mis kinnitatakse niiskuskindla teibiga kaevurakke külge. Kile kaetakse pinnase- või mullakihi, mis ei sisalda kive. Otstarbekas on kaevu muldkeha mätastada ja haljastada. Salvkaevu ehitades pinnast ei tihendata ja seetõttu võib hiljem tekkida järelevajumisi, mis on vajalik täiendavalt likvideerida.

6) Salvkaevu puhastus- ja proovipumpamine tehakse sama drenaažipumbaga, mida kasutati veeärastuseks. Pärast puhastuspumpamist kaetakse kaevu põhi umbes 30 cm paksuse liivast filterkihiga. Kui on plaanis panna salvkaevu süvaveepump, tuleb liiv välja-pumpamise vältimiseks katta omakorda kruusa või väikeste kividega. Pumba ei tohiks panna kaevu põhjale lähemale kui 50 cm, põhjapõhja klapi paigaldussügavus võib olla ka 30 cm põhjast.

7. Kaevukaas peab olema veetihe ja varustatud lukustatava luugi ning tuulutustoruga. Selleks sobib plasttoru, millele on kinnitatud kübar ja putukavõrk. Kaevukaane alaosa on otstarbekas soojustada. Tavaliselt on kaevukaas valmistatud raudbetoonist, kuid kasutatakse ka roostevabast või tšingitud plekist teraskarkassil kaasi. Kaevukaane valmistamiseks ei tohi kasutada roostetavaid materjale.

Salvkaevu läbilõige.



KOMBINEERITUD KAEVUD

Salvkaevu veeandvuse parandamiseks puuritakse kaevu põhjast edasi puurkaev ja paigaldatakse kaevu põhjast sügavamale jäävasse veekihti spetsiaalne filterkolonn. Sellist kaevu nimetatakse kombineeritud kaevuks. Filterkolonn kujutab endast 1½- või 2-tollise läbimõõduga toru, mille alumise otsa külge on kinnitatud kooniline terasest otsik, mis võimaldab kolonni pinnasesse süvistamist. Sellele järgneb umbes meetripikkune pilutatud kestaga filtertoru, mille sisemusse on kinnitatud kapronist või roostevabast terasest võrk. Filtrist kaevu põhjani jätkub tavaline manteloru. Tehnoloogiliselt paigaldatakse filterkolonn kas sisse surudes (näiteks ekskavaatori kopaga), vibreerides või veejoa abil sisse pestes. Viimasel juhul surutakse pinnasesse 3- või 4-tolline manteloru, mille sees oleva peenema joatoru kaudu suunatakse auku veejuga, mis eemaldab pinnaseosakesed torukolonna otsa alt.

Nii on manteloru sügavuseks saadud isegi kuni 40 m. Kui manteloru on jõudnud soovitud sügavuseni, surutakse joatoru sellest allapoole, puhastades augu filtri jaoks. Seejärel joatoru eemaldatakse, asetatakse kohale filterkolonn ning tihendatakse manteloru ja filtri vaheline rõngaspilu elastse tihendiga.

Kombineeritud kaevu ei saa rajada kivises pinnases. Eesti tingimustes ei ole kombineeritud kaevud levinud, sest meie territooriumil lasuvad aluspõhjakiivid maapinnale suhteliselt lähedal. Vajadus kombineeritud kaevu järele võib tekkida siis, kui veepind olemasolevas salvkaevus on rohke tarbimise või põua tõttu alanenud ja kaevu tootlikkus enam ei rahulda kasutaja vajadusi. Kombineeritud kaevu rajamisel on vajalik ala geoloogilise ehituse väga täpne tundmine, sest on lubamatu pinnase- ja põhjavee segunemine kombineeritud kaevus.

SALVKAEVUDE KORRASHOID JA REMONT

Kui kaev on valmis ja vesi majas, juhtub sageli, et unustatakse aastateks, kust vesi tuleb. Seetõttu on suur osa olemasolevatest salvkaevudest meil üsna halvas seisukorras. Tüüpilisemad ebakohad on järgmised:

- 1) kaevu põhja on settinud mitmesugust orgaanilist ja mineraalset setet;
- 2) kaevu põhjas puudub filtreeriv liivakiht;
- 3) kaevurakked on murenenud, vuukidest lekib pinnaseosakesi;
- 4) soojusisolatsioon puudub või on ebapiisav;
- 5) rakked on kahjustatud külmakergetest;
- 6) veekindel pinnasekiht kaevusuudme ümber puudub või on ebapiisav;
- 7) sadevesi satub kaevu veetrassi kaevise kaudu;
- 8) pinnavesi voolab otse kaevu suudme ja kaane väikese tiheduse tõttu;
- 9) kaev on madal ja jääb periooditi kuivaks.

Kui vett on kaevus piisavalt ja vee kvaliteedi probleemid on tingitud vaid pinnavee sissevoolust kaevu, on odavam variant kaevu remont. Kui pinnasevesi aga on saastunud ja saastumise põhjust on raske likvidee-

rida, on otstarbekam ehitada uus kaev kohta, kus vesi on puhas ja saastumisoht ebatõenäoline.

Kõige tavalisem töö salvkaevu korrashoiul on vuukide ja tekkinud pragude tihendamine, milleks võib kaevu sees kasutada tsementmörti või tihendussegusid, mis sobivad kokkupuuteks joogiveega. Halvas seisundis oleva kaevukaane ja -luugi kaudu võivad kaevu sattuda putukad ja väiksemad loomad, nende väljaheidet ning jäanused. Seetõttu peab hoolt kandma, et kaevuluuk ja -kaas oleksid tihedad, lukk terve, tuulutustorul kübar ja putukavõrk olemas ning need oleksid terved ja puhtad. Kui kaevukaane alla on pandud soojustusmaterjal, peab ka seda puhastama. Vahepeiste mõjul tõuseb temperatuur kaevus suviti väga kõrgele. Sel juhul eemaldatakse suveks kaanealune soojustus, sest enamkasutatavad soojustusmaterjalid on heaks kasvulavaks mitmesugustele bakteritele. Kaevu ümbrus tuleb hoida puhas umbrohu ja võsast, sest nende juured kipuvad tungima kaevu, lõhkudes isolatsiooni ja põhjustades sette moodustumist kaevu põhjas.

Veetorustiku korrasolekut hinnatakse visuaalselt ja vajadusel vahetatakse lekkivad torud välja. Horisontaaloru väljavahetamisel on otstarbekas rajada vee-

trassi kaevisele ka savilukk, kui see siiani puudus. Kui maapind kaevu ümber on vajunud, on vaja pindmine kiht eemaldada, kontrollida vettpidava savikihi korrasolekut ja kile ning soojustusmaterjali kinnitust ja korrasolekut. Vigastuste korral asendada olemasolevad materjalid uutega. Esialgne maapinna kallakus tuleb taastada, vältimaks pinnavee voolu kaevu suunas. Kaevu sisemust peaks visuaalselt kontrollima vähemalt kord aastas. Vee värvus, sade ja maitse annavad küll üldpildi vee kvaliteedist, kuid ei näita siiski võimalikku bakterioloogilist reostust. Seetõttu on vajalik kord paari aasta jooksul võtta veeproov ja lasta see laboris analüüsida.

Salvkaevu remondiks on põhjust, kui võib oletada kaevurakete purunemist veepinnast allpool ja eelkõige siis, kui kaev ei anna enam soovitud koguses vett. Rakete parandamiseks allpool veepinda pumbatakse kaev tühjaks ja parandatakse vuugid. Tööde käigus on vajadusel otstarbekas remontida ka ülemised vuugid ja kaevukaas. Kaevu veeandvust võib parandada:

- 1) tihenend filterliiva või kruusa vahetamine kaevu põhjas uue vastu;
- 2) filterkolonni surumine sügavamale kaevu põhja pinnasesse (vaata kombineeritud kaevud);
- 3) kaevates kaevu seestpoolt sügavamaks ja lisades ülevalt rakkeid juurde;
- 4) kaevates kaevu sügavamaks ja lisades väiksema läbimõõduga rakkeid kaevu põhjaosasse;
- 5) pumbates pinnasesse (imenduskaevud või -koopad) sellesse imenduvat järve- või jõevett lähedal asuvatest veekogudest. Seejuures peab jälgima, et enne kaevu jõudmist oleks vee liikumistee pinnases vähemalt 50 meetrit. Sel juhul võib eeldada, et vee puhastamine läbi pinnase liikudes on piisav. Soovitav on siiski teha veeanalüüsid laboris.

Salvkaevusid peab puhastama, kui analüüsid näitavad, et vesi on joogiks kõlbmatu. Enne puhastustöödega alustamist peab selgitama saastumise põhjuse, et valida õige puhastusmenetlus. Parim viis vee puhastamiseks on saasteallika likvideerimine ja sellele järgnev vee väljapumpamine kaevust suures koguses ja piisavalt kaua. Kui tegemist on reostusega, mis tuleb kaevu enese halvast olukorrast (lekkivad vuugid, kaevukaas jm), on eelkõige vaja rike likvideerida. Seejärel on tõenäoline, et puhastuspumpamine ei kesta

kuigi kaua. Vee saastumisel võib puhastuspumpamine kesta aga mõnest päevast mitme nädalani. Siingi on olulisim reostuse põhjuse selgitamine. Kui reostuse likvideerimine pole võimalik, on otstarbekas rajada uus kaev kohta, kus reostus puudub või valida veeallikaks puurkaev. Seejuures on oluline vana kaev täita savika pinnasega, eemaldada ülemised rakked maapinnast vähemalt 1–1,5 m sügavuseni ja tasandada maapind.

Puhastuspumpamise ajal puhastatakse kaevurakked ka seestpoolt, alates ülemistest, kas käsiharja või survepesuriga, pidades silmas, et vanad rakked ei pruugi suurele survele vastu pidada. Lõpuks eemaldatakse kaevu põhjast mahaharjatud mustus ja antakse kaev uuesti käiku.

Kui kaevu tootlikkus on väga väike, võivad kahjulikud bakterid lisanduda sama kiiresti, kui kaevust jõutakse vett välja pumbata. Sel juhul on vajalik kaev desinfitseerida. Seda tehakse keeva vee, kuuma auru või kemikaalide abil. Keev vesi või kuum aur sobivad, kui kaevurakked kannatavad kuuma. Alguses pumbatakse kaev veest võimalikult tühjaks, seejärel hoitakse kaevus 5–10 minutit keeva vett või kuuma auru. Pärast seda pumbatakse kaevust vett välja piisavas koguses. Sel moel peaks kaevu kaks kuni kolm korda desinfitseerima. Keemiliseks desinfitseerimiseks kasutatakse kas klooripõhiseid kemikaale või vesinikperoksiidi (H_2O_2 ; vesinikülihappend), mis on võimalikult lahjad, kuid siiski piisavalt tõhusad. Lahus valmistatakse kaasasoleva instruksiooni järgi ja kantakse kaevu seintele pritsi abil. Keemilise desinfitseerimise järel on oluline pumbata välja nii palju vett, et kõik kemikaalide jäägid oleksid eemaldatud, pidades silmas ka seda, et pumbatav vesi ei satuks otse loodusesse. Soovitav on enne kaevu kasutuselevõttu lasta vett laboris analüüsida. Samuti tuleks enne kemikaalide tarvitamist nõu pidada veevarustuse spetsialistiga, sest mõned kemikaalid kahjustavad veetõsteseadmeid. Näiteks kloor kahjustab vasest ja messingist torustiku osi. Desinfitseerimine ei aita, kui saasteallikas on väljaspool kaevu või kaevu konstruktsioon on vigane.

Kombineeritud kaevu filtri puhastamiseks kasutatakse suure surve all oleva vee pumpamist toru kaudu filtreid. See eemaldab ummistavad pinnaseosakesed filtri võrgust ja piludest. Kaevu ülemise osa remont ja hooldus on analoogsed salvkaevuga.

12. PUURKAEVUDE VEETÕSTESADMED

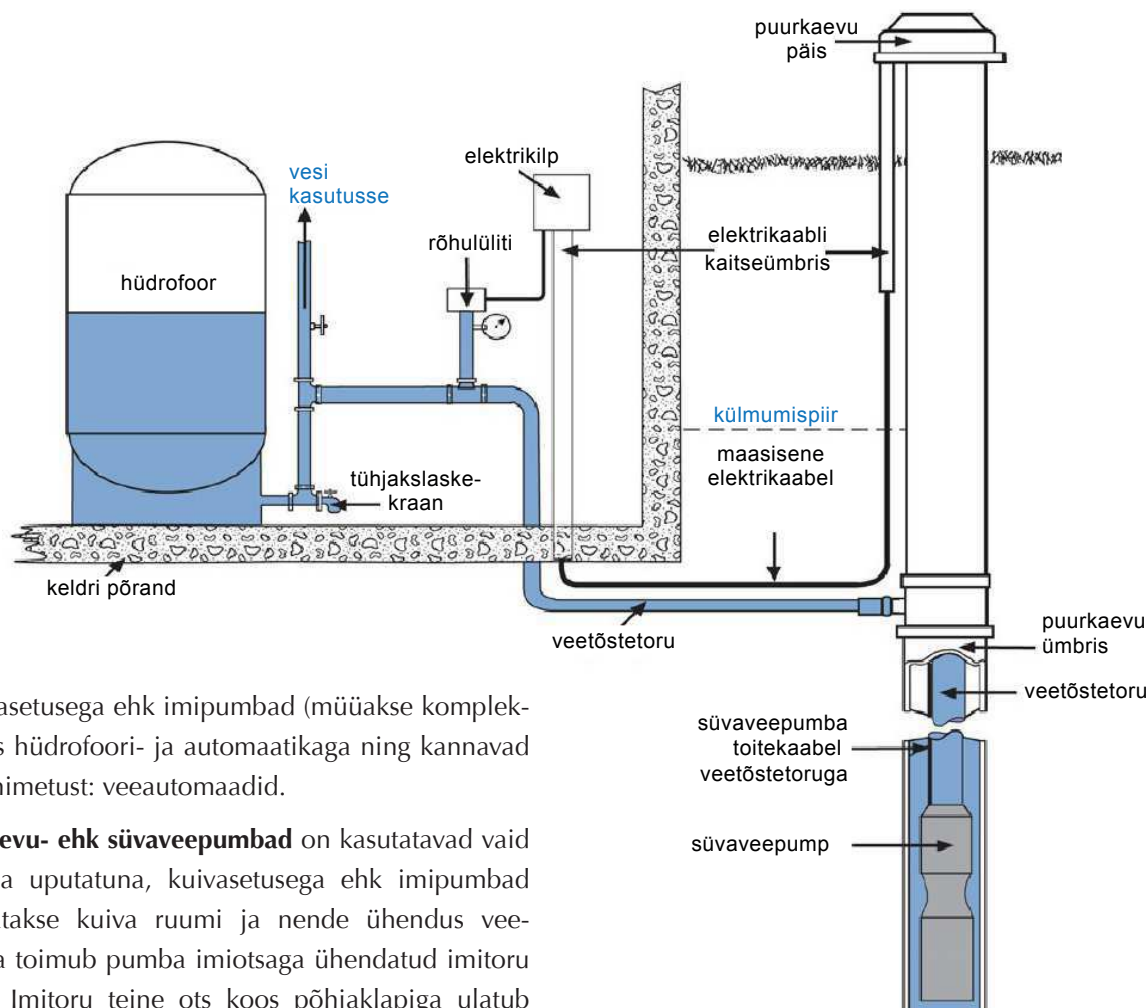
Puurkaevude varustamine veetõsteseadmetega sõltub rajatava veesüsteemi suurusest, otstarbest ja kaevu konstruktsioonist. Selles peatükis tutvustame lihtsamate veesüsteemide loomist keskendudes põhiliselt väiketarbijate veevarustusele ja rajame näitlikult ühe veesüsteemi. Enne veevärki looma asumist soovime tutvuda Ehitame kirjastuse trükisega „Omaveevärk ja omakanalisatsioon“ ning Grundfosi paigaldaja käsiraamatuga „Veevarustussüsteemid eramutes“ (www.grundfos.com). Alljärgnevas on rõhuasetus puurkaevude kasutuselevõtul tekkida võivatel lisaprobleemidel ja survesüsteemi rajamise põhimõtetel.

Üheastmelise veevarustuse põhiosadeks on veetõsteseade (pump), hüdrofoor ja rõhukontrolli vahendid koos pumba elektritoiteahela ning seadmeid ühendava torustikuga (joonis 1). Enimkasutatavad veetõsteseadmed võib omakorda jagada kahte gruppi:

1) puurkaevu- ehk süvaveepumbad (eristatakse põhiliselt diameetri järgi);

kaevu veepinnast sügavamale. Süvaveepumpadel on täishermeline mootor ja selle peal võllühendusega pumbaosa, milles paiknevad astmeliselt tööratastega rõhutõsteseksioonid. Pumba väljund ühendatakse veetõstetoriga, millega vesi suunatakse maapinnal asuvasse tarbesüsteemi. Süvaveepumpade valikuvõimalus on suur, mistõttu neid on võimalik kasutada ka juhul, kui põhjavee tasapind paikneb väga sügaval, kui on vaja saavutada kõrget rõhku või kui soovitakse pumbata suhteliselt suuri veekoguseid (4 tollise ühendusega pumbavalikus on seadmeid, mis suudavad tagada maksimaalselt 21 m³/h; 1 toll = 2,54 cm). Impumbad suudavad imeda vett vaid kuni 8 meetri sügavuselt, mistõttu saab neid kasutada üksnes seal, kus kaevu veepiegel on sellest tasemest kõrgemal. Erandkorras on võimalik imamissügavust tehniliselt suurendada 40–45 meetrini, kasutades selleks kaevus-

Joonis 1. Elamu veevarustuse süsteem.



2) kuivasetusega ehk imipumbad (müüakse kompleksis koos hüdrofoori- ja automaatikaga ning kannavad koondnimetust: veeautomaadid).

Puurkaevu- ehk süvaveepumbad on kasutatavad vaid vee alla uputatuna, kuivasetusega ehk imipumbad paigutatakse kuiva ruumi ja nende ühendus veeallikaga toimub pumba imiotsaga ühendatud imitoru kaudu. Imitoru teine ots koos põhjaklapiga ulatub



Joonis 2. Grundfosi süvaveepumbad (www.grundfos.com).



Joonis 3. Membraan-hüdrofoori läbilõige (www.cj4water.com).

uunal kahetorusüsteemi ja kaevu uputatavat ejektorit ehk imijugapumpa. Ejektori väljundtoru ühendatakse pumba imiotsaga ja tagastuv toru pumba poolt tekitatava survepoolega. Sel moel osa pumbaga surveleiks muudetud veest suunatakse uuesti ejetorisse, et tagada sügavamalt võetava vee ülestõstmine. Kõrge veetaseme korral võib imipumbal olla eeliseid selle odavuse tõttu või juhtudel, kui kaevu manteloru diameeter ei võimalda sinna süvaveepumba (joonis 2) sisestamist. Jugapumba kasutamise korral diameetri eelis kaob ja risk veevarustuse ebakindlusele suureneb oluliselt, mistõttu mõttekam oleks eelistada süvaveepumpa.

Survesüsteemi teiseks oluliseks osaks on **hüdrofoor**, mis täidab kaht eesmärki. Esiteks töötab ta reservuaarina, võimaldades pumbal madala või nn tilktarbe korral pärast etteantud rõhu saavutamist seiskuda. Teiseks ühtlustab ta rõhu tarbesüsteemis, leevendades pumba käivitumisel ja seiskumisel tekkida võivad hüdroloogid. Varasemalt kasutati valdavalt metallkorpusega õhkpadja-hüdrofoore, milles algselt tühja anumasse pumbatava veega suruti mahutis olnud õhk kokku ja saavutati sellega vasturõhk, mille toime pärast pumba seiskumist suruti teatava aja vältel vett tarbeahelasse. Pärast rõhu alanemist etteantud tasemele pump taaskäivitus ja protsess kordus. Sellise hüdrofoori efektiivsus oli suhteliselt madal, alata kadus mahutist õhk või vastupidi, kasvas veega kaasnevate gaaside tõttu ülemäära suureks. Samuti mõjutas üldjuhul mustast metallist hüdrofoor vee kvaliteeti. Tänapäeval kasutatakse valdavalt membraan-hüdrofoore (joonis 3), mille teraskorpuses paikneb kummimembraan (kott).

Membraani ja korpuse vaheline ala täidetakse korpuses oleva ventiili kaudu suruõhuga (eelrõhk) ja mahutisse pumbatav vesi paikneb üksnes survega suureneva või vastusurvega kahaneva koti sees. Sellise konstruktsiooni eelis on vee ja õhkpadja kontakti puudumine, eelrõhu suhteliselt pikaajaline püsimine ning suurem efektiivsus. Membraan-hüdrofoor kuulub veeautomaatide seadmekomplekti. Selle suurus varieerub mõnest liitrist mõnekümneni ja süsteemi stabiilsuse huvides võib lisada täiendava mahuti.

Erandina on teatud situatsioonides õhkpadja-hüdrofoor vajalik, kuid seda uuenenud kujul. Nii leiab laialdast kasutamist läbivooluga hüdrofoor, mis on valmistatud komposiitplastist, varustatud õhkpadja (mahuti ülaosas) suunatud sissevoolu- ja mahuti all-osas oleva väljavoolutoruga. Hüdrofooril on õhkpadja nivooklapp ning seade võib osutada asendamatuks liiggaasilise vee töötlemisel.

Kolmas oluline survesüsteemi komponent on **pumba toite- ja juhtahel**, mille kaudu toimub seadme käivitamine ning seiskamine vastavalt etteantud rõhusätetele. Lihtsamate veesüsteemide korral juhitakse veetõste-seadet (süvaveepumpa, imipumpa) kas hüdrofoorile või selle sisendile võimalikult lähedale paigaldatud rõhurelee-/pressostaadiga. Üha enam leiab kasutust pumpadele kaasamüüdav püsirõhuhoide süsteem või sagedusmuundur koos spetsiaalse rõhuanduriga. Kolmefaasilistele pumpadele, mille võimsus ületab 0,75 kW ja mida ei juhitata sagedusmuunduriga, oleks mõistlik panna sujuvkäiviti, millega välditakse pumba pekslemist vastu kaevu seinu ja kaitstakse toitekaablit vigastuste eest. Samuti kaitseb see võimsama pumba järsu käivitumise-seiskamisega kaasnevate hüdroloogide eest. Kolmefaasiliste pumpade juhtahel, milles ei kasutata sagedusmuundurit, peab kindlasti olema kaitstud mootorikaitsmega, mis on reguleeritud kasutatava seadme voolutugevusele vastavalt. Veeautomaate müüakse üldjuhul komplekteerituna rõhukontrolliahelaga, mistõttu piisab vaid seadme veesüsteemi ühendamisest ja elektritoite tagamisest.

RAJATAVA VEESÜSTEEMI PLANEERIMINE, SEADMETE VALIK

Esmast veevarustuse süsteemi rajama asudes peaks alustama tutvumisest kaevu tehnilise dokumentatsiooniga. Uuemate kaevude omanikel on vastavad paberid tavaliselt olemas, kuid sageli tuleb ette olukordi, kus kaev on rajatud aastaid tagasi või omandatud koos kinnistuga ja vajalik andmestik puudub. Selles olukorras leiate otsitavad andmed Eesti Keskkonnaagentuuri poolt hallatavalt VEKA veebilehelt: <http://loodus.keskkonnainfo.ee/WebEelis>, valides selle avalehelt lingi „puuraukude andmed“ ning sisestades otsingutabelisse kaevu paiknemise kohta teadaolevad andmed (näiteks kinnistu katastritunnuse). Andmed leiate siit loomulikult juhul, kui otsitav kaev on legaalne ja katastrisse kantud.

Puurkaevu dokumentatsioonis on seadmete valiku seisukohalt olulise tähtsusega järgmised andmed:

- 1) kaevu sügavus;
- 2) staatiline veetasapind (tasapind, kus paikneb veepeegel siis, kui kaevust vett ei võeta);
- 3) dünaamiline veetasapind ja tootlikkus selle juures (pumbates vett koguses, mis ei ületa kaevu maksimumtootlikkust, hakkab veepeegel alanema olenevalt võetavast veehulgast ja stabiliseerub teatud sügavusel. Kui kaevust võtta vett rohkem, kui vettandvast kihist peale voolab, jääb kaev „kuivale“, s.t veevool pumpamisest katkeb);
- 4) kaevu konstruktsioon (manteltorude, üleminekute, filtrite või perforeeritud torustike olemasolu, diameeter ja paigaldussügavus, lisakolonni puudumisel kaevu töötava osa puurimisdiameeter, manteltorude tsementatsioon);
- 5) kaevu vettandev horisont ja selle iseloomustus (kivimi tüüp, tsementeeritus, savikus, puurimisel äärmärgitud iseärasused);
- 6) kaevu rajaja soovitusel sobiva veetõsteseadme kasutamiseks;
- 7) veeanalüüsid.

Lisaks puurkaevu andmetele tuleks jõuda selgusele, milline saab olema veetarbija eeldatav maksimaalne hetkeline veekasutus, s.t kui palju on inimesi ja millised tarbepunktid võivad olla üheaegselt kasutusel. Kas suveperioodil lisandub kastmisvesi või täidetakse

periooditi basseini või mõnda muud suuremat mahuti. Kas survesüsteemi juhtahela seadmeid on võimalik paigaldada elamusse või rajatakse kaevu juurde selle tarbeks pumbamaja. Kuidas on võimalik rajada perspektiivse veetõsteseadme elektrivarustus, kas on otstarbekas valida kolmefaasiline või ühefaasiline seade ja kas olemasolev peakaitse võimaldab kasutada lisaseadmete. Kui kaevu kohta on olemas nõuetele vastavad veeanalüüsid ja neist on näha, et mõne komponendi osas vajab vesi kindlasti töötlemist, siis tuleks klienti sellest koheselt teavitada ja arvestada, et ka töötlusseadmed tuleb kuhugi mahutada.

Kui kõik loetletud küsimused on täpsustatud, võib asuda pumpa ja survesüsteemi seadmeid valima. Prioriteediks on kaev, s.t et olenevalt viimase tootlikkusest ja sellega kaasnevast veetasapinna alanemisest tuleb valida õige veetõsteseade. Tarbijale peab olema kindlustatud vajalik veesurve, ühtlane veekvaliteet ning pump ei tohi kuivale jääda. Tuleb meeles pidada, et:

- 1) süvaveepump paigaldatakse veepinnast sügavemale, kuid pumba töögraafikul näidatud tõstekõrgust arvutatakse veepinnast. Pumba uputussügavus on üldjuhul 10 meetrit allpool dünaamilist taset, kui olemasolev olukord seda võimaldab;
- 2) arvestada tuleb kaevuvee dünaamilise tasapinna muutumise sõltumist pumbatava vee hulgast;
- 3) mitte ühtegi kaevu ei saa rajada lähtudes üksnes pumpade valikust;
- 4) kasutusele võetakse pump, mis tagab nõutava surve tarbesüsteemis, kuid vastavalt vajadusele tema võimalusi piiratakse kas mehaaniliste (reguleerarmatuur) või elektrooniliste piirajatega (sagedusmuundur).

Kõikide pumbatootjate tootekataloogid on varustatud tootevaliku tabelite ja seadmete töögraafikutega, mille põhjal on võimalik valida iga konkreetse kaevu ja rajatava veevarustuse jaoks sobivaim veetõsteseade. Alljärgnevalt kirjeldame pumba ja lisaseadmete valikut konkreetse kaevu näitel.

Näide. Pump on vaja panna kaevu, mis on rajatud 10 aastat tagasi. Kaevu sügavus on 30 m, millest ülemised 11,2 m on manteldatud terastoruga (läbimõõt 133 mm, kogupikkusega 11,6 m). Kaevu töötavaks osaks on vahemik 11,2–30 m puurimisdiameetriga 118 mm.

Manteltoru tagune on tsementeeritud. Filtrid kaevus puuduvad. Vettandvaks kihiks on Siluri–Ordoviitsiumi Harju põhjaveekogumi O₂kk–j h põhjaveekiht. Puurimisjärgsel oli kaevu staatiline tase 0,3 m ja dünaamiline tasapind 9,3 m tootlikkusel 0,8 l/sek (2,88 m³/h).

Kuna kaev oli enne kasutusele võtmist pikka aega seisnud, tehti värskelt puhastus/katsepumpamine, määrati uuesti kaevu tehnilised näitajad ja võeti veeanalüüsid. Katsepumpamise andmetel fikseeriti kaevu staatiline tasapind + 0,2 m (!), dünaamiline tasapind 12,7 m tootlikkusel 2,16 m³/h. Ühtlasi anti soovitus paigaldada pump sügavusele 21 meetrit ja seadistada see tootlikkusele kuni 2 m³/h, sest suurema veevõtu korral ilmneb savikatest vahekihtidest hägusust tekitava materjali väljaleostumine.

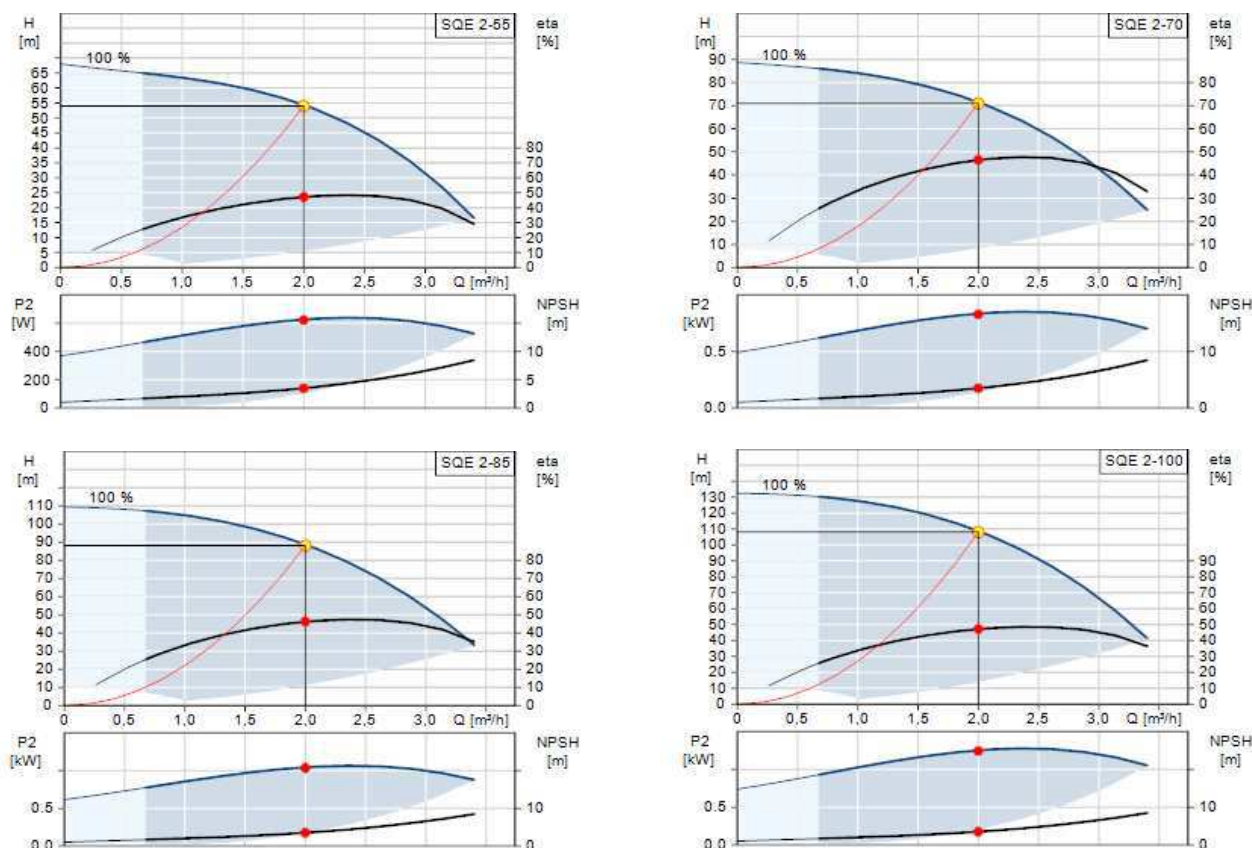
Pumbamaja ehitada ei plaanita, mistõttu pump tuleb panna kaevu adapteriga ja ühendada elamu tehnoruumi viiva veetrassiga (DE 32 PEH torustikust trass pikkusega 70 m on juba olemas). Paralleelselt veetrassiga on pumba toite jaoks pandud maakaabel 5 × 4 mm² ristlõikega. Pumba juhtahela seadmed ja membraan-hüdrofoor paigaldatakse tehnoruumi ning sinna saab vajadusel mahutada ka veetöötlusseadmed. Tellija sooviks on, et valitakse Grundfosi pump SQE sarjast, millele on hiljem võimalik lisada püsirõhuhoide seade. Joonisel 4 on kujutatud võimalike kasutatavate SQE pumpade töögraafikud, millel on ära märgistatud tööpunkt kaevu lubatava maksimaalse veevõtuga (2 m³/h). Eeldatav rõhk rajatavas survesüsteemis saab olema 3,5–4,5 baari.

Pumba valimisel lähtume teadmistest, et veepinna dünaamiline tase (H1) kaevus langeb umbes 13 meetrini maapinnast ja et DE 32 PEH toru survekadu (H2) 100 meetri kohta on umbes 0,8 baari ehk antud juhul (70 m trassi = 0,8 × 0,7) ligikaudu 0,6 baari = 6 m. Et elamu ja tehnohoone paiknevad kaevuga samas tasapinnas, siis reljeefiga kaasnevat rõhumuutust arvestama ei pea. 4,5 baarise surve (H3) tagamiseks elamu tarbeahelas peaks pumba maksimaalne tõstevõime olema $\geq H1 + H2 + H3 = 13 \text{ m} + 6 \text{ m} + 45 \text{ m} = 64 \text{ m}$. Eeltoodud pumpade graafikute järgi vastavad kõik pumbad oma võimetelt nendele tingimusele. Kõikide valikusolevate pumpade maksimaalne tootlikkus ületab vabavoolsest või madalal vasturõhul 3 m³/h. Lisaks elamu tavatähtsustele (WC, segisti, dušš) on ka tünnisaun mahutavusega 1500 liitrit ja selle

täitmiseks rajatud torustik DE 25. Sel juhul tuleb vee kvaliteedi huvides tehnoruumi trassisisendile kindlasti paigaldada mehaaniline piiraja, mis takistab vee läbi voolu üle 2 m³/h, kuid ei alanda pumba lõpptõstet. Et aga piiramisega kaasneb tööõhu tõus enne piiravat seadet (trassis ja pumba veetõstetorus), oleks mõistlik teha valik kas SQE 2-55 või SQE 2-70 kasuks, mille puhul rõhutase nimetatud piirkonnas ei kujuneks liiga kõrgeks.

Järgnevalt tuleks valida membraan-hüdrofoor, mille suurus võimaldaks süsteemi sujuvat töötamist ja samaaegselt aitaks vältida pumba sagedast sisse- ja väljalülitumist (ilma sagedusmuundurita süsteemi puhul ei tohiks pumba lülituste arv ühes tunnis ületada 20–25 korda). Käesoleva veesüsteemi korral kasutame 100 liitrist membraan-hüdrofoori, reguleerime pumba käivituma rõhule 3,5 baari ja seiskuma rõhul 4,5 baari. Kuna kaevu paigaldatud pumba veetootlusvõimalused on tehnoruumi sisendil piiratud, jääb seade võimaliku püsiva veetarbe korral kestvalt tööle, üritades hoida survet tarbeahelas ja olemasolev hüdrofoor kompenseerib võimaliku rõhulangu. Rõhu reguleerimisel arvestame Danfossi pressostaadi KPI kasutamise, sest viimane võimaldab küllaltki detailset rõhuvahe reguleerimist vahemikus 0,5–1,8 baari (tavalise rõhureleega on saavutatav väikseim rõhuvahe 1,1 baari). Pumba toiteahelasse planeerime väikesemõdulise moodulkilbi, kuhu pannakse kolme faasiline on/off pealüliti (võimalik korraga katkestada nii N kui L ahel) ja ühefaasiline kontaktor, läbi mille saab toite süvaveepump ja mille juhtahel seotakse pressostaadiga. Moodulkilbi toiteahel ühendatakse omakorda tehnoruumis asuva peajaotuskiilbiga, kus selle tarbeks on spetsiaalne vooluautomaat.

Veesõlme kohta projektjooniseid koostatud ei ole. Teeme ise tööskeemi, millel planeerime seadmete paigutuse, torustike kulgemise, vajalikud sulgarmatuurid, proovivõtu- ja tühjenduskraanid, manomeetrid ja veetöötlusseadmed (veeanalüüsi põhjal sisaldub kaevuvees ülenormatiivselt rauda – 0,39 mg/l). Et tellija ei näe hetkel rahalist võimalust veetöötuse kasutamiseks, asendame vastavad seadmed esialgu odavate mehaaniliste padrunfiltritega, mis peaksid võimaliku mehaanilise lisandi kinni püüdma. Torustiku materjalina arvestame AL-Pex toruga, spetsiaalsete pressliidestite ning lahtivõetavate ühendustega olulistes sõlmedes.



Joonis 4. Grundfosi süvaveepumpade SQE 2-55, 2-70, 2-85 ja 2-100 töögraafikud.

PUMBA KOMPLEKTEERIMINE, PAIGALDUS JA SURVESÜSTEEMI RAJAMINE

Jätkame näidiskaevu baasil pumba paigaldamist ja survesüsteemi ehitamist. Eelnevalt oli märgitud, et pumbamaja kaevu kohale ei rajata. Seetõttu pandi pump kaevu adapteri abil ning vesi juhitakse veetõstetorst otse trassi (joonis 5). Normaalse adapteri paigaldussügavus on üle 1,5 meetri. Antud kaevu puhul saab kasutada ühetollist adapterit ja ühendusliitmikke.



- 1 – veetõstetoru
- 2 – adapteri „liff“
- 3, 6 – liitmikud
- 4 – adapteri „pesa“
- 5 – mantel
- 6 – veetrass

Enne reaalse tegevuse juurde asumist tuleb pump varustada spetsiaalse kummiisolatsioonis toitekaabliga (pumba tehasekomplekti kuulub enamasti 1,5 meetri pikkune mootori külge ühendatud kaablijupp). Kaabli valikul tuleb sõltuvalt tarbitava voolu tugevusest lähtuda eelkõige soonte ristlõikest, toiteliini materjalist ja liini pikkusest. Kaabli õige ristlõike valimiseks on igas pumbakataloogis olemas vajalikud tabelid. Kuna käesoleval juhul on tehnoruumist kaevuni paigaldatud vasest traadisoontega maakaabel $5 \times 4 \text{ mm}^2$ (ca 75 m) ja tegemist on ühefaasilise 4,6 A mootoriga, mille uputame kaevu 21 meetri sügavusele, siis võib piirduda pumbakaabliga, mille soone ristlõige on $2,5 \text{ mm}^2$ ($3 \times 2,5 \text{ mm}^2$). Kaabli ühendus mootoriga tuleb teha äärmiselt korrektselt, sest liitmik hakkab paiknema vee all ja ühendusest võib sõltuda seadme eluiga. Tuleb jälgida, et omavahel ühendatavad kaablisooned oleksid ühesuguse isolatsioonivärviga. Kaablite ühendamiseks kasutatakse soone ristlõikele vastavaid pressitud jätkuhülse, mis üh-

Joonis 5. Veetõstetoru ja trassi ühendus.

damisel varustatakse kuumkahaneva isolatsiooniga. Pärast soonte ühendamist kaetakse kogu kaabli jätku-koht veel kord kuumkahaneva isolatsiooniga, mis on täiendavalt varustatud liimikihiga. Isolatsiooni pikkus peab olema piisava varuga, et tagada liitekindlus. Pumba kaabliliitmiku tegemine oleks mõistlik ette võtta kuivas kohas, et vältida veepiiskade sattumist isolatsiooni vahele. Kuumkahaneva isolatsiooniga katmisel tuleb kasutada kuumaõhufööni, mitte gaasipõletit!

Lisaks adapterile tuleks pumba paigaldamiseks varuda PEH veetõstetoru (läbimõõt 32 mm), messingliitmikud pumba- ja trassitoru ühendamiseks, torusisesed tugihülsid, roostevaba julgestustross (läbimõõt 3 mm) koos roostevabade lukkudega ja puurkaevu kaabliühenduskarbikuga päis ning roostevaba sisuga vedru tagasilöögiklapp, mille asetame adapteri alla. Pumba ja adapteri kohale seadmiseks peab kaasas olema vähemalt kahe meetri pikkune paigaldusvarras, mille ühes otsas on ühe tolline väliskeere ja teises otsas ristkäepide takistamiseks varda „käest minemist“ ja kaevu kukkumist. Ava tegemiseks tuleks omada BI-metall freesid läbimõõduga 44 mm koos vastava jala- ja juhtpuuriga ning aeglase pööretega jõulist trelli (juhtpuure ja freese võiks ootamatuste ärahoidmiseks kaasas olla varuga). Vaja võib minna ka ketaslõikurit.

Kuna käesoleval juhul on trassitoru kaevu lähiste toodud, kuid kaevu ümbrus on lahti kaevamata (lahti-kaevamiseks kasutame miniekskavaatorit), siis on igaks juhuks vaja kaasa võtta korralik tühjenduspea koos voolikuga, et vajadusel tõrjuda kaevesse kogunevat pinnasevett. Objektile jõudes monteerime esmalt kokku pumbatorustiku, ühendades ühte otsa adapteri lifti koos tagasilöögiklapi ja toruliitmikuga ning teise otsa pumba. Enne liitmikuga ühendamist asetatakse torusse tugihülsid, mis takistavad toru koonusesse pressimist liitmikke kinni keerates ja vähendavad võimalikku liitmikust väljatulemise võimalust. Roostevaba julgestustrossi ühe otsa kinnitame pumba külge ja fikseerime trossilukuga, teine ots kinnitub adapteri lifti külge läbi spetsiaalse ava ja fikseeritakse samuti lukuga. Pumba toitekaabel laotatakse veetõstetoru kõrvale ja kinnitatakse iga 1,0–1,5 meetri tagant veekindla teibiga toru külge. Enne pumba paigaldamist varustame tehnoruumi trassisisendi manomeetri ja kuulkraaniga, millega perspektiivis reguleerime pumba tootlikkust, kuid hetkel sulgeme võimaliku

vabavoolse vee pealevoolu. Maakaabli abil rajame ajutise vooluühenduse kaevu juurde.

Nüüd aga tähelepanu! Staatile veetase kaevus on puhastus- ja katsepumpamise andmetel + 0,2 m, mis tähendab, et adapter tuleb panna vee alla. Arvestades kaevu tootlikkust ja sellega kaasnevat alandust, otsustame, et lihtsaim viis adapteri kohale seadmiseks on veealanduse tekitamine paigaldatava pumbaga. Enne kaevetöödega alustamist teeme kõik vajalikud ettevalmistused ja paneme pumba üle kaevuotsa pumpama tootlikkusega 2 m³/h (see kiirendab ühtlasi ka edasist tegevust, sest kaev vajab enne surveüsteemi ühendamist niikuinii läbipumpamist) ja tekitame adapteri panekuks vajaliku alanduse. Väljapumbatava vee juhime voolikuga kaevust kaugemale, et mitte raskendada kaevetöid. Ometigi läheb kaevetööde käigus vaja tühjenduspea, sest kaevu ümbrisev pinnas on pinnaseveega üleüllastunud ja adapteri paigaldamine on paras võitlus kaevuvälise tingimustega. Kui õige sügavus on saavutatud, võtab adapteri jaoks ava freesimine aega 3–5 minutit. Seiskame süvaveepumba ja eemaldame adapteri statsionaarosa küljest vee eemalejuhtimise vooliku. Samuti eemaldame adapteri toruvälise fiksaatormutri, seibi ja tihendi. Kaasasoleva varda abil laseme adapteri kaevu ning leidnud üles õige koha, sobitame etteulatava keermeosa freesitud avasse. Asetame kohale eelnevalt eemaldatud tihendi, seibi ja mutri läbi toru ulatuvale otsale ning pingutame mutrit seni, kuni oleme veendunud, et läbiviik on liikumatult paigal ja vastu toru asetsev tihend peab vett. Ühendame läbiviigu külge trassiliitmiku ning tema sisse toruhülsiga varustatud trassitoru. Nüüd võime varda adapteri küljest vastupäeva keerates eemaldada ja kaevust välja tõsta.

Järgnevalt asetame puurkaevule spetsiaalse päise, milles teeme pumba toitekaabli ja maakaabli ühendamise. Kaablite soonte ühendusreegel on: värv värviga. Et käesoleva kaevu puhul vajame ühefaasilist toidet, jääb osa maakaabli soontest vabaks. Vabad kaabliotsad tuleb isoleerida (soovitavalt pimeklemmikutega). Võttes arvesse asjaolu, et konkreetse kaevu staatile veepind võib tarbe puudumisel tõusta maapinnast kõrgemale, isoleerime manteltoru ülemise 1,5 m pikkuse osa külmakaitseks vahtpolüstürool torukoorikuga ja ümbrise selle PVC kattega. Pinnase planeerimisel tekitame väikese künka ümber kaevu, jättes toruotsa umbes 20 cm maapinnast kõrgemale.

Kui surve- ja juhtseadmete paigaldamiseks tehno-ruumis on töö tehtud ja kõik vajalikud materjalid eelnevalt kavandatud paigaldusskeemi (joonis 6) järgi olemas, võtab töö kahe inimesega aega umbes kaks tundi.

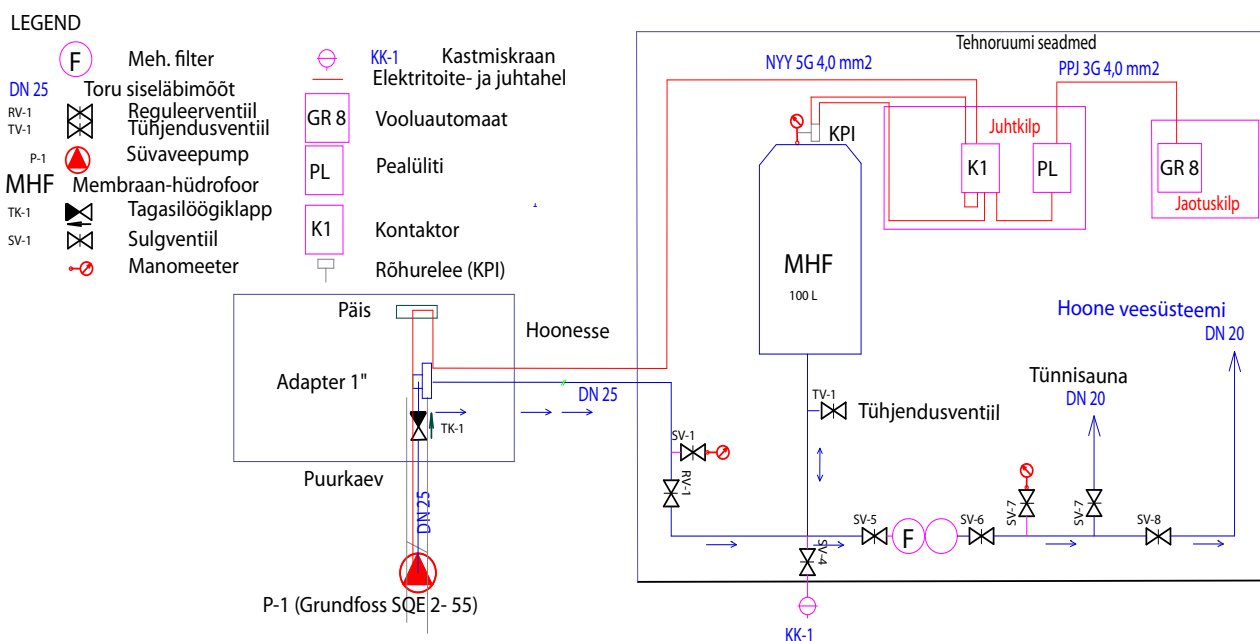
Seekord kasutatud 100-liitrisel membraan-hüdrofooril on veeühendused nii all kui peal, mistõttu pressostaadi koos manomeetriga saab panna hüdrofoori peale ning veesisendi ja -väljundi toruühendused teha selle allosas. Väiksemamõdulistel hüdrofooridel on üksnes sisend ja väljund, mistõttu nende rõhukontrolli seade tuleks monteerida võimalikult mahuti lähedale, vältimaks pumba käivitumisel tekkida võivat hüdrolooki ja sellega kaasnevat rõhurelee sisse- ja väljaplõksimist.

Ühtlasi juhime tähelepanu asjaolule, et vältida tuleks pumba ja rõhukontrolli seadme vahelisele veetorus- tikule sulgarmatuuride panekut (v.a reguleerseade), sest nende mitteteadlik sulgemine võib esile kutsuda pumba kontrollimatu rakendumise ja ettenägematud ebameeldivused. Kui võimaliku hoolduse tarbeks siiski paigaldatakse sulgarmatuur, siis reguleeritakse see täisavatuks ja eemaldatakse käepidemed.

Väljavõtte kastmisvee tarbeks rajame enne mehaanilisi filtreid, sest filtrite puhastusvõimet ei ole mõtet asjatult raisata.

Pärast kõigi vajalike osiste paikapanekut käivitame pumba ja alustame süsteemi reguleerimist. Katsetamiseks, juhtseadmete reguleerimiseks ja ühtlasi veetrassi läbipesuks ühendame hüdrofoori tühjendusventiilile (TV-1) vooliku, millega juhime pumbatava vee õue. Voolikusse suunatavat veehulka muutes reguleerime pressostaadi sätteid ja simuleerime reaalselt võimaliku veetarvet, kusjuures mehaaniliste filtrite eelse kuulkraani hoiame esialgu suletuna. Lähtuvalt pumba töögraafikust (paigaldati SQE 2-55) ja kaevu lubatud tootlikkusest, reguleerime piirava ventiili (RV-1) viimase ette pandud manomeetrit jälgides vasturõhule 2,8 baari (piiramisel arvestame pumba töögraafikuga) ja eemaldame reguleerseadmelt käepideme. 1,5-tunnise pumpamise ja seadistamise järel on vesi kristallselge ning eeldatavad sätted paigas. Nüüd avame filtrite sisendi ja väljundi ning survestame ülejäänud torustiku. Töö, mis võttis aega umbes kümme tundi, on tehtud ja klient võib asuda vett tarbima. Antud kaevu valisime näidiseks seetõttu, et siin oli vajalik enam-vähem iga liigutus eelnevalt läbi mõelda. Ülevooluga või adapteri paigaldussügavusest kõrgemal oleva staatilise veetasemega kaevu puhul ei ole võimalik pumba paigaldamisega tegelda ositi, vaid kõik peab toimuma kindla plaani kohaselt ja kindla aja jooksul, olles valmis kõigiks ettenägematusteks. Samuti usun, et märkasite kirjelduses pumba tootlikkuse piiramise põhimõtet, mida sõltuvalt kaevu kvaliteedist, pumba tootlikkusest või looduse poolt ette antud võimalustest, tuleb kasutada väga sageli.

Joonis 6. Veevarustuse survesüsteemi skeem.



KAEVUDE KASUTUSELEVÕTUGA KAASNEDA VÕIVAD ENAMLEVINUD PROBLEEMID

Eesti geoloogilised tingimused on kaevude rajamise seisukohalt üsna keerulised ja muutlikud. Põhja-Eesti rannikualadel võib esineda olukordi, kus mõnesaja meetrise raadiusega alal on ühel juhul võimalik kaev rajada lubjakividesse või Kambriumi-Ordoviitsiumi liivakividesse, teisel juhul üksnes Kambriumi-Ordoviitsiumi liivakividesse või Kambriumi-Vendi vee-kompleksi, kolmandal juhul üksnes maetud oru kohale kuhjunud Kvaternaari setetes. Lõuna-Eestis muudab olukorra keeruliseks muutlik reljeef ning Kvaternaari setete suur mitmekesisus ja paksus. Erinevates kaevudes, milles ammutatakse vett ühest ja samast liivakivikompleksist, esineb sageli juhuseid, kus ühes on kivimid tugevalt tsementeerunud, teises pea olematu tsementatsiooniga. Põhja-, Kesk- ja Lääne-Eestis ning Lääne-Eesti saartel võib lähestikku asuvatest ja sama veekihti avavatest kaevudest üks olla ohjeldamatu tootlikkusega, kuid teises on vee kättesaamisega tõsiseid probleeme. Meie põhjavesi on üldiselt surveine ning esineb juhuseid, kui rajatud kaevud osutuvad ülevoolavateks. Samas esineb ka juhuseid, kus näiteks 50 m sügavusel avatud veehorisondi staatiline tase jääbki 50 m sügavusele.

Lubjakividesse rajatud kaevude varustamisel veetõsteseadmega on tavaliselt vaja pumpamisandmetele tuginedes välja valida enam-vähem õige seade, paigaldada see kaevu ning pärast töölerakendamist kontrollida, et kaevu dünaamika ei ohustaks süsteemi töötamist. Samuti tuleb veenduda, et veevõtuga ei kaasneks savika materjali kaasakannet ja hägusust. Vajadusel tuleb tootlikkust piirata kuni vee täieliku selginemiseni ja seejärel rakendada tööle survesüsteem. Omaette probleemiks kaevu läbilõikes võivad kujuneda kinni manteldamata K-bentoniidi (varem metabentoniit; vulkaanilisest tuhast kujunenud kaaliumirikas savi) vahekihid Ülem-Ordoviitsiumi Haljala lademe lubjakivides, mis hakkavad vees välja leostuma. Väljaleostumisel moodustub vees ülipeen ja kerge hõljum, mille vastu ei aita tihti tootlikkuse piiramine ning mida tarbeveest ei ole enamasti võimalik välja filtreerida. Ainsaks vee kvaliteedi parandamise võimaluseks on ohtliku intervalli isoleerimine. Enim probleeme K-bentoniidiga on täheldatud Lääne-Eestis (Nõva, Risti jm). Savika materjali kaasakannet põh-

justavad enim Llandovery ja Wenlocki ladestiku Adavere ja Jaani lademe merglilised lubjakivid, mistõttu neid kivimeid kasvõi vähesel määral avavate kaevude seadmestamisse tuleb suhtuda teatava reservatsiooniga ja olla valmis ettenägematusteks.

Omaette klassi moodustavad ülevooluga kaevud, mille puhul tuleks olla ülimalt ettevaatlik nii trassiühendustarvikute kui nende paigaldusmeetodite valikul, sest ettenägematusest võib esile kutsuda kõrvaldamatuid või suure vaevaga kõrvaldatavaid probleeme. Juhul kui kaevu ülevool on intensiivne, saab vett võtta näiteks hermeetiliselt suletava päise kaudu, kuid eelnevalt tuleks veenduda, kas vettandva kihil kohal kasvavad kivimid ja purdsetted on manteltorudega piisavalt pikalt suletud ning kas torude tagune on korralikult tsementeeritud. Kuni nimetatud küsimustes jääb üles mingeidki kahtlusi, ei ole soovitatav sellise lahendusega arvestada. Sulgedes kaevutoru hermeetiliselt, hakkab vesi „otsima“ teisi võimalusi survest vabanemiseks ja leiab selle ebakvaliteetse tsementatsiooniga toru tagant, uuristades sealt voolutee maapinnani ja edasised katsed seda peatada on väga kulukad kui mitte võimatud. Kui soovite veeühenduse teostada adapteriga, kuid pumbaga vajalikku alandust ei suuda tekitada, on võimalik kasutada ajutiselt kaevu paigaldatavat suruõhupalli. Seda aga eeldusel, et torutagune tsementatsioon on kapitaalne. Selliste kaevudega kaasneb tavaliselt võimaliku liigvee ärajuhtimise ning soojustamise vajadus.

Kaevudes, kus vettandva kihina avatakse liivakivi (Kambriumi-Vendi, Kambriumi-Ordoviitsiumi, Devoni liivakivid), on pumpade paigaldamisel tihti probleemiks veega kaasnev liiv, mis võib olla tingitud kivimi nõrgast tsementeerumisest, kaevu konstruktsioonist ja liigintensiivsest veevõtust. Kohtades, kus kasutatakse Kambriumi-Vendi veekompleksi avavaid kaevusid, esineb liivaprobleeme harva, sest see veekompleks paikneb suhteliselt tugevalt tsementeerunud liivakivides ja liiva kaasakanne viitab enamasti liiga võimsale veevõtule. „Liivahädad“ on laialdaselt levinud Kambriumi-Ordoviitsiumi veekompleksi kasutamisel – seda kivimi muutliku tsementeerumise ja kohati väga madala veandvuse või kaevu konstruktsiooni tõttu. Enamus selle horisondi eratarbijatele

rajatud kaevudest ei ole vettandva kihi osas varustatud filtritega ja kui kaevu dokumentatsioonis on näidatud tootlikkuseks 3 m³/h, võib üsnagi kindel olla, et liivavabalt on võimalik vett võtta 50–70% ulatuses nimetatud kogusest. See tähendab sagedast pumpade töövõime piiramist ja viitab kaevu rajanud ettevõtte tegemata tööle, sest kaevu lõppdokumentatsioonis see ei kajastu. Eriliselt nõrga tsementatsiooni poolest torkavad silma paljud piki rannikut Türisalust Paldiskini rajatud ja seda horisonti kasutavad puurkaevud. Paljudel neist on ka madal veeandvus. Näiteks Rakvere ümbruse analoogsetes kaevudes on kivimid tugevamalt tsementeerunud ja liiva kaasakande probleemid oluliselt harvemad.

Devoni liivakividesse rajatud kaevud (Lõuna- ja Kagu-Eestis) võivad üllatada mõnes kohas ka väga kogunud pumbapaigaldajat, sest savi vahekihtide või läätsedega liivakivid ja aleuoliidid on ühe kaevu rajamiskohas täiesti stabiilsed, kuid teises kaevus kanduvad kivimi koostisosad väga hõlpsasti veega kaasa. Nii võib juhtuda, et juba olemasoleva tootliku ja probleemivaba kaevu konstruktsiooni järgides rajatakse lähikonda analoogne, mille tootlikkus võib kujuneda suuremaks kui eelkäijal, kuid lisandivaba vee ammutamine võib osutuda tõeliseks katsumuseks.

Eesti põhjaveele on veel omane vee looduslik gaseeritus. See probleem ei ole absoluutne, sest ei kaasne iga rajatud puurkaevu veega, kuid võib kerkida üles kõigi eelkirjeldatud horisonte avavate kaevude puhul. Veega kaasnevad gaasid võivad olla kas lõhnavad (väävelvesinik H₂S) või lõhnatud (lämmastik N₂, süsinikdioksiid CO₂, metaan CH₄). Gaasiline vesi põhjustab ebaühtlast veevoolu ja ulatuslike veetrasside ning tarbepunktide olemasolul võib kõrgematesse punktidesse koguneva gaasi tõttu osa tarbijaid jääda ilma veeta. Gaaside olemasolu võib mõjuda veesüsteemi-

dele laastavalt, põhjustades hüdrolooke või tekitades agressiivse keskkonna.

Toksilise väävelvesiniku esinemise korral pööravad veetarbijad olukorrale kohest tähelepanu, sest häirib veega kaasnev mädamunalõhn. Ohtlikeim gaasilisand on metaan, mida esineb küll piiratud alal, kuid mille olemasolu võib tekitada eluohtlikke olukordi. Suur oht metaani kaasnemisele põhjaveega on Põhja-Eesti rannikualal Juminda poolsaarest Kundani, Maardu ümbruses ja ka Pakri poolsaarel, kuid juhuseid on esinenud ka Lääne-Eestis (näiteks Tõstamaa alevik).

Metaan on eriti ohtlik, kui ta moodustab 5–16%-lise õhulisandi vees – tekkinud gaas plahvatab väiksemagi sädelahenduse korral! Metaan on õhust 1,78 korda kergem. Kui pidevalt gaasi eraldav kaev paikneb pumbamajas, hakkab gaasi kontsentratsioon õhus suurenema laest põranda suunas. Ebaõnne korral jõuab õiges kontsentratsioonis gaasisegu hüdrofoori peale paigaldatud rõhureleeni just sellel hetkel, kui viimane ühendab kontaktid pumba käivitamiseks ning kutsub esile plahvatuse.

Lisaks eelkirjeldatud probleemidele suudavad põhjaveega kaasnevad gaasid kahjustada ka kasutatavaid veetõsteseadmeid. Need jäävad piltlikult öeldes kuivale. Tulemusena võib kaasneda pumba mootori ülekuumenemine või töörataste purunemine, sest eelnimetatud seadmete jahutamine ja „määrimine“ toimub vooluvee arvelt, mis pärast pumba tööosasse koguneva gaasikorgi moodustumist katkeb või väheneb oluliselt. Näiteks Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus AS-ile (endise nimega Tallinna Prügila AS) rajatud puurkaev, kus esialgselt katsetatud süvaveepumpadest ükski ei suutnud vett maapinnani tõsta üle 20–30 sekundi. Lõplahendusena võeti kasutusele õhktõstuk (ingl *airlift pump*), mille tööorganiks oli võimas Kaiseri firma kompressor.

KAEUVEE KVALITEEDI PROBLEEMIDEST JA NENDE KÕRVALDAMISE VÕIMALUSTEST

Veevõtmisel kaevust võivad kaasneda mehaanilised või gaasilised lisandid. Eesti põhjavees on küllaltki palju keemiliselt seotud ühendeid või keemilisi elemente, mille olemasolu võib mõjutada inimese tervist, olme- ja sanitaartechnika korrasolekut. Lisandite piirsisaldus on määratletud sotsiaalministri 31. juuli

2001. aasta määrusega nr 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded“.

Enimlevinud lisandiks Eesti põhjavees on **raud** (Fe), mis üldjuhul ei ole tervistkahjustav, kuid muudab vee väljanägemise ebameeldivaks, annab veele sageli halva maitse ja rikub sanitaar- ning olmetehnikat.

Raud esineb põhjavees kahe- või kolmevalentse ioonina – $\text{Fe}(\text{OH})_2$ või $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Väävelvesiniku olemasolu korral kipub see rauaga reageerima, moodustades kolloidse raudsulfidi (FeS), mis omakorda rikub vee mehaanilisi, visuaalseid ja lõhnaomadusi ning kokkupuutel riietega muudab nende värvi. Viimatinimetatud protsessis vabanev vesinik alandab omakorda vee pH-d, muutes vee happelisemaks ehk raskemini töödeldavaks.

Teine laialdaselt levinud kahjulik komponent on **mangaan** (Mn), mis teatud sisalduse korral võib hakata mõjutama inimese psüühikat, kuid üldjuhul rikub vee väljanägemist, muutes selle kollakaks ning sageli annab veele ebameeldiva maitse ja lõhna.

Kolmas oluline vee kvaliteedinäitaja (reostusnäitaja) on **orgaanilise aine sisaldus**. Seda väljendatakse analüüsidest PHT-ga (permanganaatne hapnikutarve), mille ülemäärasusega kaasneb ebameeldiv lõhn ja intensiivne kollane värv, mis ei kao isegi vee pikemal selitamisel.

Neljandaks oluliseks kvaliteedinäitajaks on **lämmastikuühendite sisaldus** vees (ammoonium, nitrit, nitraat), mille kõrge sisaldused vihjavad võimalikule reostusele.

Inimorganismile otsese kahju tekitajaks on liigne fluori- ja radionukleiidide sisaldus ning vee kvaliteedi **mikrobioloogilised mõjutajad** (*coli*-laadsed bakterid ja muud haigustekitajad).

Igapäevaselt puutuvad inimesed kokku ka vee **kareduse** probleemidega, mis kajastuvad katlakivina vee-soojendusseadmetes ja ummistuvas sanitaartehtnikas.

Vee töötlemiseks saab nimetada väga laia tegevuste ringi, alates võõrkehade eemaldamisest (mehaaniline puhastus) kuni pöördosmoosi (PO) ja elektrodeioniseerimiseni (EDI), mille lõpptulemuseks on ultrapuhas, näiteks ravimitööstuses kasutatav vesi. Sellesse vahemikku mahuvad erinevad meetodid, mille abil kõrvaldatakse konkreetsetes olukordades meeleahärra tekitavad komponendid.

Kui veega kaasneb liiv või muud tahked osised, mida ei suudeta pumba tootlikkuse piiramisega peatada, tuleks kasutada mehaanilist padrunfiltrit, mis varustatakse kas sõel-, kott- või nõõrelemendiga. Lisandite suurema koguse korral võiks kasutusele võtta tsentri- fuugi põhimõttel töötava hüdrotsükloni, mis separee-

rib veest välja tema erikaalust oluliselt raskemad osised ja kõrvaldab need. Eeldades, et vesi on tugevalt gaseeritud, järgneks mehaanilisele puhastusele aeratsiooni ja degaseerimise tsükkel, mis saab toimuda kas surveiselt (näiteks hüdrofoori läbijooksu õhkpadjas või survevabalt spetsiaalses mahutis. Üldjuhul lisatakse mõlemal juhul vette õhuhapnikku, kasutades selleks vastavaid abiseadmeid (näiteks kompressor) ja kiirendatakse vees sisalduvate gaaside eemaldamist soodustades samaaegselt edaspidi eemaldatavate ja õhuga töödeldavate liigkomponentide (raud, mangaan) oksüdatsiooni. Aeratsioonist eralduvad gaasid ja liigõhk juhitakse hoonest välja. Pärast aeratsioonitsükli läbimist suunatakse (vajadusel II astme pumbaga) gaasivaba ja eeltöödeldud vesi läbi liivtäidisega täisautomaatse filtri, mis eemaldab veest eeloksüdeerunud raua- ja mangaaniühendid. Vajadusel lisatakse filtri liivtäidisele teatud kogus katalüütilist ainet, millega eemaldatakse eeltöötles oksüdeerumata jäänud raud ja mangaan. Kui liigkomponentide loetelu sellega piirdub, võib vee suunata tarbesse. Kui aga vesi vajab juhtumisi veel ka lämmastikuühenditest vabastamist ja pehendamist, peab ta läbima täiendava kationiit- ja anioniit täidisega filtri. Seegi on täisautomaatne, kuid vajab töövõime säilitamiseks regenereerimist soolalahusega ning on selleks varustatud soolamahutiga. Lämmastikuühendid vees võivad vihjata reostusele ja välistatud ei ole ka bakterioloogiline reostus, mistõttu enne vee suunamist tarbeahelasse laseme tal läbida ultraviolet sterilisaatori, millega hävitatakse *coli*-laadsed ja/või heterotroofsed bakterid.

Täisautomaatsete veepuhastusfiltritena peame siinjuures silmas seadmeid, mis on varustatud spetsiaalsete programmeeritavate juhtventiilidega. Need võimaldavad etteantud ajavahemiku või seadet läbinud veehulga järel filtrisse kogunenud setted suunata tagasipesu protsessi abil kanalisatsiooni.

Tegelikkuses on veetöötlusvõimalused oluliselt laiemad eelkirjeldatust. Siia võib lisanduda vajadus vett keemiliste vahenditega töödelda ja seejärel kemikaalide jäägid uuesti eemaldada. Iga konkreetne kaevuvee töötlemine vajab eelnevalt põhjalikku süüvimist veeanalüüsi tulemustesse ning kaevu rajaja poolt täheldatud asjaoludesse. Veetöötles seisukohalt omavad lisaks ühe eeldatava komponendi kõrvaldamisele olulist tähtsust selle seosed kaasnevate komponentidega. Samuti tuleb veetöötlemise süsteemi arendades

mõelda, et ei tekiks uusi probleeme (näiteks bakterio-
loogilisi). Mitteteadlik lähenemine kutsub enamasti
esile suuri ja mõttetu kulutusi.

Vee kvaliteedi probleemide korral tuleks pöörduda
ettevõtete poole, kes sellega igapäevaselt tegelevad ja
suudavad teemat haarata komplekselt.

Lugemissoovitus

Metsur, M., Alasi, K., Heinsaar, Ü., Kuusik, A., Kriip-
salu, M. 2006. Omaveevärk ja omakanalisatsioon. Ehi-
taja Raamatukogu. Ehitame kirjastus, Tallinn, 141 lk.

Veevarustussüsteemid eramutes. Paigaldaja käsiraa-
mat. Grundfos, 72 lk. (leitav internetist).

13. PINNASED

PINNASE JAOTUS JA LIIGITAMINE GRANULOMEETRILISE KOOSTISE JÄRGI

Eestis jaotatakse pinnased 6 liigiks: kalju- ja poolkalju-, jämepurd-, liiv-, savi-, eri- ja tehispinnas. Jämepurd-, liiv- ja savipinnased liigitatakse omakorda lõimise ehk granulomeetrilise koostise järgi.

Kaljupinnast iseloomustab tugev osakestevaheline side (jäigad struktuursidemed), mis annab neile mehaanilise tugevuse ja monoliitsuse. Eestis on kaljupinnas esindatud settekivimitega. Lubjakivi ja dolokivi on enamasti kesktugev või vähetugev, harva tugev kaljupinnas. Meie aluspõhja ülekonsolideerunud savi (Kambriumi savi Põhja-Eesti rannikul ja Devoni savi Lõuna-Eestis) ei kuulu kalju hulka. Kaljupinnast, mille survetugevus on alla 5 MPa (megapaskali), nimetatakse poolkaljuks. Liivakivi, aleuroliit ja sageli ka mergel kuuluvad Eestis enamasti poolkaljude hulka, vahel ka põlevkivi ja graptoliitargilliit. Murenemisel võib kaljupinnas jäigad struktuursidemed kaotada ja muutada jämepurd-, liiv- või savipinnaseks.

Kaljupinnast liigitatakse veeküllastunud olekus survetugevuse (R_f) järgi: **väga tugev** > 120, **tugev** 50–120, **kesktugev** 15–50, **vähetugev** 5–15, **madaltugev** 3–5, **alatugev** 1–3 ja **mittetugev** < 1 MPa.

Jämepurdpinnase hulka loetakse pinnas, milles jämepurru (osakeste läbimõõt üle 2 mm) kaaluline sisaldus on üle 50%. Kuna jämepurru mahumass (tihedus) on enamasti vähemalt 25% suurem kui peenpurrul, on

jämepurru minimaalne mahuline sisaldus jämepurdpinnases vaid 35–40%, mille juures pinnase geotehnilised omadused on põhijoontes siiski veel määratud ka peenpurru omadustega. Seetõttu on nõutav täitematerjaliks oleva peenpurru üksikasjaline kirjeldamine ja ka proovimine. Jämepurdpinnase nimetus oleneb valdavast fraktsioonist ja osakeste ümardatusest. Levinum jämepurdpinnas on kruus, harvem veeristik. Jämepurdmoreen (paerähk) on liigituse järgi enamasti rähastik savimõlli vahetäitega.

Pinnase (liiv- ja savipinnas) täpsel liigitamisel tuleb alati järgida normdokumente (EVS; CEN ISO; GOST; ASTM jm), mille järgi tööprotsessi reguleeritakse, sest liigitamise alused on igas normdokumendis erinevad.

Liivpinnas on osakestevaheliste sidemeteta alla 50% jämepurdu sisaldav (või jämepurruvaba) mitteplastne pude pinnas. Vastavalt erineva liivfraktsiooni sisaldusele jaguneb liivpinnas: **kruusliiv** (jämepurdu 25–50%), **jämeliiv** (üle 0,6 mm läbimõõduga osakesi üle 50%), **keskliiv** (üle 0,2 mm läbimõõduga osakesi üle 50%), **peenliiv** (üle 0–0,06 mm läbimõõduga osakesi üle 80%) ja **möll** (alla 0,06 mm läbimõõduga osakesi üle 40%).

Savipinnas on osakestevaheliste sidemetega jämepurruvaba või kuni 50% jämepurdu sisaldav plastsete omadustega pinnas, mille plastsusarv on vähemalt 1. Savipinnase osakestevahelised sidemed ja plastsed omadused on tingitud peendispartsete osakeste sisaldusest, mis enamasti koosnevad savi-

mineraalidest (kaoliniit, hüdrovilgud, montmorillonit). Üldgeoloogias tuginneb savisetete koostise klassifikatsioon nagu liivagi puhul lõimisele, ehitusgeoloogilistel uurimistel on normdokumentidega kehtestatud klassifikatsioon plastsusarvu alusel.

Tabel 1. Pinnaseosakeste liigitus fraktsioonideks terasuuruse järgi

Fraktsioon	Alafraktsioon	Osakeste suurus		
			1	2
Rahnud	–	> 200	–	> 500
Veerised	–	60 – 200	10 – 100	60 – 500
Kruusaterad	kruusa jämeterad	20 – 60	2 – 10	2 – 60
	kruusa keskterad	6 – 20		
	kruusa peenterad	2 – 6		
Liivaterad	liiva jämeterad	0,6 – 2	0,05 – 2	0,06 – 2
	liiva keskterad	0,2 – 0,6		
	liiva peenterad	0,06 – 0,2		
Mölliosakesed	mõlli jämeosakesed	0,02 – 0,06	0,005 – 0,05	0,002 – 0,06
	mõlli keskosakesed	0,006 – 0,02		
	mõlli peenosakesed	0,002 – 0,006		
Saueosakesed	–	< 0,002	< 0,005	< 0,002

Pinnase liigitamisel lõimise ehk granulomeetrilise koostise järgi on aluseks osakeste suurus. Geoloogia eri valdkondades on fraktsioonide piirid erinevad. Tabelis 1 on esitatud geotehnika liigituse kõrval geoloogilisel kaardistamisel (1) ja maavarade otsingul (2) kasutatavad liigitused.

Tabel 2. Pinnaseliigitus terasuuruse järgi

Rühm	Liik	Alaliik	Peenosise sisaldus < 0,06 mm, %	Sauesisaldus peenosises < 0,002/ < 0,06mm, %
Jämeteraline pinnas (jämepinnas) < 0,06 mm ≤ 40%	Kruuspinnas 2 – 60 mm > 50%	Kruus	< 5	
		Möllikas kruus	5 – 15	< 20
		Savikas kruus		≥ 20
		Mölliline kruus	>15 – 40	< 20
		Savine kruus		≥ 20
	Liivpinnas 2 – 60 mm < 50%	Liiv	< 5	–
		Möllikas liiv	5 – 15	< 20
		Savikas liiv		≥ 20
		Mölliline liiv	>15 – 40	< 20
		Savine liiv		≥ 20
Peeneteraline pinnas (peenpinnas) < 0,06 mm > 40%	Möllpinnas < 0,002/< 0,06 mm ≤ 20%	Möll	> 40	< 10
		Savimöll		10 – 20
	Savipinnas < 0,002/< 0,06 mm > 20%	Möllsavi		> 20 – 40
		Savi		>40

Märkused:

- Alaliigi põhinimetuste 'kruus', 'liiv', 'möll' ette võib lisada neis enamesineva alafraktsiooni nimetuse (jäm-, kesk-, peen-), näiteks peenliiv, savikas jämeliiv, mölliline peenliiv.
- Lisanimetused kruusa- või liivafraktsiooni sisalduse alusel, kui see ei kajastu juba pinnase nimetuses:

Geotehnilisel projekteerimisel liigitatakse mineraalpinnast terasuurusega ≤ 60 mm, mille rahnude ja vee-riste (> 60 mm) sisaldus on vähem kui 40%. Pinnasrühmad jämeda- ja peeneteraline pinnas eristatakse < 0,06 mm pinnaseosakeste ehk peenosise sisalduse järgi (tabel 2). Peeneteralise pinnase liigid möll- ja savipinnas eristatakse saueosakeste (< 0,002 mm) suhtelise sisalduse järgi peenosises (< 0,06 mm).

10%–25% – lisatakse täiendsõna 'kruusaga' või 'liivaga'; 25%–50% – 'rohke kruusaga' või 'rohke liivaga', näiteks rohke liivaga savimöll, kruusaga mölliline liiv.

3. Peeneteralist pinnast ja jämedateralise pinnase osakesi < 0,425 mm jaotatakse ka plastsusomaduste järgi.

ERIPINNASED

Muda – pinnaseliik, mis on moodustunud veekogus koheva peeneteralise settena, milles toimuvad mikrobioloogilised protsessid ja orgaanilise aine sisaldus on üle 6%. Mineraalse koostisosa valdava fraktsiooni järgi eristatakse liivmuda, möllmuda, savimuda. Tekketingimuste järgi eristatakse järvemuda, turbamuda ja lammimuda.

Järvemuda ehk sapropeel (jütja) on mageveelises veekogus kuhjunud kohev kolloidse struktuuriga peene-

teraline sete, mis sisaldab peale järveelustiku jäänuste terrigeenset materjali ja biokeemilise tekkega karbonaatset materjali. Orgaanilise aine sisaldus on tavaliselt üle 15%.

Turbamuda ehk düü on peamiselt kinnikasvava seisva veekoguga orgaaniline sete, mis tekib, kui suurem osa taimmaterjalist on turbakujunemise protsessis täielikult lagunenuks ja muutunud mustjaspruuniks huumusaineks.

Lammimudas on suur mineraalainete sisaldus.

Turvas on taimejäänuste mittetäielikul lagunemisel liigniiskuse ja hapnikuvaeguse tingimustes tekkinud orgaaniline sete. Orgaanilise aine sisaldus turbas on üle 60% (kuumutuskaol määratud). Tekkekoha järgi eristatakse madalsoo-, siirdesoo- ja kõrgsoo- ehk rabaturvast. Lammi- ja rannikusetetes ning järve- ja soosetetes võib esineda turba või turvastunud vahekihte (orgaanilise aine sisaldus üle 20%).

Järvelubi ehk järvekriit – karbonaatne pude sete, mis on tekkinud lubjarikkas järves taim- ja loomorganismide elutegevuse ja keemiliste protsesside tagajärjel. Järvelubja kaltsiumkarbonaadi sisaldus on üle 50%, sisaldab ka terrigeenset materjali ja orgaanilist ainet, sageli turvast.

Allikalubi – karbonaatne sõmerja struktuuriga pulberjas sete, mis on tekkinud lubjarikka põhjavee väl-

jumiskohtades, eriti oruveerude allosas. Allikalubja kaltsiumkarbonaadi sisaldus on harilikult üle 90%. Allikalubi esineb ka koos soosetetega.

Diatomiit – põhiliselt mikroskoopilistest ränivetikate kodadest koosnev poorne sete, mis sisaldab veel terrigeenset materjali ja orgaanilist ainet.

Tehispinnased on kujunenud inimtegevusel ja on koostiselt väga mitmekesised. Siia kuuluvad kultuurkiht, täitepinnas, aherainekogumid, tööstuse heitproduktid, ehituse käigus ümberpaigutatud pinnas. Tehispinnase eriliik on kunstlike abinõudega tugevdatud looduslik pinnas. Looduslikust materjalist koosnevat tehispiinast kirjeldatakse täpselt samadel alustel loodusliku pinnasega, lisades pinnase nimetusele alati „tehispiinast“. Lisaks koostisele liigitatakse tehispiinast veel kujunemise (puistangulised või settelised), vanuse ja tihendamiseviisi järgi.

PINNASE JAOTUS ORGAANILISE AINE SISALDUSE JA VOOLAVUSARVU I_L JÄRGI

Pinnase orgaanilise aine moodustavad lagunemata ja poollagunenud taime- ja mikroorganismide jäänused ning keerulistel biokeemilistel protsessidel tekkinud huumus, milles orgaaniliste jäänuste esialgne struk-

tuur on täielikult kadunud. Kolloidne huumusaine (humiinhapped ja nende vees lahustuvad soolad – humaadid, fulvohapped jt) on tugevasti seotud pinnase mineraalosa, eriti savimineraalidega (tabel 3 ja 4).

Tabel 3. Pinnase jaotus orgaanilise aine sisalduse järgi

Pinnas	Orgaanilise aine sisaldus (%) kuivas pinnases <2 mm
Vähese orgaanilise aine sisaldusega	1 – 2
Keskmise orgaanilise aine sisaldusega	5 – 20
Rohke orgaanilise aine sisaldusega	> 6 – 20
Väga rohke orgaanilise aine sisaldusega	> 20

Tabel 4. Pinnase jaotus voolavusarvu I_L järgi

Nimetus	Vooluarv I_L
Kõva	< 0
Poolkõva	0 – 0,25
Sitke	> 0,25 – 0,50
Poolpehme	> 0,50 – 0,75
Pehme	> 0,75 – 1,00
Voolav	> 1

PINNASE JAOTUS GEOTEHNILISTE OMADUSTE JÄRGI

Pinnast võib jaotada järgmiste geotehniliste omaduste näitavate järgi: suhteline tihedus (tabel 5), koonustakistus staatilisel penetreerimisel (tabel 6), tundlikustegur, drenimata nihketugevus (tabel 7), ületihennemistegur, deformatsioonimoodul (tabel 8).

Tabel 5. Jämedateralise pinnase jaotus suhtelise tiheduse I_D järgi

Nimetus	Suhteline tihedus (%)
Väga kohev	< 20
Kohev	20 – 40
Keskthi	> 40 – 60
Tihe	> 60 – 80
Väga tihe	> 80

Tabel 6. Jämedateralise pinnase jaotus surupenetreerimise (CPT) järgi

Nimetus	Koonustakistus q_c (MPa)
Väga kohev	< 2,56
Kohev	2,5 – 5,0
Kesktihe	> 5,0 – 10,0
Tihe	> 10,0 – 20,0
Väga tihe	> 20

Tabel 7. Peeneteralise pinnase jaotus dreanimata nihketugevuse C_U järgi

Nimetus	Dreanimata nihketugevus (kPa)
Väga nõrk	< 20
Nõrk	20 – 40
Keskugev	> 40 – 75
Tugev	> 75 – 150
Väga tugev	> 150

Tabel 8. Pinnase jaotus deformatsioonimooduli E järgi

Nimetus	Deformatsioonimoodul (MPa)
Väga kokkusurutav	< 5
Keskmiselt kokkusurutav	5 – 15
Vähe kokkusurutav	> 15

PINNASE KOOSSEISU NÄITAJAD

Lõimis

Lõimis iseloomustab lähedase suurusega pinnaseosakeste gruppide (fraktsioonide, tabel 5) kaalulist sisaldust protsentides absoluutselt kuiva pinnase kaalu suhtes.

Lõimist määratakse sõel- või hüdraulilisel meetodil. Suuremaid pinnase fraktsioone saab vahetult mõõta (sõelanalüüs). Peenemate fraktsioonide täpsemaks eraldamiseks kasutatakse osakeste setitamist seisvas vees (pipettmeetod, areomeetiline meetod). Tulemused esitatakse kas tabelina või graafiliselt. Lõimiseanalüüsi põhjal antakse klassifitseeriv nimetus liivpinnasele. Peale pinnase põhinimetuses peegelduvate olulisemate lõimisfraktsioonide on sageli vajalik rõhutada veel teistegi fraktsioonide sisaldust, mida on üle 10% (-ne lõpuline täiendsõna põhinimetuse ees) ja üle 25% (annab nimetavakäändelise täiendsõna).

Lõimisekõveralt määratud efektiivdiameetri d_{10} (osakeste 10% sisaldusele vastav diameeter) ja kontrolldiameetri d_{60} (osakeste 60% sisaldusele vastav diameeter) abil saab määrata lõimiseteguri C_u . $C_u = d_{60}/d_{10}$. Lõimiseteguri järgi eristatakse ühtlast ($C_u < 3$) ja ebaühtlast ($6 \leq C_u \leq 15$) liiv- ja jämpurpinnast. Sisuliselt tähendab see ühtlasel liival ühe või kahe fraktsiooni valdamist, ebaühtlasel liival on aga osakesed jaotunud enam-vähem võrdselt.

Lõimis on üks olulisem pinnase omadusi määrav tegur. Suurel määral sõltuvad lõimisest plastsus, poorsus, nihketugevus, kokkusurutavus, kuivamisvajumine, pundumine, kapillaartõusu kõrgus, filtratsioonimoodul. Lõimise andmeid kasutatakse:

- 1) pinnase klassifitseerimiseks, liigitamiseks, pinnase tüübi määramiseks;
- 2) liiva filtratsioonimooduli arvutamiseks empiiriliste valemite järgi;
- 3) pinnase sobivuse hindamiseks tammide, täidete puhul.

Mineraalkoostis

Kõik looduslikud pinnased (kivimid) koosnevad mineraalidest, mis kujutavad endast looduslikel geokeemilistel protsessidel moodustunud keemilisi ühendeid või ka ühe elemendi kogumeid. Üksikute mineraalide osatähtsus erinevate pinnaseliikide ja fraktsioonide koostises on erinev. Nii koosnevad liiva- ja tolmufraktsioonid peamiselt kvartsist ja päevakividest, sauefraktsioonis aga etendavad põhilist osa nn savimineraalid. Jämpurd koosneb enamasti kivimitükkidest.

Orgaanilise aine sisaldus

Peale mineraalse koostisosa kuulub pinnase tahkesse faasi sageli ka orgaaniline materjal. Viimane tekib elusorganismide, eriti taimede elutegevuse tulemusel

ja võib olla kas kohapeal moodustunud või väljastpoolt pinnasesse kantud.

Orgaanilise aine lisand mõjutab pinnase geotehnilisi omadusi – suurendab veemahutavust, plastsust, kokkusurutavust, vähendab veejuhtivust, nihketugevust, mistõttu orgaanilise aine võimalikult täpne määramine on väga tähtis. Orgaanilise aine olemasolu tunnuseks on harilikult iseloomulik lõhn ja tume värvus, ligikaudset sisaldust määratakse kuumutuskao abil (pinnase põletamine 550 °C juures 3 tunni jook-sul). Erinevates standardites on põletamistemperatuur erinev (440–900 °C). Eestis peetakse sobivaks 550 °C. Eristatakse kahte põhiliiki – nähtavad taimejäänused ja peenkoloidne orgaaniline aine, mille mõju pinnaseomadustele on märksa suurem taimejäänuste omast. Ehitusalased normid nõuavad taimejäänuste

kohta andmete esitamist, kui nende kaaluline sisaldus on üle 3% liivpinnases või üle 5% savipinnases. Peenkoloidne orgaaniline aine peab olema fikseeritud üle 0,5% sisalduse korral.

Taimejäänuste sisalduse järgi lisatakse pinnasele täiendav nimetus: 1) taimelisanditega pinnas (taimejäänuseid kuni 10%); 2) turvastunud pinnas (taimejäänuseid 10–50%) ja 3) turvas (taimejäänuseid > 50%).

Keemiline koostis

Eesti põhiliste pinnaseliikide keemiline koostis on suhteliselt jääv ja kui seda uuritakse, siis tavaliselt ainult savipinnase puhul, mille mineraalset koostist on otseselt väga raske määrata, keemilise koostise kaudu saab aga kaudse iseloomustuse.

PINNASE OMADUSI ISELOOMUSTAVAD NÄITAJAD

Füüsikalised omadused

Kõik pinnased on 3-faasilised süsteemid (skelett + vesi + õhk), mille omavahelistest suhetest olenevad füüsikalised omadused. Need on pinnase oleku ja kaitsmise tähtsaimad iseloomustajad, luues üldise ettekujutuse pinnasest ning võimaldades nii tema muude omaduste kaudset hindamist kui ka mõningate lähteandmete leidmist mitmesugusteks insenerarvutusteks.

Eritihedus (ρ_s kg/m³) ehk tahke faasi tihedus (erikaal, erimass) on pinnaseskeleti moodustavate osakeste massi suhe nende osakeste mahtu. Iseloomustab ainult pinnase tahket faasi (suureneb raskete mineraalide sisalduse suurenemisel ja väheneb orgaanilise aine sisalduse suurenemisel) ega sõltu tahke, vedela ja gaasilise faasi suhtest. Jääb tavaliselt vahemikku 2300–2600 kg/m³. Määratakse laboris või kasutatakse üldlevinud pinnastel tabelväärtusi. Oluline on eritiheduse määramine eelkõige eripinnaste jaoks. Eritiheduse väärtust kasutatakse mitmetes valemites ja lõimiseanalüüsi tegemisel.

Tihedus (ρ kg/m³) ehk üldtihedus (mahukaal, mahumass) on loodusliku struktuuri ja veesisaldusega pinnase ühe mahuühiku kaal. Tihedus on muutliku suurusega ja sõltub mineraalsest koostisest, veesisaldusest ja poorsusest ning on teatud pinnase puhul maksimaalne, kui kõik poorid on veega täidetud. Ehituspraktikas tavaliselt esinevate pinnaste üldtihedus

on 1500–2300 kg/m³, turbal ligikaudu 1000 kg/m³ ja kaljupinnasel kuni 3000 kg/m³. See on olulisim otsene arvutusnäitaja ja ainult tabelväärtustest siin ei piisa. Kasutatakse vajumis- ja püsivusarvutuste juures ning teiste füüsikaliste näitajate arvutamiseks. Laboris määratakse üldtihedust kahel meetodil:

1. löikerõnga meetodil – kaalutud ja mõõdetud rõngatäis pinnast kaalutakse, jagatakse mahuga. Kasutatakse enamasti proovide jaoks, mis säilitavad rikkumata struktuuri ainult ümbritseva kesta abil (voolav savi) või mis pudenevad noaga lõigates (liiv).

2. parafiinimeetodil kaalutakse parafiiniga kaetud proovikeha õhus ja määratakse sama proovi massikadu vees. Seda meetodit soovitatakse sidusale pinnasele, mida muidu on raske noaga lõigata (jämepeurrikas moreen, liivakivi).

Kuivtihedus (ρ_d kg/m³) ehk kuivmahumass on pinnase skeletiosakeste (tahke faasi) massi suhe pinnase üldmahtu. Kuivtihedus sõltub ainult mineraalkoostisest ja poorsusest ja on alati väiksem sama pinnase eri- ja üldtihedusest. Kuivtihedust saab määrata kas vahetult kogu mahtmonoliidi kuivatamisel püsiva kaaluni (kuiva pinnase kaal/monoliidi maht) või üldtiheduse kaudu arvutades. Kuivtiheduse väärtust saab kasutada poorsuse arvutamisel, kui see on määratud loodusliku struktuuriga proovist.

Poorsus (n %) ja poorsustegur (e). Kõik pinnased on poorsed süsteemid. Poorsus on pooride mahu suhe pinnase üldmahtu. On väga oluline näitaja, kuna pooride kaudu toimub vedelike ja gaaside liikumine. Poorsus mõjutab otseselt pinnase omadusi, eelkõige selle tugevust ja kokkusuruvatust. Poore võib jaotada morfoloogiliste ja geneetiliste tunnuste ning vee liikumise iseloomu põhjal:

- 1. makropoorid** (> 1 mm) esinevad jämeperdipinnases, toimub vee gravitatsiooniline liikumine mm;
- 2. mesopoorid** (1–0,01 mm) liivpinnases, gravitatsiooniline vee liikumine teatud surve juures, kapillaarvee tõus kiire ja madal;
- 3. mikropoorid** (10–0,1 μ m) savipinnases ja orgaanilistes setetes, gravitatsiooniline vesi liigub ainult suure surve all, kapillaarvee tõus on aeglane ja kõrge;
- 4. ultrakapillaarsed poorid** ($< 0,1$ μ m) savipinnases, esineb ainult seotud vesi.

Poorsust iseloomustavad näitajad annavad ettekujutuse ainult pooride üldmahust, pooride mõõtmeid näitavad kaudselt teised omadused (eelkõige hüdroomadused). Poorsuse arvuline väärtus üksi ei ole mingil juhul pinnase üldise tugevuse näitajaks. Ehitusgeoloogias hinnatakse pinnaseid sagedamini poorsusteguriga, mis näitab pooride ja tahke osa mahu omavahelist suhet. Pinnase poorsuse iseloomustamiseks kasutatakse sageli ka ainult kuivmahumassi p_d .

Tihendatavus ja tihendatavustegur (I_T). Üks ja sama liiv võib olla väga erineva poorsusega. Katseliselt on võimalik määrata minimaalset ja maksimaalset poorsust. Liivpinnasel määratakse maksimaalselt tihe olek vibraatoriga, kohev olek aga traatspiraaliga kobestades (Terzaghi katse). Nii liiv- kui ka savipinnasel määratakse tihendatavus veel erineva veesisalduse ja mahumassi väärtuse juures. Proctor-teimil leitakse maksimaalne kuivmahumass optimaalse veesisalduse juures graafikult.

Eesmärgiks on ehitiste all kasutatava täitepinnase, teetammide, muldkehade jne tiheduse määramine, et saavutada vajalikku tugevust.

Plastsus on pinnase omadus teatud veesisalduse juures välise surve mõjul muuta oma kuju, ilma et seejuures toimuks pinnase otsest purunemist. Savipinnase plastsete omaduste põhjustajaks on hüdraatkiht pinnaseosakeste ümber. Plastsus sõltub pinnase dis-

perssusest, mineraalkoostisest ja veesisaldusest. Plastsete omadused esinevad teatud kindlas veesisalduste vahemikus, millest väiksemas on pinnas kõvas ja suurema veesisalduse korral voolavas olekus. Iseloomulikku veesisaldust, mille juures toimub pinnase üleminek ühest olekust teise, nimetatakse Atterbergi ehk plastsus- ehk konsistentsipiiriks. Plastsuse alam- ehk rullimispiir (%) on veesisaldus, mille juures pinnas läheb üle kõvast olekust plastsesse ja määratakse rullimisega („pinnasenöör“ läbimõõduga 3 mm laguneb 6–10 mm tükkideks). Plastsuse ülem- ehk voolavuspiir (%) on veesisaldus, mille juures pinnas läheb plastset olekust voolavasse ja määratakse Vassiljevi koonusega (76 g raskune 25 mm kõrgune 30° tipunurgaga koonus vajub pinnasesse 10 mm sügavusele). Määratakse ka Casagrande aparaadiga. Eestis kasutatakse 'rootsi' koonust (60 g, tipunurk 60°). Voolavuspiiri ja plastsuspiiri vahet nimetatakse plastsusarvuks.

Savipinnaseid jaotatakse voolavuspiiri järgi: **väheplastne** $< 35\%$, **keskplastne** $35\text{--}50\%$, **väga plastne** $> 50\text{--}70\%$ ja **üliplastne** $> 70\%$.

Vesiomadused

Vesi, tsirkuleerides pinnase poorides ja lõhedes, kutsub esile muutusi nii vee koostises kui pinnase omadustes. Tähtsaimaks erinevuseks pinnase vesiomadustes võib pidada liivpinnase ja savipinnase erinevat reaktsiooni vees. Üldjuhul on liivpinnas tundlik vaid hüdrodünaamiliste mõjutuste suhtes, savipinnase paljusid omadusi võib vesi aga tunduval määral mõjutada.

Veekindlust iseloomustatakse terve hulga iseloomulike hüdroomadustega:

1) **Pinnase lahustuvus** on seotud pinnasevee võimega lahustada kõiki kivimeid (pinnaseid), erinevad on aga lahustumisaste ja -kiirus, mis sõltuvad pinnase ja vee omadustest. Pinnase omaduste muutumisel muutub ka pinnases tsirkuleeriva põhjavee keemiline koostis, mis omakorda võib muutuda ohtlikuks vundamentide jt ehitiste metall- ja betoonosadele. Vee agressiivsustaseme selgitamine on Eesti tingimustes küllaltki oluline.

2) **Pundumine** on pinnase mahu, poorsuse ja veesisalduse suurenemine märgumisel. Pundumine on iseloomulik just savipinnasele ja mõnedele nõrgalt tsemenditeerunud savitsemendiga settetikivimitele. Pundumise põhjuseks on savipinnase hüdrofiilsus ja osakeste

suur eripind. Märgumisel pinnaosakesi ümbritsevad hüdraatkiled paksenevad ja suruvad pinnaseosakesi üksteisest kaugemale, vähendades sellega pinnase sidusust ja suurendades poorsust. Protsessi lõpptulemuseks võib olla isegi leondumine, s.t et osakesed eemalduvad väljapoole molekulaarse külgetõmbe sfääri. Pundumise suurus näitab pundunud proovi mahu juurdekasvu esialgse mahuga võrreldes.

3) **Kuivamisvajumine** leiab aset, kui vee aurumise käigus pinnase maht väheneb. See on pundumisele vastupidine nähtus (hüdraatkihid õhenevad pinnaseosakeste ümber ning pinnaseosakesed lähenevad molekulaarsete külgetõmbejõudude mõjul üksteisele). Ebaühtlaste pingete tulemusel võivad pinnase pealispinnale kuivamise käigus tekkida lõhed, mis vähendavad pinnase tugevust ning suurendavad veejuhtivust. Vee äkilise juurdevoolu korral võib aset leida palju intensiivsem pundumine või leondumine. Praktelist tähtsust omab ainult küllaldaselt saue sisaldavate pinnaste puhul.

4) **Leondumine** võib tekkida siis, kui pinnaseosakesed eemalduvad pundumisel väljapoole molekulaarse külgetõmbe sfääri ja pinnas laguneb. Leondumine on pinnase veekindlust näitavatest omadustest ohtlikem, sest võib kohati põhjustada kandevõime peaaegu täielikku kadumist muidu igati rahuldavate omadustega pinnases. Kõige leonduvamad on meil Lõuna-Eesti saviliivmoreenid (savimõllmoreenid).

5) **Pehmenemine** on iseloomulik kaljupinnasele, mis vees harilikult ei lagune, kuigi mehaaniline tugevus vee mõjul oluliselt väheneb. Tugevust hinnatakse pehmenemisteguriga (veeküllastunud ja kuiva pinnase survetugevuste suhe), mis kaudselt näitab kivimi murenemis- ja külmakindlust.

Veemahtuvus on pinnase veesidumisvõime, s.o võime vastu võtta ja hoida kindlat veekogust. Eristatakse täielikku, kapillaarset ja molekulaarset veemahtuvust, mille vahel teravad piirid puuduvad. Veeand iseloomustab pinnasest raskusjõu või survete erinevuste toimel väljavoolava vee hulka. Arvuliselt on see võrdne pinnase täieliku ja molekulaarse veemahtuvuse vahega. Kaljupinnase puhul räägitakse tavaliselt selle veeneeldumisest (neeldunud vee ja absoluutselt kuiva kivimi kaalude suhe).

Kapillaarsus on vee omadus liikuda pinnases mööda kindla suurusjärguga poore igas suunas, sõltumata

raskusjõust, kapillaarpoorides vee ja pinnaseosakeste molekulaarsel külgetõmbel tekkivate nõgusate veemeniskite tõstejõu toimel. Kapillaarvee omadused on seotud vee ja vaba vee vahepealsed – ei sõltu raskusjõust, ei voola vabalt, samal ajal aga pole ka seotud osakeste pinnaga. Kapillaartõus oleneb mitmest asjaolust, nagu pooride suurus ja iseloom, pinnase tekstuur, struktuur, kunstlik tihendamine jne. Liivas toimub kapillaartõus ruttu, kuid on suhteliselt väike, saavutades juba esimese ööpäeva jooksul 80–90%. Savis võib aga kapillaartõus kesta aastaid ja saavutada üsna suure kõrguse. Pinnasevee taseme ligidal võib kapillaarvesi täielikult täita kõiki pinnase poore, kõrgemal väheneb selle hulk pidevalt. Pinnase kapillaarsuse tundmine on vajalik vundeerimisprobleemide, hüdroisolatsiooni, pinnasevee alandamise jmt probleemide lahendamisel. Määratakse katseliselt laboris või arvutatakse. Arvutamise tulemus on kahtlase väärtusega, kuna lähtutakse ainult poorsusest ja lõimisest.

Veejuhtivus on pinnase omadus lasta endast teatud tingimustel vett läbi. Vett võib liikuma panna gravitatsioonijõud, osmoos, gaaside- ja aurude rõhk, kapillaar- ja adsorptsioonijõud, temperatuuride ja survete erinevus jne. Seega on vee liikumapanemiseks vajalik teatud survegradient, mille tekitab mõni füüsikaline tegur. Ehitusgeoloogias on tavaliselt tegemist vee liikumisega raskusjõu mõjul ehk filtratsiooniga pinnase poorides ja lõhedes. Vee liikumine võib olla kas laminaarne või turbulentne. Enamikule irdpinnastele on iseloomulik laminaarne vee liikumine, mis allub Darcy seadusele. Pinnase veejuhtivust iseloomustatakse filtratsioonimooduliga k s.o vee filtreerimiskiirusega hüdraulilisel gradiendil 1 (gradient on surve languse suurus filtratsioonitee pikkuse kohta). Antakse kas cm/sek või m/ööp. See on vastavate arvutuste tegemisel veevarustuse ja -tõrje seisukohalt tähtsaimaks arvutuslikuks näitajaks. Pinnase veejuhtivus sõltub suurel määral tema lõimisest, mineraalkoostisest, struktuurist ja tekstuurst. Määratakse välikatsetega, teimimisega või arvutamise teel. Laboratoorsed meetodid annavad väiksema täpsusega tulemusi kui välikatseted. Laboris nagu välikatsetelgi ei tohi unustada tekstuuri ja struktuuri mõju veejuhtivusele. Teimida tuleb alati tervet rida erinevatest kihtidest või kihiosadest võetud proove ja mitte unustada, et mõne üksiku vahekihi tähtsus võib pinnasemassiivi veejuhtivuse määramisel olla suurem kui kogu ülejäänud pinnase oma.

Laboris on: 1) koormuse mõju arvestavad meetodid loodusliku struktuuriga proovidel ödomeetrites; 2) koormuse mõju mittearvestavad seadmed (Kamenski aparaat jt) erinevate gradientide juures.

Valemeid kasutatakse ainult abimeetodina teiste meetodite kõrval esialgse ligikaudse väärtuse saamiseks. Orienteeruvad keskmised filtratsioonimooduli väärtused on: **puhas veeristik** > 100, **liivane veeristik** 20–100, **kruus** 10–50, liiv 2–50, **savimöll** (savi-liiv) 0,1–2, **möllsavi** (liivsavi) < 0,1 ja **savi** < 0,001 m/ööpäevas.

Mehaanilised omadused

Mehaanilised omadused iseloomustavad pinnase deformeeritavust ja vastupanu välistele jõududele. Suurte lisakoormuste korral võib pinnas kaotada püsivuse ja puruneda. Mehaanilised omadused määravad pinnase kandevõime, kokkusurutavuse, nõlva püsivuse, pinnasesurve ehitistele jne, mistõttu nende omaduste uurimine on tavaliselt ehitusgeoloogia üheks põhiülesandeks.

Kokkusurutavus on disperssete pinnaste kõige iseloomulik omadus ja põhineb tihenemiseadusel poorsuse vähenemise arvel. Pinnase tihenemine väliskoormuse mõjul kulgeb kuni uue pingeolukorrale vastava tasakaalu saavutamiseni. Liivpinnas võtab kogu surve vastu pinnase skeletiga (kokkusurutavuse käigus toimub osakeste ümberpaigutamine ja suurte koormuste korral ka purunemine). Savipinnasel võtab surve vastu osakesi ümbritsev hüdraatkile (poorsuse vähenemine toimub vee väljasurumise arvel). Pinnase kokkusurutavust iseloomustatakse harilikult tema poorsuse sõltuvusega vertikaalsurvest kompressioonikõvera kujul. Kompressiooniteimil vastavas eriseadmes, nn ödomeetris, toimuva poorsusteguri vähenemise suhe seda muutust põhjustanud koormusesse kannab kompressioonimooduli (a) nime (kõvera puutuja ja abstsissitelje vahelise nurga tangens).

Kompressioonimoodul on muutuv suurus ja selle väärtust andes tuleb alati märkida, millisele vertikaalsurve intervallile see vastab. Kompressioonimooduli arvuliste väärtuse järgi on võimalik pinnased jaotada järgmiselt: **nõrgalt kokkusurutavad** ($a < 0,01 \text{ cm}^2/\text{kg}$), **keskmiselt kokkusurutavad** ($a = 0,01\text{--}0,1 \text{ cm}^2/\text{kg}$) ja **tugevalt kokkusurutavad** ($a > 0,1 \text{ cm}^2/\text{kg}$).

Pinnase üldist deformatsiooni väljendatakse **ülddeformatsioonimooduli** ehk deformatsioonimooduli

E_0 abil, mis on analoogne füüsikast tuntud elastsusmoodulile. $E_0 = (\beta(1+e))/a$ MPa, kus β – pinnase külglaienemistegurist (Poissoni tegur) sõltuv nimetu korrigeeriv tegur, mis erinevatel pinnastel erineb. Kasutatakse kompressiooniteimi tulemuste töötlemisel, kuna katse toimub põiklaienemise võimaluseta.

Pinnase tihenemisprotsessi ajalist kulgu jääva koormuse mõjul näitab konsolidatsioonikõver, näitarvudeks on aga konsolidatsioonimoodul C_V (cm^2/sek) ja filtratsioonimoodul k (m/ööpäevas). Mõlemad parameetrid on määratavad kompressioonikatsetest. Kompressioonikatsetel toimuvate deformatsioonide iseloom ja suurus olenevad juba pinnasest. Liivpinnase kokkusurumine toimub osakeste ümberpaiknemise tulemusel, on suhteliselt väike ja ajas kiire. Savipinnase kokkusurumine on aeglane ja sõltub olulisel määral pinnase veesisaldusest, dispersusest, tekstuurst, struktuurisidemetest ja isegi koormamise moodusest. Kompressioonikatsetel toimub tihenemine siiski suhteliselt kiiresti tänu lõikerõnga väikesele kõrgusele ja suhteliselt headele drenimistingimustele. Ehitiste all saavutatakse stabiliseerumine mõnikord alles paarisaja aasta jooksul.

Pinnase nihketugevuseks ehk piirpingeks nimetatakse pinnase vastupanu nihutavatele jõududele ja on väikseim tangentsiaalpinge, mis tekitab nihke. See sõltub nii pinnase tugevusest kui vertikaalsurvest. Pinnase purunemine toimub iga pinnase jaoks iseloomuliku normaal- ja tangentsiaalpingete suhte juures. Nihketugevus sõltub pinnase lõimisest, tekstuurst, veesisaldusest, tihedusest, katsetoodikast jm. Pinnase nihketugevust iseloomustavaid näitajaid kasutatakse mitmesugustes püsivusarvutustes. Oma olemuselt on pinnase nihketugevus väga keeruline. Pinnase nihketugevus määratakse rikkumata struktuuriga proovidest (eriülesande puudumisel) erinevate vertikaalsurve juures teimimise teel vastavates tasapinnalistes nihkeseadmetes. Teimimistulemused esitatakse graafiliselt (abstsissiteljel vertikaalsurve, ordinaatteljel nihketugevus). Nihkesirge ja abstsissitelje vahelist nurka nimetatakse sisehõordenurgaks φ . Ordinaattelje lõiku koordinaatide alguspunktis ordinaattelje ja nihkesirge lõikepunktini nimetatakse nidususeks c . φ ja c pole pinnase jäävad omadused, vaid nihkegraafiku parameetrid, mis vastavas koormusintervallis iseloomustavad pinnase üldist nihketugevust (MPa) $\tau = c + \sigma \tan \varphi$. Nidusus esineb eelkõige savipinnastel, sisehõõre aga liivpinnastel.

Kolmeteljeline surve. Tänapäeval võetakse pinnase-tugevuse hindamise aluseks tavaliselt Mohri tugevus-teooria, mille järgi purunemine toimub normaal- ja tangentsiaalpingete teatud kindla, iga aine jaoks iseloomuliku piiriseundi juures. Olemus seisneb proovi kokkusurumises erineval vertikaal- ja külgsurvel stabilomeeterkatsel. Selline mudel vastab täielikumalt pinnase käitumisele looduslikus olukorras (põik-laienumisvõimalus). Tulemuseks on nii tugevus- kui kokkusurutavusparameetrid.

Pinnase survetugevuseks nimetatakse selle tugevust üheteljelise vertikaalsurve ja vaba põiklaienumise olukorras. Proovikeha on tavaliselt kuubi- või silindrikujuline (nõutavaks $d:h = 1:1-2:2$, kus d on proovikeha diameeter ja h on kõrgus). Purunemist esilekut-suvat piirkoormust nimetataksegi survetugevuseks ehk nn ajutiseks survetugevuseks.

Varikaldenurga (ω) järgi saab ligikaudselt otsustada liivpinnase tugevuse üle. Liiva vabal puistamisel tekib iseloomulik nõlva kalle. Liivahunniku kül-g-pinna ja horisontaalpinna vahelist nurka nimetatakse varikaldenurgaks. See nurk ei sõltu liivahunniku kõr-gusest, on teoreetiliselt võrdne sisehõordenurgaga, kuid praktiliselt sellele lähedane. Vee all on varikalde-nurk tavaliselt $1-3^\circ$ võrra väiksem kui kuival pinnasel.

Koonustugevus iseloomustab savi- ja liivpinnase vastupanu neisse surutava kindla kuju ja mõõtmetega koonuse otsikule. See määratakse mikropenetratsioo-niga. Koonustugevus on teoreetiliselt hästi põhjen-datud ja laialdaselt kasutusel selleks, et pinnaseid võrrelda (olek, tugevus) ja välja eraldada nõrgemaid vahekihte. Koonustugevuse ja nihketugevuse vahel on olemas ligikaudne seos.

Korrosiooniomadused

Pinnase ja pinnasevee agressiivsus on seotud pinnase korrosiooniomadustega s.o võimega lagundada ehi-tusmaterjale ja kaableid keemilisel teel suhtes ümb-ritseva keskkonnaga. Maa-alustes kommunikatsiooni-des kasutatavate materjalide korrodeerumise kiirus on väga erinev ja sõltub otseselt pinnaste erinevast agresiivsusest. Seetõttu on pinnase agressiivsuse mää-ramine enne kommunikatsioonivõrkude paigalda-mist väga tähtis efektiivseks kaitseks ratsionaalseima lahenduse leidmiseks.

Pinnase agressiivsust portlandtsementbetoon- ja raud-betoonkonstruktsioonide suhtes näitab sulfaat- ja kloorioonide hulk 1 kg kuivatatud pinnases, pinnase ja pinnasevee pH. Teimimisel võib kasutada rikutud struk-tuuriga proove, aga lõimise ja veesisalduse peaksid olema nagu looduslikes tingimustes (kvaliteediklass 1–3).

PINNASE OLEKUT ISELOOMUSTAVAD NÄITAJAD

Looduslik veesisaldus (W_n) on vee hulk, mis eraldub pinnasest kuumutamisel 105°C juures ja väljenda-takse tavaliselt kaaluliselt protsentides pinnase kuiva kaalu suhtes. On väga oluline pinnase füüsikalise oleku näitaja.

Küllastusaste (S_r) näitab, milline osa pinnasepooridest on veega täidetud. Küllastusastme järgi jaotatakse pin-nased: **kuiv** 0–0,05, **niiske** 0,05–0,50, **märg** 0,50–0,80 ja **veeküllastunud** $> 0,80$.

Tihedusaste (I_D) näitab liiva suhtelist tihedust võrrel-des selle minimaalse ja maksimaalse võimaliku tihe-dusega. Tihedusaste määratakse analoogselt tihenda-tavustegurile. Kuigi meetod on algeline, võimaldab see liiva tiheduse üle otsustada siiski õigemini, kui seda annab hinnang ainult poorsusteguri järgi. Vas-tavalt tihedusastmele jagunevad liivpinnased: **kohev** 0–0,33, **kesktihe** 0,33–0,67 ja **tihe** 0,67–1.

Konsistents (voolavusarv I_L ; konsistentsinäitaja koo-nusteimil C) on savipinnaste olek teatud veesisalduse juures s.o savipinnast moodustavate osakeste liikuvus-aste väliste mehaaniliste jõudude ja omakaalu mõjul. Konsistentsi määratakse voolavusarvu või konsistentsi-näitaja järgi. I_L arvutatakse plastsuspiiridest, C määra-takse monoliitproovist koonusteimil.

Erinevaid konsistentsivorme eraldavad **plastsuspiirid**, mille arvutamisel ei arvestata struktuurisidemeid ja sellega antakse pinnasele alandatud tugevushinnang, mis ei lange kokku loodusliku seisundiga (voolava konsistentsiga savil on sageli küllaltki rahuldavad geo-tehnilised omadused). Konsistentsinäitaja koonusteim-il võimaldab hinnata loodusliku struktuuriga proovi konsistentsi. Kasutatakse erineva raskusega 30° tipu-nurgaga koonuseid, mille vajumissügavuse järgi lei-takse C ja saadakse ettekujutus pinnase looduslikust olekust.

Eraldatakse kolm konsistentsi põhivormi – **kõva**, **plastne** ja **voolav**. Neil on omakorda rida alajaotusi erinevate normdokumentide järgi.

Pinnase tundlikkus on rikkumata (loodusliku) pinnase tugevuse suhe täielikult rikutud struktuuriga pinnase tugevusse. Savipinnase füüsikalise-mehaaniliste omaduste hindamisel on vaja teada pinnase loodusliku struktuuri rikkumisele kaasnevat pinnase tugevuse vähenemist. **Tundlikkusteguri** S_T võib määrata mitmesuguste mehaaniliste omaduste võrdluse teel loodusliku ja rikutud struktuuriga pinnase puhul. Pinnased võivad olla mittetundlikud, tundlikud ja ülitundlikud.

Hüdrodünaamiliste tegurite mõjul satuvad mitmesugused liiv- ja isegi kruuspinnased erilisse nn ujuseisundisse. Selline pinnas jaguneb **ehtvesiliivaks** ja **ebavesiliivaks**. Ehtvesiliiva ujuseisund on tingitud orgaaniliste kolloidide sisaldusest, mille tõttu pinnaseosakesed kaotavad omavahelise kontakti ja pinnas muutub voolavaks. Neile on iseloomulik suur veesisaldus ja väike veejuhtivus. Eestis ehtvesiliiva ei esine.

Ebavesiliiv satub ujuseisundisse ainult teatud hüdrodünaamiliste jõudude mõjul (väärade ehitustööd, hüdrodünaamilised purustavad gradiendid). Selle tagajärjel pinnase kandevõime väheneb ja ehitustöö võib muutuda võimatuks. Eestis on ebavesiliivadena teada mõned Holotseeni mereliivad, kerge tolm-saviliiv (savimõll).

Tiksotroopia on nähtus, mille juures vedelikust ja peendisersetest ainetest koosnev süsteem mehaaniliste tegurite mõjul (raputamine, vibreerimine, segamine) vedeldub. Mõju lakkamisel taastub algseisund mõne aja jooksul. Tiksotroopia on omane ka pinnasele, mis sisaldab kolloidseid osakesi (peendisersed saueosakesed) ja nendega seotud vett. Välismõju tulemusel (vibratsioon) läheb seotud vesi üle vabaks veeks, millega kaasneb pinnase vedeldumine. Välismõju eemaldamisel läheb vesi uuesti seotud olekusse ja aja jooksul pinnase tugevus taastub. Eestis esineb seda nähtust eelkõige Tallinna lääneosa voolaval savipinnasel.

EESTI KESKKONNAUURINGUTE KESKUSE GEOTEHNIKALABORIS TEHTAVAD PINNASE ISELOOMUSTUSE JA OMADUSTE MÄÄRANGUD

Geotehnikalaboris määratakse pinnase geotehnilisi omadusi ehitusgeoloogi, geotehniku, projekteerija ja ehitaja jaoks. Labor juhendub oma töös Eesti Geotehnika Ühingu soovitustest ja tegevusest. Tehakse järgmisi uuringuid:

- pinnase liik ja koostis (lõimimine, kontrolldiameetrid, lõimisetegur, jaotustegur, plastsuspiirid eri meetodite järgi, plastsusarv, karbonaatide ja orgaanilise aine sisaldus, liigitamine erinevate normdokumentide järgi);
- füüsikalised omadused (veesisaldus, mahumass, kuivmahumass, puistemahumass, erimass, poorsus, poorsustegur, lagunemisaste);
- pinnase olek (küllastusaste, konsistents, voolavusarv, maksimaalne ja minimaalne tihedus, tihedusaste,

maksimaalne tihedus optimaalse veesisalduse juures – standard ja mod. Proctor-teim, tihendamisaste);

- vesiomadused (veejuhtivus (filtratsioonimoodul), pundumine, leonduvus, kuivamisvajumine, kleepuvus, kapillaartõus, niiskumahutavus, äkkvajumine, külmakerge);
- mehaanilised omadused (kokkusurutavus- ja tugevusparameetrid: deformatsioonimoodul, kompressiooniindeks, elastsusmoodul, konsolidatsiooniparameetrid, nihketugevus, nidusus, sisehõõrdenurk, kolmeteljelise surve efektiivparameetrid, survetugevus, koonustugevus, varikalle, tundlikkustegur).
- pinnase agressiivne toime ning pinnasevee keemiline koostis ja agressiivne toime vundamentidele.

PINNASE VÄLIMÄÄRAMISE ALUSED

Välitöödel määratakse pinnasetüübid, selgitatakse lasumistingimused, kirjeldatakse üksikasjalikult pinnase omadused ja kogutakse oskuslikult piisav arv proove. Puudujäägid ja möödalaskmised välitöödel ei

ole korvatavad ka kõige hoolikamate labori- ja kameeraalöödega. Välitööd on kogu ehitusgeoloogilise uurimise edukuse pant.

Pinnasekihi paksust mõõdetakse tavaliselt 5 cm täpsusega (s.o viga $\pm 2,5$ cm). Suurema täpsusega tuleb kirja panna õhukesed vahekihid, eriti kui need märkimisväärselt erinevad lasuvast (pealmisest) ja lamavast (alumisest) kihist oma halbade geotehniliste omaduste poolest (voolav savipinnas, turvas, sapropeel jms). Kui taoline kiht esineb üksikuna ja erineb lasumist ja lamamist ka koostise poolest, tuleb kindlasti fikseerida kihi asend (lasumissügavus maapinnast). Pinnasekihi paksuse ja asendi täpne määramine ei sõltu ainuüksi mõõtmise täpsusest, vaid ka puurimismoodusest. Suurema täpsuse saavutamise lühikese puurimistsükli puhul. Kohevama ja pehmema pinnase lamamisel tihedama ja kõvema all tuleb arvestada, et puurinstrument võib süvistuda pehmemasse pinnasesse, kuid see pinnas surutakse kõrvale ja ei satu puurtorusse (sondi). Seetõttu tuleb puurinstrumendi süvistumise kiirenemisel kohe tsükel lõpetada.

Pinnase kirjeldamisel on nõutav märkida välipäevikusse järgmised omadused:

- pinnase nimetus (võimalikult täpselt, sealhulgas liivpinnase terajämedus ja savipinnase konsistents ja sauesisaldus – plastsusarv);
- värvus, toon, pooltoon;
- tihedus;
- veesisaldus (liival, kruusal jt);
- lisandid (orgaaniline aine, jäme purd jt);
- kihilisus (tekstuur).

Alljärgnevalt käsitletaksegi mainitud tunnuste kirjeldamise nõudeid. Aluspõhjativimite ja tehispinnase kirjeldamisel on peatunud käesoleva peatüki lõpus. Pinnase nimetus tuleb anda vastavalt normdokumentides esitatud klassifikatsioonile, mida käsitleti eespool.

Irdpinnase tüübi (veeristik, kruus, liiv) määramine ei valmista tavaliselt raskusi. Enam vilumust nõuab liiva liikide määramine ja mölli eristamine savimöllist (saviliivast).

Kui **liiva terajämedus** on ebaühtlane, võib välikirjelduses täpse nimetuse märkimata jätta ja kindlasti võtta proove lõimiseanalüüsiks. Terminit „segateraline liiv“ kehtivas pinnaseliigituses ei esine. **Mölli eristamiseks** on vaja kirjeldatavat pinnast niisutada ja rullida. Kui niiske pinnas ei anna rullida umbes 3 mm läbimõõduga nõöriks, vaid laguneb, on tegemist mölliga.

Sidusa pinnase määramisel võib välitingimustes kasutada järgmiseid kaudseid tunnuseid:

1. **Savi** – kuivas olekus: murdumisel suur tugevus, murdekoht sile, teravate servadega, noaga lõigatud pind näib poleerituna, libedana; niiskes olekus: saab rullida peene nõöri (läbimõõt alla 1 mm); küllaldase niiskuse korral kleepub tugevasti labida või käte külge; „hamba all“ proovides pole liivateri peaaegu üldse tunda.

2. **Möllsavi** – kuivas olekus: murdub kergemini kui savi, murdekoht on kare, on näha liivateri (palja silmaga või luubi abil); niiskes olekus: kleepub labida külge, kuid eraldub kergemini; saab rullida 1–2 mm paksuseks nõöriks; hamba all proovides on tunda liivateri;

3. **Savimöll** – kuivas olekus: murdub kergesti, pudeleb, sõrmede vahel hõõrudes laguneb, on tunda, et valdavaks on liivaterad, pind väga kare; niiskes olekus: kleepub, kuid eraldub labida küljest kergesti, saab rullida nõöriks läbimõõduga 2–3 mm.

Savipinnase erimite visuaalne määramine on märksa raskem ja nõuab kogemusi, mille saamiseks on vaja sihikäeselt harjutada (täpselt sama kehtib ka plastse konsistentsi alajaotuse määramisel). Selleks tuleb proovi etiketile ja välipäevikusse märkida võimalikult kitsalt nii pinnaseliik kui ka konsistents (näiteks sitke möllsavi, voolav või pehme möllsavi jne) ning hiljem võrrelda kirjapandut laborimääranguga. Pideva enesekontrolliga omandatakse mõne kuuga kogemused savipinnastele piisavalt täpse välimääranu andmiseks.

NB! Tee vahet sõnade „või“ ja „kuni“ tähendusel! „Või“ (möllsavi või savimöll) näitab ühtlase koostisega (konsistentsiga) pinnase kuulumist ühte või teise liigitusühikusse (kirjeldaja kahtleb). „Kuni“ näitab pinnase või selle omaduse muutumist märgitud ulatuses näiteks (pehme kuni kõva) kirjeldatava kihi piirides ja ei sobi proovi iseloomustamisel.

Savipinnase konsistentsi määramisel võib kasutada järgmisi abivõtteid:

1. **voolav** – rusika võib kergesti vajutada pinnasesse, rikutud struktuuriga pinnasetükk muudab oma kuju iseenese raskuse mõjul;

2. **plastne** – **voolav** (rusika saab vajutada pinnasesse mõne cm sügavusele, pinnas kleepub tugevasti käe

külge); **pehme** (rusika saab vajutada pinnasesse kuni 1 cm sügavusele, pöidla (sõrme) aga mitu cm, kleepub ja määrab käsi); **sitke** (rusikat ei saa pinnasesse suruda, pöialt saab tugevalt vajutades sisse suruda 1–2 cm sügavusele, kleepub nõrgalt, 1–2 cm läbimõõduga proovikeha otstest aeglaselt tõmmates venib see 1–2 cm pikkuseks, enne kui katkeb, kehtib möllsavi ja savi puhul); **kõva** (pöidla sissesurumisel pinnas praguneb, ei kleepu käe külge, proovikeha venib vähe (2–10 mm), siis katkeb, kehtib möllsavi ja savi puhul).

3. **kõva** – pöialt ei saa pinnasesse suruda, painutamisel pinnasetükk murdub, venitamisel katkeb kohe.

Pinnase **värvuse** määramine on äärmiselt subjektiivne sõltudes eelkõige valgusest. Niiskete pinnaste värvuse hindamiseks puuduvad etalonskaalad. Neid kasutatakse kuiva pinnase värvuse määramisel, kuid see nõuab palju aega ja on ehitusgeoloogilistel uurimistel siiani ebaotstarbekohane. Pinnase värvus võib varieeruda piirides, mida silm küll eraldab, kuid on keeruline kirjeldada. Arvestades asjaolu, et enamikel juhtudel ei ole pinnase värvusel seost füüsikalismehaaniliste omadustega, ei ole värvuse kirjeldamisel suurt täpsust taotletudki. Huvitav on märkida, et niiskete pinnaste värvigamma on palju mitmekülgsem kui kuivanud pinnastel. Välitöödel tuleb tähelepanu pöörata värvuse vertikaalsuunalisele (eriti kihisisele) muutumisele, mis võib viidata mullastumis- (leotumis-) protsesside leviku piiridele ja veetaseme kõikumisele. Nii näiteks on kollakas- või pruunikashalli värvuse asendumine maapinnast sügavamal vesi- või sinakashalli värvusega sageli põhjustatud pinnasevee tasemest ja värvuse muutumise fikseerimine võimaldab teha järeldusi pinnasevee režiimi kohta. Värvuse kirjeldamisel võib sobivail juhtudel lisaks põhinimetusele kasutada väljendeid „varjundiga“, „laiguti“ jne. Erilist tähelepanu tuleb pöörata tumehallide pesade, laikude ja vahekihtide esinemisele, mis võib tihti olla orgaanilise aine lisandi tunnuseks.

Tiheduse kui füüsikalise omaduse (vt ka pinnase füüsikalisi omadusi) mõõtühikuks on g/cm^3 , t/m^3 vms, mida visuaalselt määrata tegelikult ei saa. Seepärast on väliuurimistel õigem rääkida suhtelise tiheduse hindamisest, mis on suurema tähtsusega irdpinnase (liiv, kruus), turba ja täitepinnase (tehispinnase) juures. Savipinnase tihedusest annab ettekujutuse ka konsistents, kuid tiheduse hinnang välipäevikus on ikkagi vajalik lisainfo. Kindlad kriteeriumid tiheduse hinda-

miseks välitöödel (šurfirmisel, puurimisel) puuduvad, tavaliselt on hinnangu aluseks tööinstrumendi süvis- tumise lihtsus (kiirus). Objektivsema pildi pinnase tihedusest, ühtlasi ka pinnase mehaanilistest omadustest annab penetreerimine (suru-, löök- ja vibropenetreerimine). Liiva tihedusastet saab määrata ka laboris, selleks on vajalikud monoliitproovid.

Loodusliku **veesisalduse** (niiskuse) – pinnases oleva vee kaalulise sisalduse visuaalne määramine nagu tiheduse määraminegi saab olla vaid äärmiselt ligikaudne (teoreetiliselt peaaegu võimatu). Välitöödel tuleb hinnata irdpinnase küllastusastet, s.o millisel määral on pinnase poorid veega täitunud. Savipinnas on Eesti kliimas enamasti veeküllastunud olekus (välja arvatud paljandites ja maapinnalähedastes kih- tides pinnasevee sügavamal asendi tõttu). Savipinnase veesisaldust iseloomustab ka konsistents ning koostis. Savi niiskus on suurem kui möllsavil (ühesuguse konsistentsi korral), möllsavil suurem kui savimöllil. Kõva konsistentsiga savi veesisaldus on märksa suurem kui voolaval savimöllil, kuigi ta tundub olevat väheniiske (mõlemad on veeküllastunud olekus).

Liiva ja jämedateralise pinnase puhul tuleb hinnata selle küllastusastet terminitega kuiv, niiske, märg, veeküllastunud.

Väliuurimise praktikas on juurdunud **veeküllastunud turba lagunemisastme** hindamisel 5-palline süsteem, mida on soovitatav rakendada ka ehitusgeoloogilistel uuringutel:

1) **lagunemata turvas** – värvus on hele, taimejäänused on kergesti eraldatavad ja määratavad palja silmaga. Kõdunenud materjali on vähe. Pihus pigistamisel eraldub palju peaaegu puhast vett, turbamassi sõrmede vahelt välja ei suru;

2) **halvastilagunenud turvas** – taimejäänused on kergesti märgatavad. Pigistamisel eraldub palju kollast vett ja väga vähe turbamassi;

3) **keskmiselt lagunenud turvas** – taimejäänused on märgatavad. Vett eraldub vähe ja see on pruuni või helepruuni värvusega. Sõrmede vahelt on turbamass vähe (allapoole) läbisurutav. Peale peos pressimist on turba pind taimejäänuste tõttu karvane, käed ei määrdu (nagu eelmistel juhtudelgi);

4) **hästilagunenud turvas** – märgatavad on üksikud taimejäänused. Eralduv vesi on tumepruun. Suurem

osa turbamassist pigistub sõrmede vahelt välja määrides käsi;

5) **ülilagunenud turvas** – taimejäänused pole palja silmaga märgatavad. Vett turba pigistamisel ei eraldu, turbamass on sõrmede vahelt kergesti väljasurutav, määrrib tugevasti käsi.

Tavalisemateks **lisanditeks** looduslikes pinnastes on orgaanilised lisandid (huumus, taimejäänused) ja jämpurd (kruusa- ja mügiterad, veerised-rähased, munakad-kamakad, rahnud-pankad).

Orgaanilised lisandid on iseloomulikud mullastumisprotsessidele allunud pinnasele, järve- ja jõesetetetele (liiv- ja savipinnased), lubi- ja meresetetetele. Kuni 10%-line orgaanilise aine sisaldus pinnases loetakse lisandiks, suurema sisalduse (10–50%) puhul nimetatakse pinnas turvastunuks (nõrgalt, keskmiselt või tugevasti turvastunud liiv, savimöll, savi jms). Pinnasele õige nimetuse andmine on võimalik vaid piisaval hulgal proovide võtmisega, visuaalselt ei ole võimalik orgaanilise aine sisaldust kuigi täpselt määrata. Orgaanilise aine kirjeldamisel tuleb märkida, kas tegemist on taimejäänustega või kolloidse (mudaja) materjaliga.

Jämpurru sisalduse hindamine on paratamatult samuti väga ligikaudne, kuna hinnata tuleks kaalulist, mitte mahulist sisaldust. Jäme- ja peenpurru mahumassi (üldtiheduse) erinevuse tõttu on jämpurru kaaluline sisaldus 1,20–1,25 korda suurem kui mahuline. Nõuetekohasel kirjeldamisel tuleks märkida ka jämpurru valdav kivimiline koostis (lubjakivid või tardkivimid), veelgi parem, kui suudetakse hinnata tardkivimist veeriste jms osatähtsust jämpurru ja kivide ümardatust. Jämpurdpinnase puhul on lisandiks nn vahetäide (enamasti liiv või savimöll), mida tuleb kirjeldada nii koostise (nt jämeliiv, peenliiv, savimöll vms) kui ka konsistentsi järgi.

Pinnase kihilisuse kirjeldamine puurtöödel on puursüdamikü väikese läbimõõdu ja vahel ka rikutuse tõttu võrdlemisi perspektiivitu ülesanne, välja arvatud peenkihitatud pinnase puhul. Jääjärveliste setete iseloomulik varviline tekstuur (mikrokihilisus) võib loodusliku niiskuse juures kergesti märkamata jääda, avaldudes märksa selgemini pärast kuivamist. Päevikusse tuleb märkida kihikeste ja kihtide valdav paksus, värvuse erinevus, horisontaalsus või kõrvalekalded sellest.

Tehispinnastest on Eestis levinud fosforiiditootmise jäätmed (flotoliivad), põlevkivituhk, aheraine, lubisete paberitootmise jäägina. Need on koostiselt võrdlemisi ühtlased ning nende geotehniliste omaduste uurimine ei ole seotud eriliste raskustega. Kõige laiem levikuga on meil täitepinnas, mille päritolu, koostis ja omadused võivad olla äärmiselt ebaühtlased (looduslik pinnas ning ehitus- ja majandusprah; tootmisjäätmed, kohevad või väga tihedad; tsementeerunud või tsementeerumata pinnas jne). Asulates on aastasadade vältel kujunenud nn kultuurkiht, mille koostis ja omadused on samuti ebaühtlased.

Paljudel juhtudel on täitepinnase paksus väike, vähem vundeerimissügavusest ja selle omaduste põhjalik uurimine ei oleks nagu otstarbekohane. Hiljem aga selgub, et maapinda tõstetakse (täidetakse) ja täitepinnas jääb vundeerimissügavusse. Teades projekteeritava ehitise konstruktsiooni iseärasusi tuleb vahel (täitepinnase esinemist ei olnud oodata) välitööde käigus otsustada, kas vundeerimine täitepinnasele on mõeldav või mitte. Sageli tuleb seda teha koos projekteerijaga pärast välitööde (või nende osa) lõpetamist ning ette näha täiendavat uurimistööd. Ülaltoodud arvesse võttes on täitepinnase detailne kirjeldamine (koostis, üksikute komponentide ligikaudne sisaldus, koostise püsivus nii vertikaal- kui ka horisontaalsuunas, eriti mulla jms pinnast nõrgendavate komponentide esinemine) pea igal juhul vajalik. Soovitav on hoolikalt jälgida puurinstrumendi süvistuskiirust ja selle järgi hinnata pinnase tihedust. Tavaliselt õnnestub saada detailsem kirjeldus lühema puurimistsükli kasutamisega ning iga tsükli puursüdamikü eraldi kirjeldamisega. Väärt informatsiooni saab proovide võtmisega pinnase veeküllastunud ja orgaanilist ainet sisaldavatest osadest. Kohalike elanike küsitlemise teel tuleb selgitada täitepinnase vanus. Tsementeerunud tehispinnase puhul tuleb iseloomustada tsementeerumisastet (nõrk, keskmine, tugev).

Kaljupinnas. Liivakivi ja aleuroliidi välikirjeldusel tuleb pearõhk asetada tsementeerumisastme ja koostise selgitamisele, samuti lõhede esinemisele. Tuleb jälgida ka vee mõju liivakivi tugevusele, kui pinnas lasub ülalpool veepinda. Nimelt on liivakivi vees pehmenev (pehmenemine on määratav laboris), savitseemendi või nõrga lubitseemendiga liivakivitükid võivad vees täielikult laguneda.

Tsementeerumisastme määramisel võib juhinduda järgmistest kriteeriumidest:

- 1) **nõrgalt tsementeerunud** liivakivi või aleuroliit – tükid pudenevad liivaks sõrmede vahel vajutades;
- 2) **keskmiselt tsementeerunud** – tükid purunevad näpude vahel murdes, kuid liivaks ei pudene;
- 3) **tugevasti tsementeerunud** – tükid on väga kõvad, kätega raskesti murtavad.

Liivakivi ja aleuroliidi koostist iseloomustatakse sarnaselt liivaga (peenterised jne), savikas aleuroliit võib peenedatult olla koostiselt (saviliiv) savimöll.

Graptoliitargilliit ja põlevkivi. Erilist tähelepanu tuleb pöörata murenenud osale, mis paljudel juhtudel on porsumise (keemiline murenemine) tagajärjel minetanud poolkaljupinnase omadused ja muutunud plastseks savipinnaseks (möllsavi, savimöll). Sellisel juhul on kindlasti vaja võtta proove koostise ja omaduste täpsemaks määramiseks. Kivimi murenemisastet iseloomustab mingil määral ka puursüdamiku lagunemine õhukesteks liistakuteks.

Karbonaatkivimid (lubja- ja dolokivi, mergel ja domeeriit) on Eesti kõige parema kandevõimega pinnased, mis isegi murenenud olekus on heaks ehitusaluseks. Lubjakivide puhul on kõige ohtlikumaks nähtuseks, mis võib küsimärgi alla seada neile rajatavate ehitiste (ka teede) püsivuse, nende karstumine. Karstinähte esinemise tunnuseks on lehterjad nõod ja liiakujulised positiivsed vormid, lubjakivi pealispinna teravad kõikumised, pinnasevee puudumine kuivematel aastaaegadel, lõhede ja õõnsuste esinemine (võivad olla täitunud savika või lubjarikka materjaliga) lubjakivis. Karstiohtlikel aladel tuleb puurauke teha väiksema vahemaaga (10–20 m) ja kasutada ka geofüüsikalisi uurimismeetodeid, mis võimaldavad kõige efektiivsemalt karstinähteid avastada. Puurimisel on kõige selgemaks karstumise tunnuseks puurinstrumenti kiire vajumine tühjades või savimaterjaliga täidetud karstiõõnsustes, vahel on sellised õõnsused (lõhed) täitunud moreeniga, millest võib leida tard- või moondekivimitest veeriseid (meie karbonaatsetes kivimites neid ei leidu).

Alati tuleb hoolikalt kirjeldada murenenud karbonaatseid kivimeid, kuna neis leiduvad mergli, eriti savimergli (või savidomeeriidi) vahekihid võivad olla

murenemisel muutunud tavaliseks savipinnaseks. Enamikel juhtudel sellised vahekihid ei ole otseselt ohtlikud kandevõime poolest, kuid külmumisel võivad sinna kujuneda paksud jääläätsed. Jää sulamisel savipinnas võib muutuda vedelaks ja surutakse vundamentitalla alt välja.

Karbonaatkivimite puhul on vajalik kirjeldada ka üksikute kihtide paksust (puursüdamiku jagunemise järgi), tugevust ja värvust. Värvuse järgi on mõningatel juhtudel võimalik otsustada kivimi koostise üle. Merglile on iseloomulik kollakas-, pruunikas- või rohekashall värvus, lubjakivile – helehall või peaaegu valge, dolokivile – sageli ebaühtlane punakas-, pruunikas- ja rohekashall värvus. Kirjeldada tuleb ka kristallide suurst (afaniitne – kristallid pole palja silmaga eraldatavad, peenekristalliline jne) ja kavernide (tühimike) esinemist kivimis.

Kirjandus ja standardid

Ehitusgeoloogilise uurimistöo ohutustehnika eeskirjad. 1984. Riiklik Ehitusuuringute Instituut. Tallinn.

Puurmeistri käsiraamat. 1990. Riiklik Ehitusuuringute Instituut, Tallinn, 1–3 köide, 2. köide.

Vilo, A. 1986. Ehitusgeoloogia. Tartu Riiklik Ülikool, Geoloogia kateeder, Tartu, 109 lk.

EVS 1997-1:2003. Geotehniline projekteerimine. Osa 1. Üldeeskirjad.

EVS 1997-2:2003. Geotehniline projekteerimine. Osa 2. Laboriteimid.

EVS 1997-3:2003. Geotehniline projekteerimine. Osa 3. Välikatsed.

EVS-NE 1997-1:2006. Eurokoodeks 7: Geotehniline projekteerimine. Osa 2. Pinnaseuuringud ja katsetamine.

GOST 12071-72. Proovide võtmine, pakendamine, transport ja hoidmine.

GOST 200 69-74. Pinnased. Surupenetreerimine.

GOST 199 12-74. Pinnased. Dünaamiline penetreerimine.

GOST 5686-78. Vaiad. Välikatsed.

GOST 202 76-85. Pinnased. Deformatsioonimooduli määramine pressiomeetriga.

14. GEOTEHNILISED UURINGUD

Geotehnilised uuringud peavad andma kõik projekteerimiseks vajalikud andmed pinnase, põhja- ja pinnasevee kohta. Geotehnilise uurimise, arvutuste ja ehituse järelevalve minimaalse vajaliku mahu ja tehnilise taseme määramiseks tuleb välja selgitada geotehnilise keerukuse aste, võttes arvesse riski inimeste elule ja varandusele. Väikeste ning kergete ehitiste ja väikesemahuliste mullatööde puhul, kui risk inimeste elule ja varandusele on väike, võib kasutada lihtsustatud uurimis- ja projekteerimismeetodeid.

Geotehnilise projekteerimise nõuete kindlaksmääramisel peab arvestama järgmiste tegurite mõju:

- 1) ehituse ja selle osade konstruktsiooni ja suurust;
- 2) ümbruse tingimusi (naaberhooned, liiklus, insenerivõrgud, taimestik, ohtlikud kemikaalid jne);
- 3) geoloogilisi protsesse ja nähtusi;
- 4) geotehnilist olukorda;
- 5) pinnasevee režiimi.

EELUURINGUD

Eeluuringute eesmärk on andmete hankimine:

- 1) ehituskoha üldise sobivuse hindamiseks;
- 2) alternatiivsete ehituskohtade võrdlemiseks;
- 3) põhi- ja kontrolluuringute planeerimiseks;
- 4) pinnase ja pinnasevee reostuse hindamiseks;
- 5) olemasolevate allmaaehitiste ja -rajatiste kohta (kaevandused, vanad vundamendid, keldrid, tunnelid, torustikud, kaablid jne).

Põhilised informatsiooniallikad, mida peab silmas pidama eeluuringutel, on:

Geotehnilise projekteerimise nõuete kindlaksmääramiseks jaotatakse ehitised kolme geotehnilisse kategooriasse. Ehitusgeoloogilised tingimused, mis mõjutavad ehitise geotehnilise kategooria määramist, tuleb selgitada uuringute algstaadiumis, sest geotehnilisest kategooriast sõltub uuringute iseloom ja maht. Võimaluse korral tuleb selleks kasutada arhiivimaterjale, geoloogilisi kaarte jms.

Esimese geotehnilise kategooria puhul võib projekteerimisel tehtud eelduste õigsust kontrollida ehitustööde ajal tehnilise järelevalve korras. Uurimisel peab visuaalse vaatluse kõrval kasutama šurfimist, penetreerimist või puurimist.

Teise ja kolmanda kategooria geotehnilised uuringud koosnevad reeglina kolmest etapist, mis võivad osaliselt kattuda. Need on eel-, põhi- ja kontrolluuringud.

- 1) ehituskoha rekognostseerimine (eeluuring);
- 2) varem koostatud topograafilised plaanid ja kaardid;
- 3) hüdrooloogilised uuringud;
- 4) läheduses asuvate ehitiste ja kaeviste uurimine;
- 5) geoloogilised kaardid ja aruanded;
- 6) ehituskoha läheduses tehtud geotehniliste uuringute aruanded;
- 7) kohalike elanike küsitlus.

Kui uuritava maa-ala kohta puudub piisava täpsusega informatsioon, tuleb rajada mõni puurauk.

PÕHIUURINGUD

Põhiuuringute eesmärk on:

- 1) algandmete hankimine ehitiste usaldusväärseks ja ökonoomseks projekteerimiseks;
- 2) informatsiooni hankimine otstarbeka ehitusmeetodi valikuks;
- 3) võimalike ehitustööde komplitseerivate tegurite selgitamine.

Põhiuuringud peavad andma usaldusväärseid andmeid geotehnilise läbilõike ja pinnase omaduste

kohta, mis võivad mõjutada projekteeritava ehitise käitumist või ehitustööde käiku. Kõik vajalikud pinnase omadused peab kindlaks määrama enne projekteerimise lõppstaadiumi algust.

Põhiuuringutes peavad olema käsitletud järgmised küsimused:

- 1) pinnase koostis ja füüsikalised omadused;
- 2) pinnase tugevus;
- 3) pinnase kokkusurutavus;

- 4) pinnasevee tase, selle võimalik kõikumine, põhjavee tase ja surve;
- 5) veejuhtivus;
- 6) pinnase tihendatavus;
- 7) pinnase ja pinnasevee agressiivsus;
- 8) võimalused pinnase omaduste parendamiseks;
- 9) pinnase külmumisega seotud nähtused.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata järgmistele geoloogilistele nähtustele ja protsessidele ning nendega seotud iseärasustele:

- 1) karst;
 - 2) maalihke oht;
 - 3) murenemine;
 - 4) hüdrooloogilised mõjud ja erosioon;
 - 5) lõhed, praod ja rikked kivimites;
 - 6) jäätmete, reostuse, tehispinnase, vanade vundamentide ja keldrite, torustike, tunnelite jms esinemine.
- Pinnase geotehnilised omadused tuleb määrata sobivate, eelistatavalt üldtuntud või tavapäraste standardiseeritud uurimismeetoditega. Tavapärased uuringud on puurimine, penetreerimine, välikatsed ja teimid. Kohtades, kus geoloogilised ja geotehnilised iseärasused on piisavalt tuntud, võib puurimisest loobuda ja piirduda ainult penetreerimisega.

Uurimine peab haarama kõiki pinnasekihte, mis on antud projekti jaoks olulised ja millest sügavamale jääv pinnas ei mõjuta ehitise käitumist.

Uuringupunktide (puuraugud ja penetreerimised) vahekaugus ja sügavus tuleb valida maa-ala kohta olemasoleva geoloogilise informatsiooni, ehitusgeoloogiliste tingimuste, ehitise tüübi ning raskuse alusel, tuginedes normidele. Uuringupunktide hulk ja asend peavad võimaldama interpoleerimise teel määrata piisava täpsusega pinnasekihtide paksuse igas punktis. Ekstrapoleerimine on lubatud ainult lihtsa geoloogilise ehituse puhul, s.o ühesuguse paksusega horisontaalsete või püsiva kaldega kihtide korral.

Suure pindalaga ehitiste puhul võib maa-ala haarata uurimispunktide sammuga 20–40 m. Ainult täitmiselisele kuuluval alal võib samm suurem olla. Üksik- ja lintvundamentide puhul peab puuraugu või penetreerimise sügavus ulatuma allapoole eeldatavat vundamenti talda vähemalt 1–3-kordse talla laiuse võrra. Tihedalt paiknevate vundamentide korral peab uurimine ulatuma vähemalt sügavuseni, mis võrdub ehitise laiusega, või kaljuni. Nõrga savipinnase, turba ja koheva või orgaanilist ainet sisaldava liiva peab läbima kogu paksuses.

Vaivundamendi projekteerimiseks peab uurimine ulatuma kaljuni või vaia aluseks sobiva tugevama pinnasekihi pealispinnast allapoole vähemalt:

- 1) 5 vaia läbimõõtu + 1 meeter;
- 2) 5 meetrit;
- 3) vaia gruppi laiuse (vaiaotste tasapinnas) võrra.

Eeltoodud soovitusel uurimissügavuse valikuks üksik-, lint- ja vaivundamendi puhul kehtivad juhul, kui sügavamale ei jää halvemate geotehniliste omadustega pinnasekihte. Viimaste esinemisel peab uurimissügavus ulatuma nende all asuva tugeva pinnaseni. Mõnel juhul võib osutuda vajalikuks suurem uurimissügavus, et tagada alternatiivsete variantide võrdlemise võimalus.

Tuleb kindlaks määrata uuringute aegne pinnasevee tase ja surve korral surve kõrgus. Uuringud peavad võimaldama prognoosida ekstreemseid veetasemeid ja veesurve muutusi.

Teise geotehnilise kategooria puhul peab poorivee rõhu uurimisel kasutama mõõteandmeid. Samuti tuleb selgitada drenaažisüsteemide ja veehaarete asend ning tarbitava vee hulk. Korrosiooniohtlikkuse selgitamiseks on vajalik pinnasevee ja pinnase keemiline analüüs.

Kolmanda kategooria puhul peab uuringute maht ja ulatus rahuldama vähemalt eeltoodud nõudeid. Enamasti osutuvad vajalikuks eriuuringud. Selliste uuringute põhjendus ja andmetöötlus peab olema üksikasjalikult dokumenteeritud.

KONTROLLUURINGUD

Kontrolluuringud tuleb teha juhul, kui:

- 1) ehitustööde käigus selgub, et pinnase profiil või kaeviku põhja jääva pinnase liik ning omadused erinevad uuringuga määratudest;
- 2) põhjavee tase on esialgselt määratud kõrgemal;
- 3) ehitise käitumine ei vasta prognoositule (näiteks deformatsioonid on suuremad).

UURINGUPUNKTIDE SOOVITATAVAD VAHEKAUGUSED JA SÜGAVUSED

Uuringupunktide soovituslikud vahekaugused meetrites:

- kõrg- ja tööstusehitised 15 – 40
- suure pindalaga ehitised kuni 60
- tammid ja paisud 25 – 75
- liiniehitised (teed, raudteed, kanalid, torustikud, kaitsetammid, tunnelid, tugiseinad) 20 – 200

Eriehitiste (sillad, korstnad, masinavundamendid) iga vundamendi jaoks tuleb arvestada 2–6 uuringupunkti.

Uurimissügavuse (z_a) valikul peaks juhinduma järgnevatest väärtustest. Kui ehitised on rajatud varasemast tuntud ja usaldusväärsetele kihtidele võib uurimissügavust vähendada kahe meetrini ($z_a = 2$ m). Eba-piisava geoloogilise uurituse puhul peaks vähemalt üks puurauk ulatuma viie meetrini ($z_a = 5$ m). Kui vundamendi eeldataval sügavusel asub kalju, peab selle võtma lähtetasandiks (lähtetasand on ehitise vundamendi, ehitise osa või ehitussüvendi sügavaim punkt, z_a väärtustest peaks kasutama suurimat). Teistel juhtudel ulatub z_a kalju pealispinnani.

Kõrghoonete ja insenerirajatiste puhul peaks kasutama järgnevatest väärtustest suuremat:

$$z_a \geq 6 \text{ m või } z_a \geq 3,0 b_F,$$

kus b_F on vundamendi väiksema külje pikkus.

Plaatvundamendi ja paljude vundamentidega rajatiste puhul, kus mõjud sügavamates kihtides üksteisega liituvad, on:

$$z_a \geq 1,5 b_B, \text{ kus } b_B \text{ on ehitise väiksem külg.}$$

Mullete puhul tuleks kasutada suurimat väärtust alltoodutest:

$$0,8h < z_a < 1,2h \text{ ja } z_a \geq 6,0 \text{ m, kus } h \text{ on mulde kõrgus.}$$

Kaevandite puhul tuleks kasutada suurimat väärtust alltoodutest: $z_a \geq 0,4h$ ja $z_a \geq 2,0$ m,

kus h on mulde kõrgus või kaevandi sügavus.

Lineaarehitiste jaoks peaks kasutama järgnevatest väärtustest suurimat. **Maanteed** ja **lennuväljad**: $z_a \geq 2$ m allapoole eeldatava täidendi põhja. **Kraavid** ja **torujuhtmed**: $z_a \geq 2$ m allapoole kaevatud tasandit või $z_a \geq 1,5 b_{Ah}$, kus b_{Ah} on kaevandi laius.

Vajadusel tuleks täiendavalt järgida soovitusi mullete ja kaevandite jaoks.

Väikesed tunnelid ja õõned: $b_{Ah} < z_a < 2,0 b_{Ah}$, kus b_{Ah} on kaevandi laius.

Arvestama peaks **pinnasevee** tingimusi. Ehitussüvendid, kus piesomeetriline pind ja pinnaseveetase on:

1) allpool süvendi põhja, peaks kasutama alljärgnevatest tingimustest suurimat väärtust

$$z_a \geq 0,4h \text{ ja } z_a \geq (t + 2,0) \text{ m,}$$

kus t on toetuse sügavus allapoole süvendi põhja ja h süvendi sügavus;

2) süvendi põhjast kõrgemal, tuleks kasutada alljärgnevatest tingimustest suurimat väärtust

$$z_a \geq (1,0H + 2,0) \text{ m ja } z_a \geq (t + 2,0) \text{ m,}$$

kus H on pinnaseveetaseme kõrgus süvendi põhjast ja t on toetuse sügavus allapoole süvendi põhja (näiteks sulundsein).

Kui selles sügavuses ei esine veepidet, siis $z_a \geq t + 5,0$ m.

Veetõkkerajatiste puhul peaks z_a määrama sõltuvalt vee paisutustasemest, hüdrogeoloogilistest tingimustest ja ehitusmeetodist. Veetõkke ekraani jaoks $z_a \geq 2$ m allapoole veepideme pinda.

Vaiade puhul peaks arvestama kolme järgmist tingimust: $z_a \geq 1,0 b_g$, $z_a \geq 5,0$ m ja $z_a \geq 3 D_F$,

kus D_F on vaia põhja läbimõõt ja b_g on vaiagrupist vaiapõhja tasapinnas moodustuva ristkülikulise vundamendi väiksem külg.

15. GEODEESIA

Geodeesia peatükis antakse puurijale mõningaid näpunäiteid ja teadmisi kasutatavast tehnoloogiast ja see käsitleb: 1) lihtsamaid töövahendeid; 2) kõrguslikke seoseid geomeetrilisel nivelleerimisel ja 3) GNSS (*Global Navigation Satellite System*) tehnoloogiat ja selle iseärasusi.

Geodeesia on teadus Maa kui planeedi ning selle pinna osade kuju ja suuruse määramisest (Randjärv 1997). Geodeesia on rakendusteadus, mis on tihedas seoses matemaatika, astronoomia, füüsika, geofüüsika, geomorfoloogia, geograafia ja teiste teadustega. Arvatavasti pani geodeesia tekkele ja arengule aluse vajadus mõõta ja jagada piiratud ressursi – maad. Maa muutus oluliseks ressursiks ajal, kui inimesed asusid seda harima ja maavarasid kasutama, asendades sellega jahipidamise ja koriluse. Seega võime geodeesia kui teaduse vanust hinnata julgelt 7000 aasta taha.

Nagu kõik eluvaldkonnad, pole ka geodeesia jäänud puutumata arvutustehnika, tänapäevasemalt infotehnoloogia, tormilisest arengust. Infotehnoloogia rakendamine geodeesias on muutnud seda tegevusala tundmatusest. Oskuslikku käsitsemist eeldavad mõõteinstrumentid ja aeganõudvad tööd on muutunud lihtsaks ja kiireks. Vaevalised arvutused tehakse enamasti automaatselt, ilma et geodeet peaks sellesse süüvima. Oma sisult on geodeesia jäänud ikka endiseks – looduses mõõdetakse jooni ja nurki ning nende põhjal tehakse vajalikud arvutused. Arvutuste tulemusena saadakse andmed, põhiliselt ruumiandmed, mida on võimalik kasutada mitmesuguste rakenduste jaoks vajalikku informatsiooni luues.

Geodeetiliste instrumentide kiire areng kasutuse mugavuse suunas on asendamas geodeete ehitusplatsil märkimistöödel. Instrumentid on suuresti automatiseeritud ja kasutajaliideses on viidud



MAGNET Construct (*Topcon Positioning Systems*) rakenduse avakuva iOS nutitelefonis.



MAGNET Construct rakenduse töökomplekt LN-100 Layout Navigator ja nutiseade menüüvalikuga kasutajaliideses.

nutiseadmetesse, mis on tänapäeva inimestele harjumuspärased kasutada.

Geodeetilised tööd geoloogilistel puurimistöödel

Geoloogilistel puurimistöödel puutuvad puurijad geodeetiliste töödega kokku põhiliselt kahes lõigus. Esmalt siis, kui looduses on vaja kindlaks teha puuraugu või uuringupunkti asukoht, ja teiseks siis, kui tööde korrektseks dokumenteerimiseks on vaja koguda ja edastada infot puuraugu kohta.

Dokumenteerimisel tuleb näidata puuraugu asukoht. Seda on mõistlik teha puuraugu koordinaatide kaudu. Kohtades, kus ümberringi on kohtkindlad rajatised või ehitised, saab puuraugu asukohta dokumenteerida ka joonsidemetega ehitistest. See pole aga parim meetod, sest enamasti pole teada kuidas ja kui täpselt on ehitised plaanile kantud. Teisalt võivad ehitised ka ise kaduda, näiteks lammutatakse.

Geoloogiliste tööde juures on suur tähtsus pinnasekihtide lasumissügavusel ja paksusel ning alati tuleb määrata uuringupunkti kõrgusmärki. See võimaldab edaspidi mõõta ja arvutada ka pinnasekihtide kõrgust. Geodeetiliste tööde seotusel geoloogilise puurimisega tuleks lähtuda sellest, milleks puuritakse, kes on tööde klient ja kes kasutab puurimistööde andmeid. Antud juhul käsitletakse puurija kliendina või andmete kasutajana geoloogide või geotehnikainsenere.

Geoloogia üheks oluliseks väljundiks on geoloogiline kaardistamine, geotehnika väljundiks on samuti pin-

nasekihtide kaardistamine ja nende omaduste määramine, aga seda põhiliselt inseneriülesannete lahendamiseks. Geoloogid ja geotehnikainsenerid peavad oma töö väljundi omakorda esitama klientidele arusaadavas vormis. Sama kehtib ka puurijate puhul. Üks oluline aspekt siin on koordinaat- ja kõrgussüsteem, milles mõõtmistöö toimub ja milles tulemused avaldatakse. Geodeesia osa olulisus puurimistööl seisnebki selles, et puurijate kogutud andmed oleksid varustatud korrektsete ja võrreldavate asukohaandmetega – koordinaatide ja kõrgustega.

Koordinaat- ja kõrgussüsteemid

Koordinaatsüsteeme on erinevaid. Siin käsitletakse vaid Eestis Keskkonnaministri 26.10.2011 määrusega nr 64 "Geodeetiline süsteem" kehtestatud üleriigilist ristkoordinaatsüsteemi, mida tuntakse kui Lambert-Est 97. Samuti vaatleme seni kehtivat Balti kõrgussüsteemi.

Lambert-Est 97 koordinaatsüsteemi parameetrid on saadaval Maa-ameti kodulehel ja on järgmised:

Lamberti konformne kooniline projektsioon LAMBERT-EST

Geodeetiline referentsüsteem: ETRS89

Referentsellipsoid: GRS80

Koonuse lõikeparalleelid:

BL = 58°00'

BP = 59°20'

Telgmeridiaan:

LK = 24°00'00"

Tasapinnaline ristkoordinaatide süsteem L-EST97 (põhineb LAMBERT-EST-il)

x telg on kollineaarne LAMBERT-EST telgmeridiaaniga

Lähtepunkti geodeetilised koordinaadid:

B0 = 57°31'03.19415"

L0 = 24°00'

Lähtepunkti ristkoordinaadid:

x0 = + 6375 000 m

y0 = + 500 000 m

L-EST97 epsg:3301

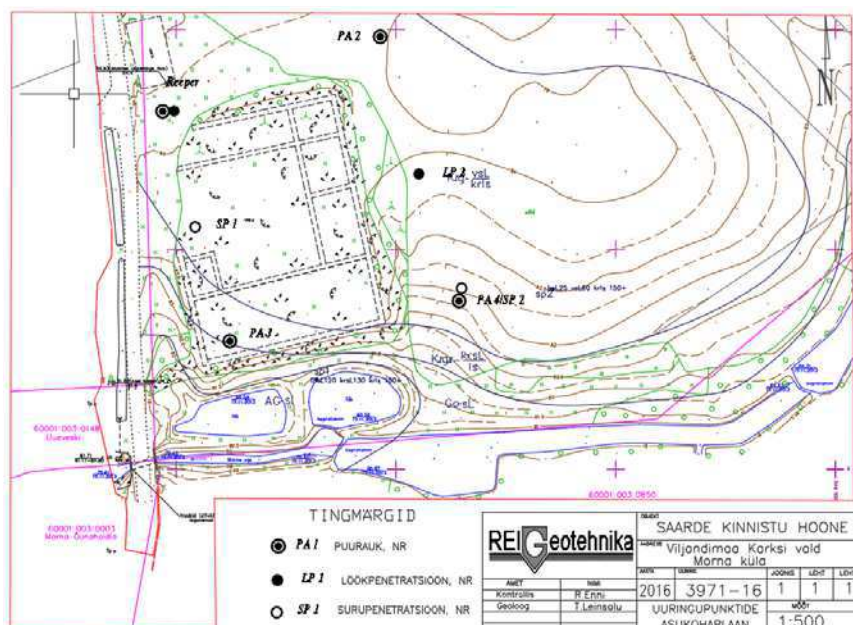
Sama õigusaktiga Eestis kehtestatud kõrgussüsteem BK77 tugineb Kroonlinna veemõõdulati lugemitele. Tõenäoliselt kehtestatakse lähiajal ka Eestis uus kõrgussüsteem, mis tugineb Amsterdami veemõõdulatile. Nende kõrgussüsteemide 0-punktide kõrgusmärgid erinevad vaid pisut vähem kui 20 cm ja on suur oht süsteeme omavahel segi ajada, seda just süsteemide vahetuse ajal. Seega tuleb olla väga tähelepanelik ja korrektne oma töödes kõrgussüsteemile viidates.

Geodeetilised instrumendid

Geodeetiliste instrumentide valik on tänapäeval väga rikkalik. Endiselt kasutatakse terasest või fiiberkiust mõõdulinte, samas on kasutusel ka reaalaaja GNSS vastuvõtjaid.

Joonemõõdu instrumendid. Kui puurauk on kavandatud kohta, kus läheduses on piisavalt kindlaid situatsioonielemente (ehitiste ja hoonete nurgad, seinte pikendused), mis on kantud ka kasutada olevale geodeetilisele alusplaanile, on plaaniline sidumine võimalik joonsidemetega. See tähendab, et joonemõõdu instrumendiga (mõõdulint, rulett aga ka laserkaugusmõõdik) saab puuraugu loodusesse märkida. Selle eelduseks on võimalus võtta geodeetiliselt alusplaanilt joonsidemeid situatsioonielementidest. Soovitav on joonsidemed võtta digitaalselt alusplaanilt, kui see on olemas. Andmeid saab ka paber kandjal plaanilt, seda aga eeldusel, et plaani mõõtkava on teada. Olu-

Plaani näidis, mida kasutab puuriija välitöödel. Plaan on loodud REI Geotehnika OÜ poolt.

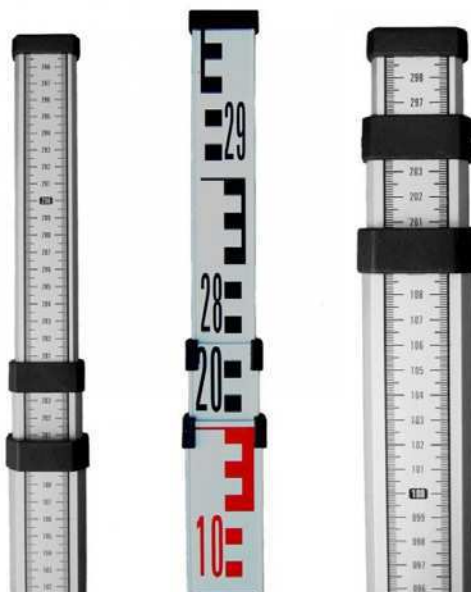


line on, et plaani paberile trükkimisel ei tehtaks mõt-kavalisi moonutusi.

Nivelliirid. Puurimistöõde juures on oluline ka nivelleerimine ehk kõrguslik mõõdistamine, et saada vajalikke kõrgusandmeid edasiseks andmetötluseks. Nivelliirid on seadmed, mis võimaldavad määrata punktide normaalkõrguste erinevust ehk kõrguste vahet. Geomeetrisel nivelleerimisel (horisontaalkiirega nivelleerimisel) ehk loodimisel määratakse punktidevaheline kõrguskasv horisontaalse viseerimiskiire ja vertikaalsete lattide abil. Horisontaalse viseerimiskiire tagab nivelliir. Nivelliir koos latiga moodustab mõõtmissüsteemi. Kõik mõõtmised tehakse eeldusel, et nivelliiri teleskoobi optiline peatelg on ristiasendis **Maa raskuskiirenduse suunaga** ehk loodjoonega. Mõõtmisel võetakse lugemid mõõdulatilt või ka mõõdulindilt, mis on asetatud punkti(de)le, mille vahel kõrguskasvusid määratakse. Latt tuleks asetada punktile võimalikult vertikaalselt.

Kui kõrgust ei saa vajalikku kohta (puuraugu juurde) ühe ülekandega lähtepunktilt, milleks on teadaoleva normaalkõrguse väärtusega punkt ehk **reeper**, tuleb rajada **nivelleerimiskäik**. Nivelleerimiskäik seisneb kõrguste vahe järjestikus määramises piisava arvu ülekandepunktide vahel. Nii saadakse summaarne kõrguste vahe lähtepunkti ja määratava punkti (puuraugu suudme) vahel. Kõrguste vahe loetakse positiivseks (liidetakse eelnevale summaarsele kõrguste vahele), kui selle määramisel on ülekande alguspunkt madalam kui lõpp-punkt. Vastupidises olukorras, kui ülekande alguspunkt on kõrgem lõpp-punktist, lahutatakse mõõtejaamas määratud kõrguste vahe.

Esimeses jaamas (J1) tehakse lugemid t_1 ja e_1 . Latt, mis on punktil A, tuleb viia sidepunktidele 2 ja tei-



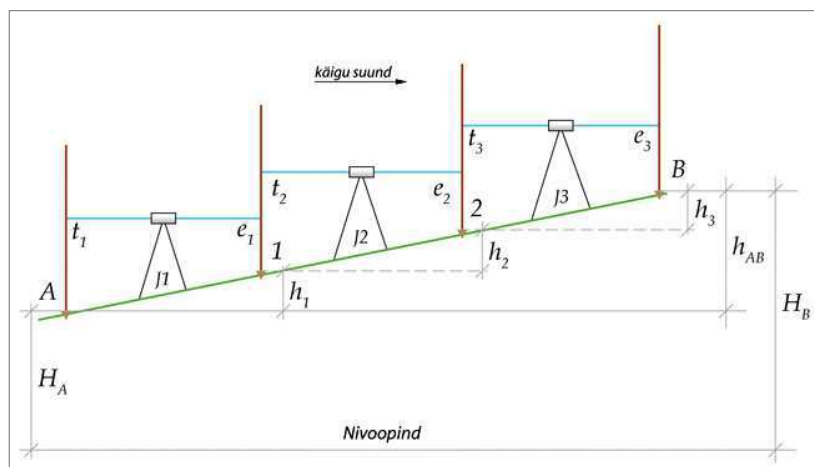
Nivelliir ja lati fragment.

ses jaamas (J2) tehakse lugemid t_2 ja e_2 . Sidepunkt 1 olnud latt viiakse punktile B ja kolmandas jaamas (J3) tehakse lugemid t_3 ning e_3 . Kõrguskasv on:

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 = (t_1 - e_1) + (t_2 - e_2) + (t_3 - e_3) = t - e$$

Seega kõrguskasv h_{AB} võrdub käigu üksikute kõrguskasvude summaga ehk tagasivaate lugemite summa

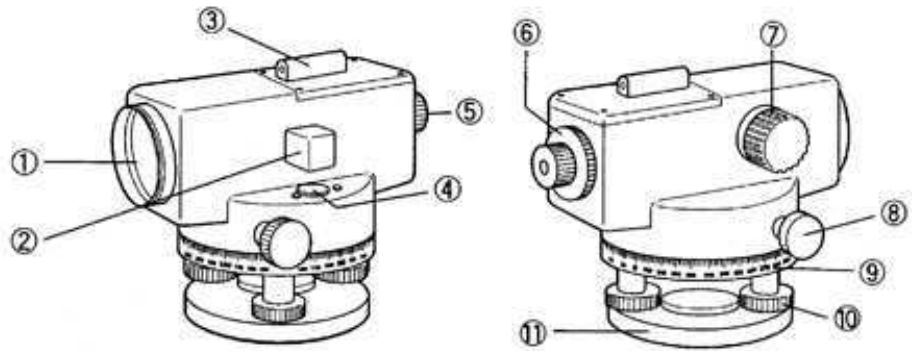
miinus edasivaate lugemite summa (Ranne 2010, Tallinna Tehnikakõrgkooli õppematerjalid). Nivelleerimisel kasutatakse statiivi, millele on mugav nivelliiri tööasendisse seada, ja ka abivahendeid kõrguste ülekandepunktides, millele asetatakse mõõdulatt nii, et selle kõrgus ei muutuks nivelliiri uude mõõdistuskohta (jaama) üles sea-



Nivelleerimiskäigu põhimõtteline skeem.

des. Selleks sobivad puu-
vaiad vms. Kohtades, kus on
oma vertikaalset positsiooni
(kõrgust) püsivalt hoidvaid
situatsioonielemente (näi-
teks äärekivid, kaevuluu-
gid), võib kasutada ülekan-
depunktidena ka neid.

Nivelliir koosneb **teleskoo-
bist**, mis võimaldab vaa-
delda mõõdulatti ja võtta sellelt lugemeid. Selleks, et
vaatleja saaks määrata kohta, kus teleskoobi vaatekiir
latti 'löikab', on teleskoopi paigaldatud läbipaistev
plaat niitristikuga. Teleskoobi optiline ehitus võimal-
dab vaadeldavat objekti suurendada ja teravustada lati
kujutise niitristiku plaadi tasapinnale. Teleskoobi **oku-**



Nivelliiri Topcon AT-22 ehitus. 1 – objektiiv; 2 –
prismasüsteem ümarvesiloodi mulli asendi jälgimi-
seks; 3 – sihik; 4 – ümarvesilood; 5 – okulaar, niitristi
teravustamine; 6 – kate, mille all on niitristi vertikaal-
suunaline justeerimiskruvi; 7 – fokuseerimiskruvi; 8 –
instrumendi peenliigutuskruvi; 9 – limb horisontaal-
nurga mõõtmiseks; 10 – tõstekruvid; 11 – alus.



Silindriline (vasakul) ja ümarvesilood (paremal).
Allikas: https://en.wikipedia.org/wiki/Spirit_level.

laar (ava läätsesüsteemis, kust sisse vaadatakse) või-
maldab teravustada niitristiku vaatleja silmale sobi-
vaks. Nivelliiri juures on oluline süsteem, mis tagab
teleskoobi horisontaalse ehk loodjoonega risti oleva
asendi, ja indikatsioon, et vaatleja saaks olla veendu-
nud selle tingimuse täitmisel.

Loodjoonega ristiasendi määramiseks kasutatakse
siiani vesiloodi. Vesiloodi suletud korpuses on vede-
lik (soovitavalt mittekülmuv), millesse on jäetud õhu-
mull. Vesiloe ülemine pind on pisut kumer, et õhumull
saaks võtta konkreetse vaadeldava kuju. Mida suurem
on vesiloe ülapinna raadius, seda täpsem on vesilood.
Vesiloe täpsust mõõdetakse kokkuleppel nurgasekun-
dites, mis tähistavad vesiloe kõrvalekallet loodjoo-
nega ristiasendist määral, mil õhumull liigub vesiloe



Jaotused ümarvesiloele.

ülapinna keskasendist (kus ta on juhul, kui vesilood
on loodjoonega ristiasendis) 2 mm jagu eemale. See
vesiloe ülapinna kumeruse raadius määrab tegelikult
vesiloe täpsuse.

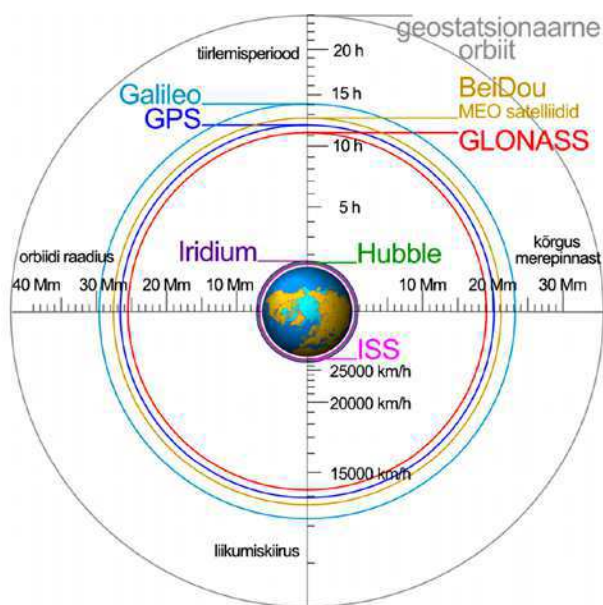
Kui varem tuli lugemist võttes jälgida vesiloe asendit
ja seda vajadusel peenliigutuskruviga ehk elevat-
sioonikruviga korrigeerida, siis tänapäeva nivelliir-
id on enamasti isehorisonteeruvad. See tähendab,
et neile on sisse ehitatud kompensator, mis seab
viseerimiskiire horisontaalseks ka juhul, kui viimane
on loodjoonega ristiasendist mingil määral kõrvale
kaldunud. Kõrvalekalde ulatus on nivelliiri kompen-
saatori tööulatus. 1990-ndatel hakati seeriatootmises
valmistama ka digitaalseid nivelliire. Nende oluliseks
eeliseks on asjaolu, et nivelliir 'tunneb' ise ära koha



Digitaalnivelliir Topcon DL-102 ja vastava koodustriga latt.

latil, kus teleskoobi vaatekiir latti „lõikab“. See eeldab aga spetsiaalse kodeeringu või mustriga lattide kasutamist. Selliste nivelliiride tugevaks küljeks on lugemite automaatne võtmine latilt. Peale latilt lugemise on ka mõõdistamisjaamas tehtavad kontrollarvutused kiired. Algoritmid aitavad vähendada lati kõikumisest tuleneva vea mõju.

Tänapäeval kasutavad geodeedid nivelleerimisel sageli elektrontahhümeetrit, mis on horisontaal- ja vertikaalnurki ning vahekaugust mõõtev instrument. Nurki ja vahekaugust teades on võimalik arvutada erinevate punktide koordinaatide juurdekasvusi ΔX , ΔY ja kõrguskasvu ΔZ . Geoloogid ja puurmeistrid niisuguseid instrumente enamasti ei kasuta. Need on nivelliirist oluliselt kallimad ja nende kasutamine on ka pisut keerulisem. Iga puurmeister hangib oma tööriistad vastavalt oma vajadustele ja oskustele.



GNSS tehnoloogiad

Tänapäeval on GNSS (ingl *Global Navigation Satellite System*) enamkasutatav navigatsioonisatelliitide süsteem asukoha määramiseks. Iga nutitelefoni sisaldab endas GNSS vastuvõtjat. Kasutame siin akronüümi GNSS juba kõnekeelseks saanud GPS (ingl *Global Positioning System*) asemel, sest GPS on eeskätt USA valitsuse poolt opereeritav positsioneerimissüsteem. Kasutusel on ka Vene valitsuse GLONASS, Hiina valitsuse arengujärgus BEIDOU ja ESA (ingl *European Space Agency*) poolt arendatav GALILEO.

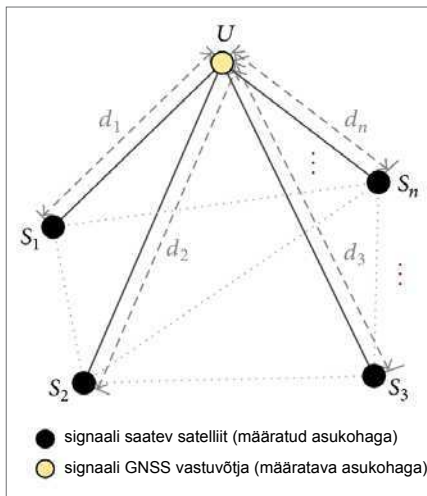
GNSS positsioneerimine on tehtud mänguliselt lihtsaks ja paljuski on positsioneerimine tänapäeval mängude osa. On ilmne, et kui mitte veel praegu, siis edaspidi on GNSS tehnoloogia valdavaks positsioneerimise abinõuks ka geoloogidele ja puurijatele. Järgnevalt tutvustame GNSS-i sel tasemel, millel peaks süsteemi kasutaja oma professionaalses tegevuses olema. Oma ülesehituselt on GNSS tehnoloogia väga keeruline ja mitmetahuline süsteem, mis tegeleb erinevatel orbiitidel ümber Maa tiirlevate satelliitide paiknemisega, ümber oma telje pidevalt pöörleva Maaga ja ühtse väga täpse ajaarvestuse süsteemiga. Peale selle tuleb tegelda mitmekümne tuhande kilomeetri ulatuses peaaegu tühja kosmosega ja siis viimased tuhat kilomeetrit iga hetkega aina tihedamalt Maa atmosfääri läbivate satelliitide signaalidega, teades et seda pikka teekonda ei õnnestu signaalil sugugi kõige sirgemat teed mööda ja ühtlase kiirusega läbida.

Geoloogid ja puurmeistrid saavad oma ülesannete lahendamisel samuti kasutada GNSS positsioneerimise võimalusi. Et seda võimalikult tõhusalt teha, käsitleme siin erinevaid GNSS tehnoloogiaid ja vastuvõtjaid – instrumente. GNSS põhineb kolmel segmendil: **kosmosesegment** ehk kindlal orbiidil ümber Maa tiirlevad satelliidid, **kontrollsegment** ehk kontrolljaamad ja arvutuskeskused Maal ja **kasutajasegment** ehk kõik GNSS vastuvõtjate kasutajad alates nutitelefoni mängivatest lastest ja lõpetades isesõitvate autodega. Siia kuuluvad ka mitmed valdkonnad, kus GNSS-i kasutatakse kutsetöös (geodeedid, geoloogid, puurijad).

Satelliitkonstellatsioonide ja geostatsionaarsete satelliitide orbiitide võrdlus.

Allikas: Wikipedia [https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(satellite_navigation\)#System_description](https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation)#System_description).

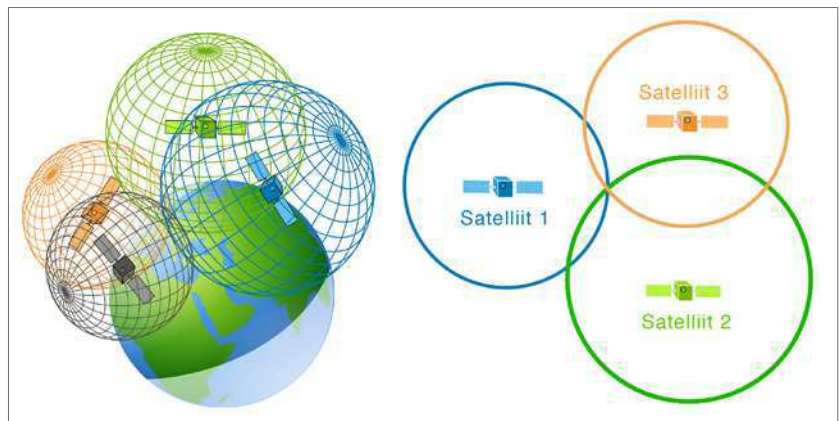
Lihtsustatult kirjeldades töötab GNSS järgmiselt: kosmosesegmendis tiirlevate satelliitide asukohad on geotsentrilises koordinaadistikus igal ajahetkel täpselt teada. Asukohad määratakse maapealsete jaamade abil, aega mõõdetakse ja arvestatakse ajaserveritesse ja satelliitidele paigaldatud ülitäpsete aatomikellade abil. Nende ajamõõturiite sünkroniseeritud süsteem moodustab just GNSS-i loomisel arendatud UTC (ingl *Universal Time Coordinated*) ajamäärmise süsteemi. GNSS satelliidid edastavad signaale, mida GNSS vastuvõtjad on võimelised vastu võtma. Signaale



Mis mõjutab GNSS mõõdistuste täpsust. GNSS mõõtmistega kaasneb rida juhuslikke ja süstemaatilisi vigu. Nende koosmõju hindamine on keeruline. Oluline on teada, millisel määral konkreetne faktor antud tingimustel võib tulemust mõjutada. Peamised GNSS mõõtmistulemusi mõjutavad faktorid on (allikas: GNSS süsteemide ülesehitus. 2013. Innove):

1. kasutatav mõõtmismetoodika (kood- vs faasmõõtmine, diferentsiaalmetoodika);
2. erinevad keskkonnamõjud (troposfäär, ionosfäär, signaalide mitmeteelisus);
3. satelliitide nähtavus ja nende paiknemine (satelliitide geometria, *Position Dilution of Precision*, lühend PDOP);
4. satelliitide orbiitide vead;
5. GNSS-i ülesehituse ja nende erinevustega seonduvad aspektid (s.h koordinaatsüsteemid);
6. kasutatav riistvara (nii satelliidid kui vastuvõtjad);
7. kasutatav tarkvara (arvutusalgoritmide valik);
8. kasutajast tingitud vead (antenni kõrguse mõõtmine, valed seadistused jms).

edastatakse erinevatel sagedustel (L1, L2, tänapäeval ka L2C ja L5, lähitulevikus ka L1C) elektromagnetlainetena. Kui maapealne GNSS vastuvõtja, näiteks nutitelefoni, saab signaale vähemalt neljalt satelliidilt, mille asukohad ja signaali väljalaskmise aeg ning kiirus (elektromagnetlainet levib valguse kiirusel) on teada, saab vastuvõtja positsiooni arvutada multilateratsiooni teel vastulõigetest teadaolevate positsioonidega punktidest. GNSS mõõdistuste puhul on multilateratsiooni teadaoleva asukohaga punktideks satelliidid, mille asukohad ja orbiidid on teada.

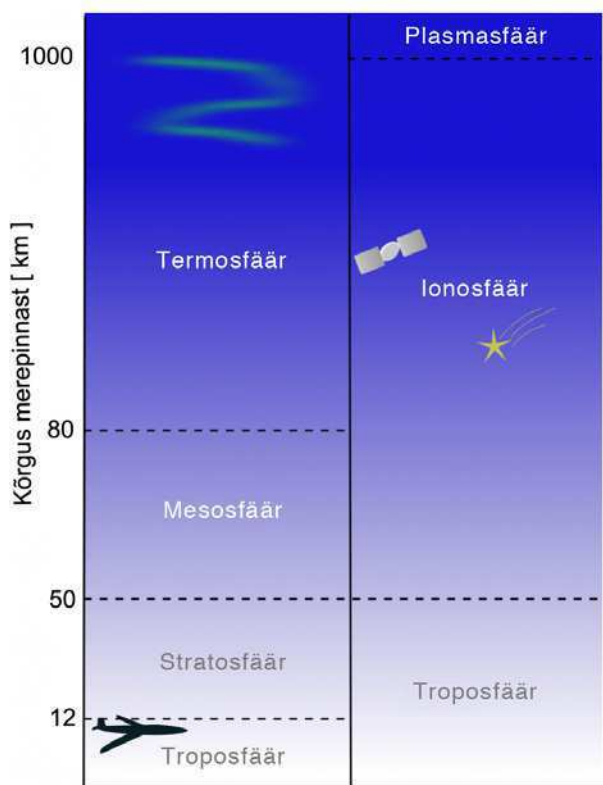


Multilateratsiooni rakendamine vastuvõtja positsiooni määramisel GNSS mõõdistusel (vasakul), GNSS vastuvõtja poolt määratud satelliitide kauguste kasutamine vastuvõtja positsiooni määramisel multilateratsiooni abil (ülal).

Keskkonnamõjudest. Satelliidi signaal läbib vastuvõtjani (kasutajani) jõudmiseks ca 20 000 kilomeetri pikkuse vahemaa. Vastuvõtja positsioon määratakse vahemaa mõõtmisega vastuvõtjast satelliitideni. Vahe-maad mõõdetakse ajaga signaali edastamise hetkest selle püüdmise hetkeni vastuvõtja antennis. Seda eeldusel, et signaali liikumise kiirus ehk valguse kiirus c on meile teada. Signaal läbib oma teekonnal erinevate tingimustega keskkonna, mis mõjutab signaali teekonda ja seega ka teekonna läbimiseks kuluvat aega.

Erinevat tüüpi GNSS vastuvõtjate tööpõhimõtted on kahte põhimõtteliselt erinevalt toimivat tüüpi: satelliitide signaali koodi lugevad ja satelliitide kandelaaine faasi lugevad vastuvõtjad.

Koodmõõtmisi kasutavad vastuvõtjad. Satelliidid edastavad erinevatel sagedustel signaale. Täpsustuseks, et siin käsitleme GPS konstellatsiooni satelliite, mitte GLONASS konstellatsiooni omi, mille puhul on signaaliga edastatava koodi ja kandelaaine sageduse seosed teised. Niisiis, GPS satelliit edastab PRN (ingl



Keskonna kirjeldus, mida satelliidi signaal oma teekonnal läbib. Allikas: GNSS süsteemide ülesehitus. 2013. Innove.

pseudo random noise) koodi (ingl *ranging code*) ja navigatsioonisõnumi. Navigatsioonisõnum sisaldab andmeid, mida võib jagada kolme gruppi:

1. info sõnumi saatnud satelliidi seisundi kohta;
2. efemeriidide andmeid ehk infot satelliidi orbiidi ja asukoha kohta, mida kasutatakse satelliidi positsiooni arvutamiseks;
3. almanahh, mis sisaldab infot kogu konstellatsiooni satelliitide ligikaudsete asukohtade ja seisukorra kohta.

Tabel 1. Erinevat tüüpi GNSS vastuvõtjate sobivus puurimistödel täpsuse järgi

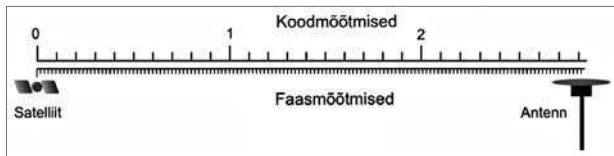
GNSS vastuvõtja tüüp	Asukoha parandi, differentsiaal	Saavutatav täpsusklassi suurusjärg	Märkused	Sobivus puurijale
Koodi lugev vastuvõtja (nutitelefon, autonavi, käsinavi)	puudub	10 m, sama mõõdistuse punktide vahel ka 1 m	seadmed väikesed, vertikaalne täpsus 1.5 korda nõrgem; ei pruugi olla L-EST ristkoordinaatsüsteemi tuge	plaan koordinaatide määramiseks, kui piisab 10 m täpsusest
Koodi lugev vastuvõtja (käsinavi, põllumajanduse lahendused)	WAAS, EGNOS, DGPS, STARFIRE	0.5–3 m, sama mõõdistuse punktide vahel ka alla 1 m	EGNOS signaal tihti varjatud; DGPS, STARFIRE jt on tasuta	enamasti töödeks plaani koordinaatide määramisel
Faasi lugev vastuvõtja (geodeetiline vastuvõtja)	RTK või RTN diferentsiaalparanditega	horisontaalselt 2–4 cm; vertikaalselt 3–6 cm; RTK täpsus on 2 cm + 2 mm/ppm	seadmetel suurem antenn, diferentsiaalparandid tasuta, või täiendav vastuvõtja baasjaamaks	plaan ja enamasti ka kõrguse määramiseks

Asukoha määramisel kasutatakse PRN koodi, reeglina C/A koodi (ingl *coarse acquisition code*). Sellesse kategooriasse kuuluvad tavaliselt käsinaviseadmed, nutitelefonid jmt. Mõõtmisandmete salvestusvõimalus reeglina puudub. Mõõtmistulemused (koordinaadid) kuvatakse seadme ekraanil, neid saab salvestada liikumistekonnana ning kasutada erinevates kaardirakenduses. GIS andmebaasi põhimõtete rakendamine võimaldab näiteks optimaalseima teekonna leidmist. Põhilisteks kasutusvaldkondadeks on erinevad navigatsiooni- ja GIS-valdkonnad. Mõned täpsemad vastuvõtjad kasutavad ka dekrüptitud P (ingl *precision*) koodi. Kood on elektromagnetlainesse (kandlainesse) moduleeritud faasimodulatsioonina. Lähtudes C/A koodi edastamise sagedusest L1 kandelainel ja valguse kiirusest kordub kood iga 300 kilomeetri tagant. Sellest tulenevalt oleks satelliidi ja vastuvõtja vahemaa mõõtmise täpsuseks (ühikuks) 300 meetrit. P koodi kasutades oleks see suurus 30 meetrit. Tegelik mõõtmiste käigus saab neid suurusi jagada väiksemateks osadeks (kuni 1% nendest suurustest). Siit leiame koodmõõtmiste teel saavutatava teoreetilise täpsuse. C/A koodi kasutades on täpsuse suurusjärg 10 meetrit, P koodi kasutamine võimaldab saavutada täpsust suurusjärgus 1 meeter.

Faasmõõtmisi kasutavad vastuvõtjad. Koodmõõtmisi käsitlevas osas leidsime suurima võimaliku täpsuse. See on geoloogile ja puurijale sobilik vaid horisontaalplaanis X, Y koordinaatide määramisel. Vertikaalkomponent jääb sellest täpsusest veel 1,5 korda ebatäpsemaks ja seega ei saa neid seadmeid kasutada vajaliku täpsusega kõrguse määramisel (tabel 1). Seepärast vaatleme nüüd teistsugusel põhimõttel töota-

vaid GNSS seadmeid. Sellised seadmed oleksid satelliitide poolt edastatava signaali kandelaaine faasi lugevad GNSS vastuvõtjad. Viimased võimaldavad kood- ja faasmõõtmisi ning nende kombineerimist. Võrreldes koodvastuvõtjatega on need seadmed oluliselt keerukama riist- ja tarkvaraga ning võimaldavad mõõtmisandmete salvestamist. Seadmed on mõnikord ka ilma ekraanita nn black box tüüpi, asukoht saadakse mõõtmisandmete hilisemal järeltöötlusel. Seadmed jagunevad ühe ja mitmesageduslikeks ning GNSS (GPS+GLONASS+...) ehk mitmesüsteemseteks vastuvõtjateks (mitmesüsteemsed võivad olla ka koodvastuvõtjad).

Signaalide paljusus ja erinevate GNSS-i omapäraga arvestamise vajadus andmetöötlemises muudavad GNSS seadmed omakorda keerukamaks koodi lugevatest seadmetest. See-eest saab neid kasutada seal, kus lihtsamad seadmed ei rahulda oma täpsusega. Kasutusvaldkonnaks on mitmesugused maamõõdutööd, GIS rakendused, täppisnavigatsioon, teadusuuringud ja muud kõrgemat täpsust nõudvad rakendused. Kui koodmõõtmisel on tingliku vastuvõtja ja satelliidi vahelise kauguse määramise mõõtühikuks 300 meetrit (või 30 meetrit P koodi puhul), siis kandelaaine faasi lugev vastuvõtja saab oma positsiooniarvutusi parandada, jagades kandelaaine ca 20 cm lainepikkust sõltuvalt kandelaaine faasist vastuvõtja antenni faasisentrisse jõudmisel. See teeb meie mõõdupuu jaotise väärtuse juba oluliselt väiksemaks. Faasmõõtmine tähendab satelliidi ja vastuvõtja vahel täisarvu lainepikkuste „kokkulugemist“ ning viimase mittetäieliku laine fragmendi pikkuse (lainefaasi) mõõtmist.



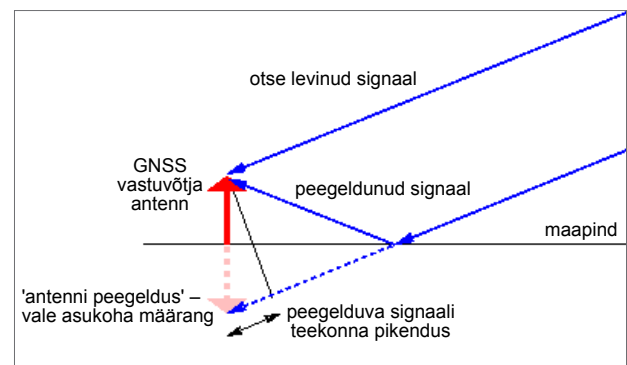
Kood- ja faasmõõtmise piltlik võrdlus. Allikas: GNSS süsteemide ülesehitus. 2013. Innove.

Faasmõõtmiste korral tuvastab vastuvõtja signaali saatnud satelliidi PRN koodi abil ja demoduleerib signaali. Meenutame, et PRN koos faasimodulatsiooniga oli kandelaainesse moduleeritud. Seejärel mõõdetakse faasinihe vastuvõtjasse saabunud laine faasi ja vastuvõtja poolt genereeritud suuruse vahel. Faasinihe määratakse laine ühe tsükli siseselt. Tsüklik nimeta-

takse ühte lainepikkust, mis GPS L1 signaali puhul on 19,05 cm (L2 puhul 24,4 cm). Seega saab faasinihet mõõta isegi millimeetri suurusjärgus. Et määrata vahemaa vastuvõtjast (sedapuhku vastuvõtja antenni faasisentrist) satelliidini, on vaja faasinihkele liita ka mõõtmise alghetkest loendatav kandelaaine täistsükli (ca 20 cm pikkuste lainete) arv. See suurus on aga mõõtmise alghetkel tundmatu suurus, mida nimetatakse alg tundmatuks (ingl *ambiguity*). Laine täistsükli loendamine erinevate konstellatsioonide erinevate satelliitideni erinevatel sagedustel (L, L2, L5 jne) ehk alg tundmatute lahendamine on faasmõõtmiste juures kõige tõsisem väljakutse. Alg tundmatute lahendus (ingl *fixed solution*) on vajalik, et saaks faasmõõtmisi sentimeetri suurusjärgu täpsusega teostada.

Kuidas mõjub satelliitide signaali mitmeteelisus?

Satelliitide signaalid võivad peegelduda vastuvõtja antenni lähedusse jäävatelt pindadelt ega tule otse satelliitidelt. Vastuvõtja aga loeb peegeldunud (mitte otseteed tulnud) signaalid korrektseks ja arvestab neid oma arvutustes.



Satelliidi signaali mitmeteelisuse mõju (ingl *multipath effect*). Allikas Navipedia <http://www.navipedia.net/index.php/Multipath>.

Vastuvõtja positsiooni täpsuse arvutust mõjutab ka satelliitide asetus (PDOP, ingl *positional dilution of precision*) oma orbiitidel mõõtmise ajal. Kui satelliidid asuvad, vastuvõtja poolt vaadatuna, üksteisele liiga lähedal (signaalide suundade omavahelised nurgad on liiga väikesed), või vastupidi, liiga hajali (signaalide suundade nurgad on liiga suured), ei saa usaldusväärseid vastulõikeid satelliitide kaugustest vastuvõtjani arvutada. Kokkuvõtvalt on tabelis 2 toodud olulisemate ja suuremat mõju omavate veakomponentide tüübid ja võimalikud vead vastuvõtja positsiooni arvutuses.

Tabel 2. Põhilised veaallikad GNSS mõõtmistel, nende mõju üksikpunkti ja asukoha suhtelise määramise täpsusele

Veaallikas	Võimalik mõju üksikpunkti asukoha määramisele	Võimalik mõju suhtelisele asukoha määramisele
Satelliitide orbiidid	2...50 m	0,1...2 ppm
Satelliidi kella nihe	2...100 m	0,0 ppm
Ionosfääri mõju	0,5...100 m	1...50 ppm
Troposfääri mõju	0,01...0,5 m	0...3 ppm
Signaali mitmeteelisus koodimõõtmisel	meetrite suurusjärgus	meetrite suurusjärgus
Signaali mitmeteelisus faasmõõtmisel	mm...cm suurusjärgus	mm...cm suurusjärgus

Märkus: kõrgus merepinnast troposfääril on kuni 50 km, ionosfääril 50–1000 km.

Allikas: GNSS süsteemide ülesehitus. 2013. Innove.

Tabelis 2 on toodud vaid osa veakomponentidest, mis mõjutavad GNSS mõõtmise efektiivsust ja positsiooni täpsust. Neid on veel, kuid tagasihoidlikuma mõju tõttu positsiooni täpsusele ei leia need siin käsitlemist.

Kontrollmeetmed geodeetiliste instrumentide kasutamisel

Igasuguste mõõtmiste puhul kaasnevad paratamatult ka mõõtmisvead. Eelnevalt oli juttu nivelliiridest, GNSS seadmetest ja nende mõõtmiste isaarasustest ning võimalikest vigade allikaist. Järgnevalt on esitatud mõned vajalikud käepärased meetmed, mis aitavad viga vältida, õigemini neid õigeaegselt avastada.

Tööd mõõdulindiga joonsidemete määramisel. Vead tekivad siin esmalt asjaolust, et plaan, mida kasutatakse, ei pruugi olla adekvaatne. Situatsioon plaanil erineb situatsioonist looduses – see võib olla vahepeal muutunud või on plaan aegunud. Võib muidugi eksida ka lindilt lugedes. Põhilised soovitusused oleksid siin: 1) veenduge, et plaan on adekvaatne; 2) selgitage plaani tegelik mõõtkava ja 3) kasutage vähemalt kolme joonsidet – sel juhul tuleb välja nii plaani viga kui ka lindilt lugemise viga.

Nivelleerimine. Nivelleerimisel on veaallikaks kasutatavate algandmete (lähtereeper ja selle kõrgus) vead. Näiteks kasutatakse küll õiget reeperit, kuid selle kõrgusmärk on vale. Sellised vead võivad sattuda ka algandmete kataloogidesse. Probleemi vältimiseks on soovitatav kasutada vähemalt kahte lähtepunkti või võrrelda olemasoleval plaanil olevate andmetega, näiteks kaevukaane kõrgusmärk, kõrgusmärk äärekivil vms.

Teine põhiline veaallikas on nivelliiri optilise telje kõrvalekalle vesiloe telje suhtes. Tänapäevastel isehorizonteeruvatel või automaatsnivelliiridel on veaallikaks kompensaatori asendi võimalik hälve, mis seisneb selles, et nivelliiri kompensaator, mis piltlikult öeldes “ripub” gravitatsiooni mõjul kogu aeg ühesuguses asendis ja peaks hoidma vaatekiirt loodjoonega risti, võib erinevatel põhjustel olla oma eeldatavat asendit muutnud, näiteks on “kinni kiilunud”. Selle tagajärjel pole vaatekiir horisontaalne ehk risti loodjoonega.

Kui kõrguse ülekannet teha nii, et nivelliir asub üle kantava kõrguse lähtepunktist ja lõpp-punktist ühesugusel kaugusel (võrdsed õlad nivelleerimisel), siis see viga taandub välja. Ehk soovitatav on valida kõrguste ülekandmiseks selline viis, et nivelleerimise “õlad” oleksid võimalikult võrdsed.

Üheks veaallikaks nivelleerimise juures on ka niitristiku asendi hälve. Niitristik on vaatekiirel asuv klaasplaadile kantud niitpeen kujutis, mis võimaldab latilt lugemeid võtta ja mida vaateleja näeb läbi okulaari. Nii vesiloe asendi kui ka niitristiku asendi korrigeerimine on enamasti lihtne protseduur, mida kirjeldatakse nivelliiri kasutusjuhendis. Võrdsete õlgade kasutamine nivelleerimisjaamas aitab ka selle vea mõju vähendada.

Kui kõrguste ülekanne toimub paljusid ülekandepunkte kasutades ehk on rajatud nivelleerimiskäik, siis oleks soovitatav nivelleerimiskäik “sulgeda” samal punktil, kust seda alustati. Sel juhul peab summaarne kõrguste juurdekasv olema 0 mm. Tegelikuses on tulemus enamasti nullist erinev – ilmneb nivelleerimiskäigu sulgemisviga. Sulgemisviga lubab hinnata, kui suur on kõrguse ülekande juures tekkinud viga.

Tabel 3. Erinevat tüüpi GNSS vastuvõtjate maksumuse suurusjärgud

GNSS vastuvõtja tüüp	Asukoha parandi, diferentsiaal	Ligikaudne hinna suurusjärg eurodes	Märkused
Koodi lugev vastuvõtja (nutitelefon, autonavi, käsinavi)	puudub	100–1000	seadmed väikesed, vertikaalne täpsus 1.5 korda nõrgem; ei pruugi olla L-EST ristkoordinaatsüsteemi tuge
Koodi lugev vastuvõtja (käsinavi, põllumajanduse lahendused)	WAAS, EGNOS, DGPS, STARFIRE	500–2500, kui tasuline teenus, siis parandite eest 1000–2000 aastas	EGNOS, WAAS (parandid tasuta); STARFIRE, OMNISTAR (parandid tasulised)
Faasi lugev vastuvõtja (geodeetiline vastuvõtja)	RTK või RTN diferentsiaalparanditega	5000–20 000 pluss 1000 parandusandmete teenustasu ja sidekulu eest või täiendav vastuvõtja baasjaamaks	parandusandmed tasulise teenusena või tuleb soetada ka vastuvõtja baasjaamaks

GNSS mõõtmised. GNSS mõõtmiste juures on veakomponente väga palju (tabel 2). Veakomponentide mõju vähendamiseks või elimineerimiseks ja GNSS mõõtmiste usaldusväärsuse tõstmiseks on rida meetmeid. Olulisim on mõõtmise meetodika, mille osaks on ka vastuvõtja tüüp. Tabelis 3 on erineva meetodikaga GNSS seadmete hinna suurusjärgud.

Tabelist 2 näeme, et saada oma positsiooni täpsuseks alla 1 meetri referentsvõrgu suhtes, tuleb kasutada diferentsiaal GNSS (ingl *differential* GNSS ehk DGNSS) meetodikat. Veel täpsema tulemuse saamiseks (täpsus cm) tuleb kasutada kandelaadne faasi lugevaid vastuvõtjaid ja rakendada diferentsiaal GNSS meetodikat (ingl *phase differential*). See meetodika lubab enamasti ka kõrguse määramist.

GNSS-i täpsuse suurendamise võimalused. Korduvalt on jutuks olnud GNSS mõõtmiste positsiooni määramise täpsuse juhuslikkus ja sõltuvus paljudest teguritest, mida on keeruline, et mitte öelda võimatu, kontrollida. See on põhjuseks, miks GNSS positsiooni täpsuse parandamiseks on välja töötatud rida abinõusid (ingl *augmentation systems*). Töö põhimõte seisneb selles, et Maa pinnale püstitatakse GNSS vastuvõtja ehk baasjaam, mille positsioon on teada või määratakse muul moel. Baasjaam tegeleb samuti satelliitide signaalide jälgimisega ja info lugemisega. Signaal satelliidilt vastuvõtjasse läbib pika ja üsna määramatute kõrvalmõjudega tee. Kui vastuvõtja positsioon, satelliitide asukohad ja kahe teadaoleva positsiooniga punkti vahemaa on teada, siis tekib baasjaamas võimalus võrrelda määratud vahemaid satelliitideni ja tegelikke vahemaid. Teades määratud vahemaa ja tegeliku vahemaa erine-

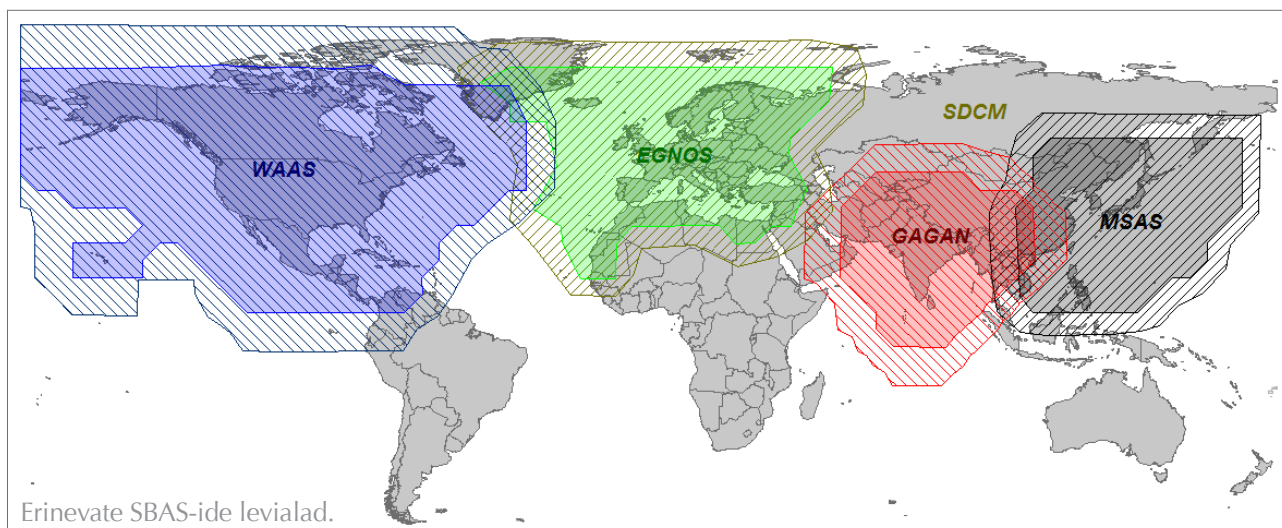
vust, on sellele infole tuginedes võimalik arvutada parandid, mis tuleb sisse viia GNSS vastuvõtja liikuvjaama (GNSS vastuvõtja, mis määrab mingi punkti asukohta) vahemaade määramisel satelliitideni. Kui liikuvjaama vahemaade määramised on parandatud, saab jaama positsiooni määrata oluliselt täpsemalt kui ilma nende paranditeta (vt tabel 1).

Siin tekib aga uus väljakutse, kuidas need parandusandmed liikuvjaama(de)ni toimetada. Osaliselt parandusandmete edastamise viisi alusel jagatakse GNSS täpsuse suurendamise süsteemid kahte liiki: 1) SBAS (ingl *satellite-based augmentation system*), kosmoses paiknev parandussüsteem, kus andmed edastatakse spetsiaalsetel geostatsionaarsetel orbibiitidel olevate satelliitide abil; 2) GBAS (ingl *ground based augmentation system*) on maapealne tugisüsteem, mis pakub täppislähenede- ja positsioneerimisteenust.

SBAS-id katavad suuri piirkondi nagu WAAS (ingl *wide area augmentation system*) Ameerikas, EGNOS (ingl *European Geostationary Navigation Overlay Service*) Euroopas, MSAS (ingl *MTSAT Satellite Augmentation System*) Jaapanis, GAGAN (ingl *GPS Aided GEO Augmented Navigation*) Indias.

SBAS omab maapealseid spetsiaalseid suurte konstellatsioonide (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU) satelliitide signaale lugevaid baasjaamu. Nendes baasjaamades kogutud info põhjal parandusandmete arvutamise keskus ja spetsiaalseid satelliite parandusandmete edastuseks.

GBAS, kus parandusandmete edastamisele kasutatakse spetsiaalseid satelliite, kuid seda tehakse kasutades maisemaid võimalusi nagu raadioside, sidete-



nuse operaatorid ja mobiilsidevõrgud. Nimetatud sidevõimalused panevad piirangud selliste süsteemide kasutusulatusel. Raadioside, enamasti UHF sagedusalal, levib sõltuvalt saatja võimsusest 1–5 km, heades oludes ka kuni 10 km. Side teenuste operaatorite mobiilsidevõrkude levialad on enamasti piiritletud riigipiiridega. GBAS näited, kus parandusandmed edastatakse baasjaamast liikuvjaama(de)ni raadio teel, on mõne kilomeetri pikkuse tee ehitus ehitusobjekti teenindamiseks. Baasjaamu on üks või suurema ulatusega objektidel paar-kolm. Parandusandmed baasist edastatakse ja võetakse ka vastu raadiosaatjaga. Mobiilside, enamasti mobiilse interneti abil jagavad parandusandmeid GNSS baasjaamade võrgud. Neid nimetatakse ka GNSS püsijaamade või referentsjaamade võrkudeks. Eestis toimib kaks jaama. Üks neist on 19 baasjaamaga Trimble VRS Now ja teine 29 baasjaamaga HadNet (Topcon).

Enamus GBAS-i faasi lugevate RTK (ingl *real time kinematic*) või RTN (ingl *real time network*; RTK Network) parandusandmete genereerimiseks ja edastamiseks faasmõõtmiste (ingl *phase differential*) fikseeritud alg-tundmatutega lahenduse (ingl *phase differential fixed solution*) saavutamiseks on liikuvjaamadel. Nagu teame, annavad RTK ja RTN meetodid GNSS mõõdistustel täpseima tulemuse.

Faasmõõtmiste DGNSS meetodikast. Selle meetodika juures kasutatakse baasjaama, mis on ka kandelaine faasi lugev GNSS vastuvõtja. Vastuvõtja ehk baasjaama (ingl *base station*) asukoht on teada, samas mõõdab ta faasmõõtmistega vahemaid erinevate satelliitideni. Teades asukohta, saab hinnata erinevate keskkondade mõju kandelaine hilinemisele satelliidilt

baasjaama jõudmisel (joonis 14). Meenutame, et meie vastuvõtja tegeleb vahemaade määramisega erinevate satelliitideni. Kasutades suurt hulka erinevate satelliitide signaale, erinevaid sagedusi jne on võimalik välja arvutada viga, mis tekib signaali vastuvõtjani jõudmisel ja sellest tulenevat viga vahemaade määramisel. Vahemaid määrame aga oma asukoha arvutamiseks multilateratsiooni teel. Kui viga on teada, siis saab liikuvjaam (ingl *rover*) vahemaade määramisel seda arvestada.

RTK ja RTN (RTK Network) meetodi saavutatavast täpsusest. RTK ja RTN (tabel 1) on faasmõõtmise kasutatavad meetodid, mis võimaldavad suurimat täpsust GNSS tehnoloogiates. Seda mõistagi diferentsiaalparandeid kasutades. Vastuvõtjate poolt saavutatav RTK täpsus on $\pm 10 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$ (ppm, s.t miljondik osa) horisontaal- (X, Y) ja $\pm 15 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ ppm}$ vertikaalkomponendis (Z või H), kus $\pm 1 \text{ ppm}$ tähendab, et iga kilomeeter baasjaama kaugusest liikuvjaama vastuvõtjani lisab veel $\pm 1 \text{ mm}$ horisontaal- ja vastavalt $\pm 1.5 \text{ mm}$ vertikaalkomponendis. Ehk juhul, kui baasjaam, mis võib olla ka RTN püsijaam, asub 10 km kaugusel meie liikuvjaamast või vastuvõtjast, siis võiksime eeldada, et meie mõõtmistulemus horisontaalkomponendis võiks jääda $\pm 10 \text{ mm} + (\pm 1 \text{ mm} \times 10) = \pm 20 \text{ mm}$ või 40 mm piiridesse. Vertikaalkomponent jääb siis vastavalt $\pm 15 \text{ mm} + (\pm 1.5 \text{ mm} \times 10) = \pm 30 \text{ mm}$ või 60 mm piiridesse. Siit on hästi näha baasjaama kauguse mõju mõõtmistäpsusele. Võimalike kõrvalekallete avastamiseks on vaid kordusmõõtmine, s.o korduvate määramiste tegemine sama punkti suhtes. Kordusmõõtmiste omavaheline sobivus (kui vähe üksteisest erinevad) annab indikatsiooni mõõtmise täpsusest. Samas tuleb

tõdeda, et GNSS mõõtmiste puhul võivad juba järgmisel hetkel olla tingimused satelliitide signaali teel muutunud ja seega anda järjekordselt erineva tulemuse. Kui aga erinevatel tingimustel (erineval ajal) tehtud määramised langevad mõõdistusmetoodikast tuleneva lubatava veaga kokku, võib lugeda mõõtmised võrdtäpseks ja ootuspäraseks.

Andmed geodeetiliste tööde sisendina ja väljundina

Nii nagu geoloogilised tööd on ka geodeetilised tööd selles osas iseäralikud, et nende käigus muutub informatsioon oluliselt. Puurimistöodel ja ka seda dokumenteerida aitavate geodeetiliste tööde puhul toimub info viimine graafiliselt (näiteks plaani joonkujutiselt) või digitaalselt kujult (koordinaadid numbritega) loodusesse – puuraugu asukoha väljamärgimiseni. Samamoodi toimub lähtereeperi kataloogi kantud numbriliselt väljandatud kõrgusmärgi viimine natuuri puuraugu juurde.

Töö teises faasis esitatakse loodusest kogutud andmed edasiseks andmetöötamiseks ja aruannete koostamiseks. Puurimistöode andmeid talletatakse mitmeti – neid saab salvestada väliarvutites, tahvlites, kontrollites aga ka traditsiooniliselt lihtsalt paberile märkmeid tehes. Igasuguste andmete kogumisel ja töötlemisel tuleb arvestada vajalikku korrektsust, et andmed oleksid omavahel seostatud õigesti ja arusaadavalt. Näiteks peab olema üles tähendatud võimalikult täp-

selt andmete talletamise aeg ja koht. Alati on hea, kui osatakse hinnata andmete tegeliku kasutaja (kliendi) vajadusi. See on parim võimalus saada niisuguseid andmeid, et neist kujuneks selge, üheselt mõistetav, liigse infomürata, õigeaegne ja edasisteks vajadusteks kergelt töödeldav informatsioon. Igasuguste kasutajaliideste või vormide kasutamine on vaid abinõu andmete talletamisel ja neist informatsiooni moodustamisel. Kuna kasutajaliideseid ja ka andmete kasutajate vajadused ning nendest tingitud nõudmised andmete suhtes on kiirenevas muutumises, ei pea otstarbekaks hakata selles osas mingeid näiteid tooma. Oluline on vaid teada, mida ja millisel kujul on andmete kasutajal vaja. Neid tingimusi täites saab alati parima tulemuse.

Kasutatud materjalid

Navipedia. ESA: http://www.navipedia.net/index.php/Main_Page

Puurmeistri käsiraamat. 1990. III köide. Riiklik Ehitusuringute Instituut, Tallinn.

Randjärv, J. 1997. Geodeesia I. Tartu, 361 lk.

Ranne, R. 2015. Liitnivelleerimine. http://eprints.ttk.ee/1751/2/32_liitnivelleerimine.html

Rüdja, A., Sander, J. 2013. Globaalne asukohamääramine: satelliitmõõtmise näidisülesanded. Võrguteavik. Osad 4 ja 5. Innove, Tallinn: http://www.ester.ee/record=b3046476*est

16. MAASOOJUSSÜSTEEMID

Maasoojussüsteemide eesmärgiks on kütte- ja jahutusprobleemide lahendamine kivimite ja pinnaste abil. Need süsteemid kasutavad maasse salvestunud soojust. Eestis kasutatakse maad valdavalt küttevajaduse rahuldamiseks (soojuse ammutamine), kuid samahästi on võimalik ka jahutusprobleeme lahendada (soojuse ladustamine). Kõige tõhusam on suvise ladustamise ja talvise ammutamise kombineeritud variant.

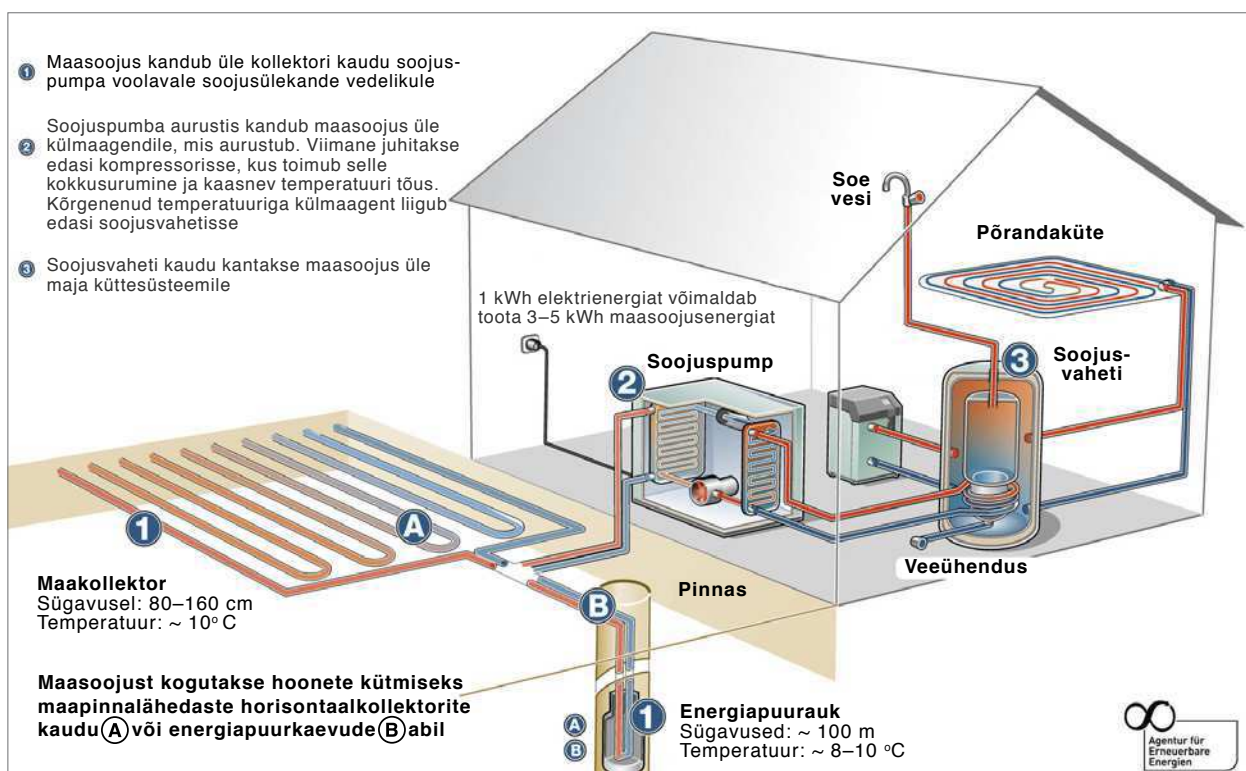
Maa sisemuses on soe. Mida sügavamale minna, seda kõrgemaks muutub temperatuur. Geotermiline ressurss jaotatakse kõrge- ja madalatemperatuuriliseks (vastavalt üle või alla 150 °C) ning sügavaks ja madalaks (vastavalt sügavam kui 400 m ja kuni 400 m). Kõrgetemperatuuriline soojusvaru võimaldab auruturbiinidega elektri tootmist, kuid tänaste tehnoloogiate juures ei ole selline elektritootmine Eestis tasuv. Sügavat soojusressurssi saaks aga lokaalselt kaugkütteks kasutada küll. Lõuna-Soomes Espoo linnas on rajamisel kahel 7 km sügavusel puurkaevul põhinev süsteem, mis kasutab 120 °C maa süvasoojust linna soojavajadusest 10% katmiseks. Tampere kaalutakse samalaadset süsteemi 8 km sügavuste puurkaevudega. Sellises sügavuses on Eesti geoloogilised tingimused sarnased Soomega ja süvasoojuse kasutamine kaugkütteks perspektiivne.

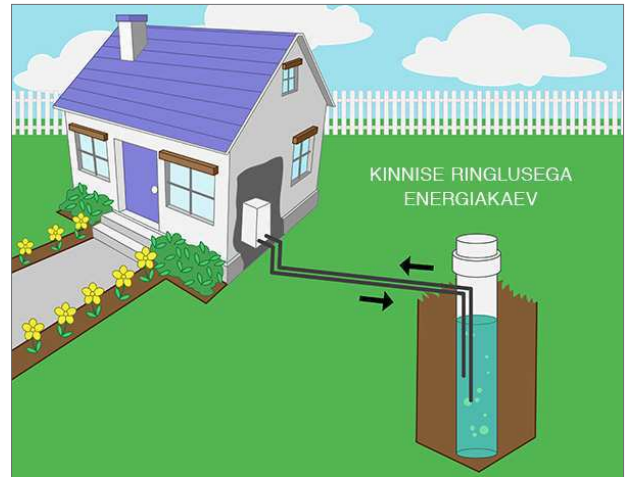
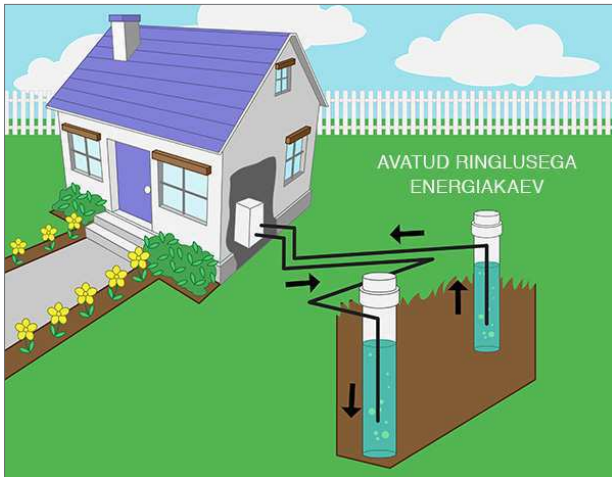
Eestis leiab igapäevast rakendust maapinnalähedane soojusressurss. Maapinnast 10–15 m sügavusel on temperatuur suhteliselt püsivalt 6–8 °C, mis vastab aasta keskmisele maapinna temperatuurile. Temperatuur kasvab sügavuti, sõltudes peamiselt läbilõikes esinevate kivimite soojusjuhtivusest, kuid mõnesaja meetri sügavusel on temperatuur enamasti ikka alla 12 °C. Nii madala temperatuuriga ressurss on tarbitav, kuid eeldab soojuspumpade kasutamist.

Soojuspump on seade soojuse ülekandmiseks madalama temperatuuriga keskkonnalt kõrgema temperatuuriga keskkonnale. Soojuspumpa saab kasutada ka jahutamiseks. Tüüpilises maasoojuspumbas töstetakse kompressori abil gaasilise külmaaine rõhku, mille tulemusel kerkib külmaaine temperatuur. Soojuspumba kondensaatoris külmaaine kondenseerub ning vabanev soojus antakse tarbijale ehk küttesüsteemi. Hoonete kütisel on maapõu jahedamaks keskkonnaks, kust soojust võetakse, hoonete jahutamisel on aga maapõu soojusest vabanemise kohaks.

Maasoojuse tarbimiseks puurkaevude ja -aukude abil on kaks erinevat lähenemist – avatud ja kinnised

Maapinnalähedased küttesüsteemid
(www.unendlich-viel-energie.de).





Avatud ja kinnine soojussüsteem (www.wellowner.org/geothermal-heat-pumps).

soojussüsteemid. Kinnise süsteemi korral paigaldatakse puurauku torustik, milles ringlevale vedelikule kandub üle maa soojus. Avatud süsteemi korral pumbatakse ühest või mitmest puurkaevust põhjavett, mis soojuspumbas jahutatuna juhitakse teis(t)e kaevu(de) kaudu samasse veekihti tagasi. Avatus seisneb selles, et soojust kandev vedelik ehk põhjavesi saab vabalt vahetuda. Kuna avatud ja kinnised süsteemid on tehniliselt küllaltki erinevad, käsitleme neid eraldi.

Avatud soojussüsteem

Avatud soojussüsteemi jaoks rajatakse paarisarv tavalisi puurkaeve. Ühest puurkaevust välja pumbatud vesi juhitakse teise puuraugu kaudu maa sisse tagasi. Paljudes riikides ei nõuta vee tagasipumpamist, kuid Eestis peetakse eelkõige silmas põhjaveevarude säilimist, sest süsteemis ringleb põhjavesi, mida me kasutame ka joogiveena. Veekihtide segunemise vältimiseks tuleb jahutatud vesi tagasi juhtida samasse sügavusintervalli, kust vesi ammutati. Isegi eramutele vajaliku soojuste saamiseks pumbatakse arvestatavaid veehulkasid, mis seaduse mõttes ületavad vee erikasutuse tingimusi (vähemalt 5 m³ ööpäevas). Kehtiva seaduse järgi ei käsitleta aga avatud soojussüsteemides toimuvat pumpamist piirnõrmi ületava vee tarbimisena ega rakendada vee erikasutusega kaasnevat tasusid, sest vee tagastamisel samasse kihti põhjavee hulk ei muutu.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata vee reostamise vältimisele. Selleks peab puurkaevude päised korralikult sulgema, sest erinevalt tavalisest puurkaevust ei pumbata kaevu sattunud reostust tarbimise käigus välja, vaid see juhitakse teise kaevu kaudu põhja-

vette. Kaevude korralik sulgemine on vajalik ka selleks, et tagasivoolu puurkaev ei hakkaks üle voolama. Olenevalt geoloogilistest tingimustest ja puurkaevu konstruktsioonist võib tagasivoolukaev aja jooksul ummistuda vees olevate saviosakeste või sealt välja sadestuvate mineraalidega. Seetõttu on mõistlik avatud soojussüsteemi puurkaeve rajada madala rõhuga survele süsteemi osana.

Mineraalide teke tuleneb vee keemilise tasakaalu muutumisest kokkupuutel õhuga. Vee koostise säilimiseks on oluline, et avatud süsteemi torustik oleks kinnine ja vett ei õhutataks. Tagasivoolu puurkaevus peab toru ots ulatuma piisavalt palju allapoole veepeeglit, et ka madalama veetaseme juures vesi ei piserduks. See on vajalik ka metallist mantelitorude korrosiooni vältimiseks.

Avatud süsteemi soojuspuurkaevude sügavuse kavandamisel tuleks lähtuda mitmest asjaolust. Loomulikult tuleb lähtuda hüdroteoloogilistest tingimustest ja puurida kaev veekihti, kust saab piisavalt vett, et rahuldada hoone kütte- või jahutusvajadust. Mõistlik on avatud soojussüsteemi kaevud rajada maapinnalähedastesse veekihtidesse, kuna need veekihid on sageli reostusaltid ning nende kasutamine ühisveevärgi tarbeks on seotud riskidega. Maapinnalähedaste veekihtide puhul ei ole põhjust karta, et vesi on talvel liiga külm ja sügavamalt saaks soojemat. Eestis on hästi toimivaid soojussüsteeme, mis tuginevad vähem kui 10 m sügavustele kaevudele. Küll aga peab jälgima, et puurkaevude arv ja vahemaa vastaks rajatava süsteemi suurusele.

Tarbekaevu puhul liigub vesi kaevu vahetus läheduses radiaalselt, s.t kiirjalt puurkaevu suunas.

Ka tagasivoolukaevu juures on voolamine radiaalne, kuid puurkaevust eemale. Avatud süsteemide efektiivsuse võti peitub selles, et võrreldes kinnise süsteemiga võetakse soojust suuremast kivimimahust. Vesi, mille erisoojus on ligikaudu 4 korda tüüpilise mineraalse materjali omast suurem, voolab läbi kivimite ja kannab endaga soojust kaasas. Vesi ja kivimmaterjal on sisuliselt soojuslikult tasakaalus, sest soojusülekanne distantis on lühike (pooriruumi skaala). Tagasivoolukaevu ümbruses tekib ümmargune jahtunud (või soojenenud) ala, mis võib ulatuda pumbatava kaevuni. Kui avatud süsteemi kaevude vahemaa on piisavalt suur, siis ulatub jahutatud ala pumbatava kaevuni, kuid jaheda vee osakaal puurkaevu voolava vee mahust on suhteliselt väike. Praktika näitab, et väiksemates süsteemides (eramud soojuspumba väljundvõimsusega kuni 15 kW) 15–20 meetrise puurkaevude vahemaa juures ei lange pumbatava vee temperatuur kütteperioodi maksimumi ajal alla 4–5 °C, mida võib lugeda normaalseks olukorraks. See võimaldab jahutada vett 2–3 °C võrra ilma, et tekiks soojusvahetite külmumise ohtu. Tüüpilise eramu puhul võikski süsteemi efektiivsusest lähtuvalt soovituslik puurkaevude vahekaugus olla 15–20 meetrit või rohkem, kuid väiksema küttevajaduse korral (hästi soojustatud või väiksema maja) võib kaaluda lühemaid distantse. Suurte soojussüsteemide (soojuspumba väljundvõimsus > 40 kW) kavandamisel oleks mõistlik koostada numbriline soojusvälja mudel.

Avatud süsteemi puurkaevude asendi planeerimisel tuleks jälgida ka põhjavee liikumise suunda. Veevõtukaev peaks paiknema tagasivoolukaevust ülesvoolu. Maapinnalähedase veekihi puhul saab sageli lähtuda kohalikust reljeefist, sest üldjuhul järgib põhjaveetase maapinna topograafiat.

Avatud süsteemi puurkaevude projekteerimisel on üheks olulisemaks parameetriks kavandatav pumpamismaht, mis peab vastama soojuspumba võimsusele (kaudselt hoone küttevajadusele). Vee erisoojus on 4,2 kilodžauli kilogrammi ja kelvini kohta (kJ/(kg K)). Kui pumbata vett mahuga 1 liiter sekundis (= 1 kg/s) ja samal ajal jahutada vett 1 °C võrra, siis saame veest soojust võimsusega

$$4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K}) \times 1 \text{ kg/s} \times 1 \text{ K} = 4,2 \text{ kJ/s} = 4,2 \text{ kW}$$

Suurendades pumbatava vee hulka kaks korda või jahutades vett 2 °C võrra, saame kahekordistada veest võetava soojuse hulka.

Tuleb juhtida tähelepanu asjaolule, et soojuspumba väljundvõimsus on veest võetava soojuse ja soojuspumba tööks kulutatava elektrikulu summa, sest soojuspumba tööshoidmiseks kuluv elekter muutub samuti soojuseks. Seega ei pea veest võetav võimsus (soojuspumba aurusti võimsus) katma soojuspumba nimivõimsust ja pumpamismahtude arvutamiseks tuleb lisaks soojuspumba väljund- ehk nimivõimsusele teada ka eeldatavat sesoonset (küttehooaja keskmist) soojustegurit (**SCOP**). Soojuspumba soojustegur **COP** (ingl *coefficient of performance*) väljendab soojuspumba poolt toodetud energia ja tootmiseks kulutatud (elektri)energia suhet. Näiteks COP = 4 tähendab, et soojuspump, mis töötab võimsusega 2 kW, toodab energiat 8 kW. Kuna soojuspumba soojustegur sõltub otseselt sisend- (nt põhjavee) ja väljundtemperatuuridest (küttesee, tarvesee) ning muutub aasta-aegadest sõltuvalt, siis kasutatakse arvutustes hooaja kaalutud keskmist väärtust (SCOP, hooaja jooksul toodetud ja kulutatud energiahulkade suhet). Teades soojuspumba väljundvõimsust P_{sp} ja SCOP väärtust saame arvutada põhjaveest võetava soojushulga ehk aurustivõimsuse $P_{aurusti}$ valemiga:

$$P_{aurusti} = P_{sp} \times (\text{SCOP} - 1) / \text{SCOP}$$

Arvutusnäide. Suhteliselt tõhusa süsteemi (põrandaküte, avatud soojussüsteem) kavandamisel, kus SCOP = 4 ja soojuspumba võimsus on 8 kW, on põhjaveest võetav soojusvõimsus

$$P_{aurusti} = 8 \text{ kW} \times (4 - 1) / 4 = 6 \text{ kW}$$

Selleks, et soojuspumba läbinud vesi oleks 1,5 °C jahedam, peab pumpamismaht Q olema:

$$6 \text{ kW} / (4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K}) \times 1,5 \text{ K}) = 0,95 \text{ l/s} = 3,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Kui pumpamismaht on väiksem, siis jahutatakse vett rohkem. Soovituslikult ei tohiks jahutamiseefekt olla suurem kui 2–3 °C, et vältida soojusvaheti külmumist talvise tipptarbimise ajal.

Kinnine soojussüsteem

Kinnine soojussüsteem põhineb ühel või mitmel puuraugul, millesse on paigaldatud soojuskontuur, mis koosneb tavaliselt ühest või kahest U-kujulisest torust (üks suund alla, teine üles), milles ringleb madala külmumistemperatuuriga soojuskandevedelik. Torustikul võib olla ka teistsuguseid lahendusi (1 + 2 toru, kontsentrilised lahendused jne). Puurauku paigalda-

tava kontuuri alumises otsas peaks tagasipööre olema teostatud keevisliitega, soovituslikult juba torustiku tootja poolt. Ujuvuse vähendamiseks ja sisemise vasturõhu tekitamiseks torustikus tuleb kontuur paigaldamisel täita vedelikuga (paigaldamise ajal sobib selleks ka vesi). Lisaks pannakse torustiku otsa raskus, mis samuti aitab kaasa toru „sukeldamisele“.

Vältimaks reostuse sattumist põhjaveekihti ja vastavalt kehtivale seadusandlusele tuleb kinnise soojussüsteemi puuraugud Eestis täita keskkonnale ohutu materjaliga. Ühtlasi võimaldab see soojuse ülekandumist kivimilt kontuurile ka läbilõike selles osas, mis jääb põhjavee tasemest kõrgemale.

Soojuspuurauk tuleb täita alt üles. Selleks on mõistlik kinnitada soojuskontuuri torude külge täiendav toru, mille kaudu pumbatakse täitesegu puurauku seni, kuni täide kerkib maapinnani.

Pärast paigaldamist tuleb teha soojuskontuuri surve-test. Kontuur survestatakse rõhuni 4 baari või kuni väikseima rõhualuvusega komponendi piirrõhuni. Et torustik võib rõhu ja temperatuuri tõttu venida, siis tuleks kahe tunni möödumisel rõhk uuesti tõsta testväärtuseni ja seejärel vähemalt tunni jooksul jälgida rõhu muutusi. Torustik on töökorras, kui rõhk enam ei lange.

Kinnise soojussüsteemi efektiivsust mõjutavad mitmed tegurid, millest seoses puuraukudega tuleks tähelepanu pöörata kontuurile, täitesegu omadustele, puuraukude asendile ja omavahelisele kaugusele.

Soojusülekanne mõjutavad kontuuri tüüp (ühekordne või topelt-U, kontsentrilised torud jne), torude mõõtmed (diameeter ja seinapaksus) ning asend puuraugus. Arvutused ja katsemõõtmised näitavad, et ühesuguse diameetri ja seinapaksusega torustiku puhul on topelt-U lahendus kuni 10% parema soojusülekannega võrreldes ühekordse U-toruga. Selle peamiseks põhjuseks on torustiku suurem väliskülje pindala. Torustiku diameetri suurendamine viib samuti küljepindala suurenemiseni, kuid üldjuhul kahandab siin efekti torude seinapaksuse kasv. Plastikute soojusjuhtivus on kivimaterjali omast halvem ning paksem sein suurendab soojustakistust ümbriskivimite ja soojuskandvedeliku vahel.

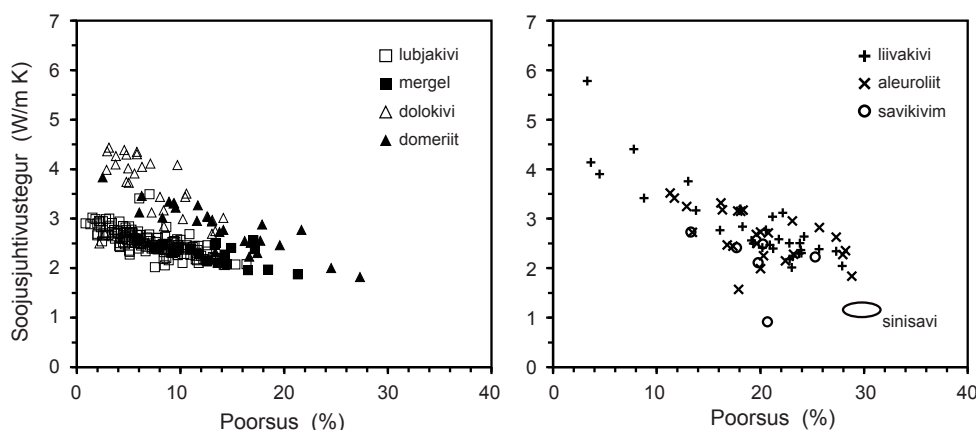
Soojuskontuuri efektiivsus sõltub ka torude omavahelisest asendist puuraugus. Puurauku vabalt paigaldatud torudel on kalduvus spiraalselt kulgedes toetuda

vastu puuraugu sein ja puutuda omavahel kokku. Omavahelist kontakti tuleks vältida, sest sel juhul on ülesvoolav soojenenud vedelik kõige rohkem mõjutatud allavoolava jahedama vedeliku poolt. Torude eraldamiseks kasutatakse spetsiaalseid klambreid. Arvutuslikult on kõige tõhusam lahendus see, kui kontuuri torud asetsevad vastakuti vastu puuraugu sein. Sel viisil on aga torustikku raske puurauku paigaldada selle mõõtmete tõttu.

Puuraugu täitmiseks kasutatava segu omadused on olulised nii põhjaveekaitse kui ka soojussüsteemi efektiivsuse seisukohast. Traditsiooniliselt kasutatakse puuraukude tampoonimisel savi, betooni või savi ja betooni segu. Suure pundumisega savi (nt bentoniit-savi), täidab paisudes puuraugu tihedalt, säilitab pikaajaliselt oma elastsuse ja peab vastu korduvale külmumisele. Sellega välditakse vee vertikaalset liikumist puuraugus. Samas on savi soojusjuhtivus suhteliselt madal, mis tekitab täiendava soojustakistuse puuraugu sein ja soojuskandvedeliku vahel. Betooni soojusjuhtivus on sarnane kivimitele, kuid korduvate külmumiste tõttu tekkiv lõhelisus ei pruugi tagada puuraugu reostuskindlust. Saadaval on mitmesuguseid spetsiaalseid täitematerjale, mis sageli baseeruvad bentoniitsavil, kuid milles on soojusjuhtivust parandavaid lisandeid. Paremate segude soojusjuhtivustegur on 1,8 vatti meeter kelvini kohta (W/(m K)) või rohkem.

Kinnise soojussüsteemi puhul tuleb sageli rajada mitu puurauku, mis aga olenevalt omavahelisest kaugusest võivad hakata üksteist mõjutama. Kui puudub intensiivne põhjavee voolamine, siis valdab soojuskanne soojusjuhtivuse teel, mis on suhteliselt aeganõudev protsess. Talvise kütteperioodi jooksul tarbitav soojushulk saadakse peamiselt puuraugust lähimate meetrite kauguselt. Aastate jooksul puuraukude mõjualad laienevad ja võivad kattuda.

Üldiseks seaduspäraks on, et väiksem arv sügavamaid puurauke on parem kui palju madalaid, ja et ridamisi paigutatud puuraukude soojusväli taastub paremini kui ruudustikuna paigutatud puuraukude puhul. Soojuse kandumine üksiku soojuskontuuri poole toimub valdavalt horisontaaltasandis radiaalselt kõigist suundadest, kuid ruudustikuna paiknevate puuraukude korral kandub keskel asetsevate puuraukudeni külgsuunast oluliselt vähem soojust. Soojuspuuraukude ruudustikuna paigutamine eeldab täiendavate võtete



Eesti karbonaat- ja purdkivimite soojusjuhtivuse sõltuvus kivimi poorsusest. (Jõelet ja Kukkonen 2002 järgi).

rakendamist keskel asetsevate puuraukude soojusvälja taastamiseks suvisel ajal. Tehniliselt saab soojusvälja taastamise seadmed rajada suhteliselt odavalt ning ka hilisemad käitamiskulud on väikesed. Kontorihoonete puhul on suvine jahutamine muutumas standardiks. Kui suvisel ajal ei ole plaanis soojusvälja taastada, siis arvestades Eesti kütteperioodi pikkust, peaks soojuspuuraukude vaheline kaugus olema minimaalselt 5–6 meetrit, soovitatavalt aga 10 meetrit.

Soojuspuuraukude paigutamisel tuleks arvestada ka põhjavee liikumisega, sest voolav vesi kannab soojust efektiivsemalt kui seda on soojuskanne soojusjuhtivuse kaudu. Soojuspuuraukud tuleks paigutada selliselt, et ühe puuraugu läheduses jahutatud vesi ei voolaks teise puuraugu suunas. Madalamate põhjaveekihtide puhul määrab põhjavee voolusuuna enamasti lokaalne reljeef, sügavamate veekihtide puhul regionaalne reljeef või ka lähedal asuvate veehaarete põhjustatud depressioonilehtrid.

Sarnaselt hüdrauliliste parameetrite määramiseks tehtava pumpamiskatsega saab ka soojuspuuraukus termilisi parameetreid määrata vastava katsega (ingl *thermal response test*). Katse võimaldab määrata läbilõike kivimite keskmist soojusjuhtivustegurit ja puuraugu soojustakistust. Katse käigus tsirkuleeritakse torustikus olevat vedelikku ühtlasel võimsusel soojendades ning jälgitakse maasse mineva ja tagasituleva vee temperatuure. Soojusparameetrite test on pumpamiskatsega võrreldes ajaliselt pikem, sest soojustasakaalu saavutamine on aeglasem. Katse kestab minimaalselt 2 ööpäeva, tavaliselt 3–5 ööpäeva.

Rajatava kinnise soojussüsteemi suurus (puuraukude arv ja sügavus) sõltub ühelt poolt soojusvajadusest

(aastane tarbitav soojushulk ja maksimaalne võimsus) ja teiselt poolt asukoha geoloogilistest tingimustest (läbilõiget moodustavate setendite soojusjuhtivus, põhjavee voolamine).

Soojussüsteemi kavandamisel on oluline arvestada nii lühiajaliste mõjudega (soojuspumba võimsus) kui

ka pikaajaliste mõjudega (aastane tarbitav soojushulk). Soojuspump valitakse tavaliselt nii, et selle võimsus oleks kooskõlas hoone aastase küttekooormusega. Eesti küttehooaja pikkust arvestades on üsna tavaline, et soojuspump töötab ligikaudu 3000 tundi (hoone aastane küttevajadus jagatud soojuspumba nimivõimsusega). Kui soojuspuurauke kasutatakse ka hoone jahutamiseks või taastatakse maasisest soojusvälja muul moel, siis tuleks arvutustes kasutada väiksemat töötundide arvu (aastane tarbitav soojushulk on tagastatava soojushulga võrra väiksem).

Aluspõhja settekivimite soojusjuhtivust mõjutavad peamiselt kivimi mineraalne koostis ja poorsus. Samas valdava osa karbonaatkivimite (lubjakivi, dolokivi, mergel) ja purdkivimite (liivakivi, aleuroliit) soojusjuhtivus varieerub vähe, olles vahemikus 2,0–3,0 W/(m K). Väikese poorsusega dolokivi ja kvartsliidakivi soojusjuhtivus võib olla > 4 W/(m K), kuid nende kivimite osakaal geoloogilises läbilõikes on enamasti piiratud. Savide (näiteks Lontova ja Kottlini kihistu savi) soojusjuhtivus on teistest setenditest oluliselt madalam (1–1,5 W/(m K)). Väiksemate soojussüsteemide kavandamisel võib kohapealsete mõõtmiste puudumisel lähtuda soojusjuhtivuse väärtusest 1,5 W/(m K) savide puhul ja väärtusest 2,5 W/(m K) teiste kivimite puhul.

Suuremate kinniste soojussüsteemide (> 40 kW võimsusega) projekteerimisel tuleks kasutada spetsiaalset tarkvara, mis kasutab analüütilisi lahendusi või modelleerib soojusvälja muutusi. Väiksemate süsteemide puhul võib soojuspuuraukude sügavust arvutada ka lihtsustatud moel. Tabelis 1 on toodud soovituslikud erivõimsuse (sekundis võetav soojushulk puuraugu jooksva meetri kohta) väärtused vastavalt kivim-

Tabel. Soovituslikud erivõimsused (W/m) topelt-U torustikuga soojuspuuraukudes

Kivimi tüüp ja selle soojusjuhtivus, W/(m K)		3000 h/a*	2400 h/a*
Kuiv setend (Eestis savi)	< 1,5	16 W/m	20 W/m
Tavaline veeküllastunud kivim (enamik Eesti kivimeid)	1,5 – 3,0	40 W/m	50 W/m
Kõrge soojusjuhtivusega kivim (dolokivi)	> 3,0	55 W/m	70 W/m

*h/a, töötundi aastas

tüübile ja süsteemi aastasele töötundide arvule. Need on lähtenumbrid, mida tuleks korrigeerida vastavalt kohalikele oludele. Kui kasutatakse topelt-U asemel ühekordset süsteemi, siis tuleks erivõimsust vähendada 10%. Erivõimsust tuleks vähendada 10–20 % mitme lähestikku asetseva puuraugu puhul. Põhjavee voolamine lubab aga arvestada 10–20% suurema erivõimsusega.

Arvutusnäide. Eramule, aastase soojusvajadusega (küte ja tarbevesi) 24 000 kWh, kavandatakse soojuspuuraukudel põhinevat lahendust. Soojuspumba võimsus on 8 kW (aastane töötundide arv on 24 000 kilovatt-tundi aastas (kWh/a)/8 kW = 3000 h/a). Eeldatakse sesoonne soojustegur SCOP = 3,5 tähendab, et puuraukudest võetav soojusvõimsus on

$$P_{\text{aurusti}} = 8 \text{ kW} \times (3,5 - 1)/3,5 = 5,7 \text{ kW}.$$

Kui läbilõike moodustavad lubjakivid (tabel), siis võiks rajada:

1) ühe soojuspuuraugu, mille sügavus on

$$L = 5700/40 \text{ W/m} = 145 \text{ m, või}$$

2) kaks puurauku kuni 10 m kaugusel teineteisest

$$L = 5700/36 \text{ W/m} = 2 \times 80 \text{ m või}$$

3) kolm puurauku kuni 10 m kaugusel üksteisest

$$L = 5700/32 \text{ W/m} = 3 \times 60 \text{ m}$$

Kui läbilõike moodustavad näiteks sinisavi ja sellel lasuvad veeküllastamata liivakivid (tabel), siis võiks rajatavate puuraukude sügavus olla:

1) teineteisest kaugel paiknevate soojuspuuraukude korral

$$L = 5700/16 \text{ W/m} = 360 \text{ m} \sim 6 \times 60 \text{ m või}$$

2) kuni 10 m teineteisest paiknevaid puurauke

$$L = 5700/12 \text{ W/m} = 480 \text{ m} \sim 8 \times 60 \text{ m}.$$

KIRJANDUS

Jõelett, A., Kukkonen, K. 2002. Physical properties of Vendian to Devonian sedimentary rocks in Estonia. GFF, 124, 65–72.

17. OHUTUSEESKIRJAD ÜLDNÕUDED

1. Kõik töötajad vastavalt oma ametikohale ja töö iseloomule on kohustatud tundma käesoleva instruktsooni nõudeid.
2. Ei tohi lubada tööle isikuid, keda ei ole instrueeritud.
3. Välitööst võivad osa võtta ainult terved, vähemalt 18-aastased isikud. Vajaduse korral on tööle asumise luba andval isikul õigus nõuda arstitõendi esitamist.
4. Tööle ei tohi lubada ebakaines olekus isikuid.
5. Ohutustehnika nõuetest kinnipidamine ja nende nõuete täitmist kontrollivate isikute korralduste tingimusteta täitmine on kohustuslik kõigile töötajaile.
6. Iga töötaja, kes märkab hädaohtu, mis ähvardab inimest, ehitist või muud materiaalselt väärtust, on kohustatud viivitamata kasutusele võtma abinõud ohu vältimiseks ja teatama tekkinud (tekkida võivast) olukorrast tööde juhatajale. Kui ohtu ei saa kõrvaldada, tuleb töö katkestada.
7. On keelatud viibida või teha tööd kohas, kus võib sattuda ohtu töö täitja, välja arvatud tööd avarii likvideerimisel või avarii tekkimise vältimisel.
8. Õnnetusjuhtumi korral peab tööde juhataja viivitamatult võtma tarvitusele abinõud kannatadasaanule esmaabi andmiseks kohapeal ja seejärel toimetama kiiresti arstiabi punkti (kiirabi).
9. Töökoht peab olema tasandatud, puhastatud ja omama juurdepääsu või juurdesõidu võimalust.
10. Töökoht peab olema küllaldaselt valgustatud (lubatud minimaalse valgustustugevuse määrab tööde juhataja).
11. Vajaduse korral tuleb töökoht varustada piirdega ja välja panna ohumärgid, töö katkestamise korral pimedaks ajaks peab töökoht olema valgustatud.
12. Eriotstarbega territooriumil on vaja tööde eel nende territooriumide juhatajatelt saada vastav luba ja juhendid tööde ohutuks läbiviimiseks.
13. Instrumentid käsitsi töötamiseks (vasarad, võtmed, kangid jne) peavad olema korras. Teravate servadega või teradega instrumente tuleb transportida vastavates ümbristes.
14. Mehhanisme (auto, puurmasin, elektrijõujaam, elektrisaag jne) juhtida ja nendega töötada võivad ainult isikud, kes omavad selleks vastavat luba (tunnistust).
15. Kõik välitöötajad peavad olema varustatud vastavalt töö iseloomule ja töökohale individuaalsete kaitsevahenditega (kiivrid, kindad, prillid jne) ja neid töö juures kasutama.
16. Kõik töötajad peavad oskama anda esmaabi.
17. Iga eraldi tegutsev grupp peab olema varustatud väliapteegiga.
18. Raskuste kandmisel käsitsi ei tohi ühe töölise poolt korraga kantava koorma mass ületada meestel 50 kg ja naistel 15 kg. On keelatud ronida mastidel, puudel jne kandamiga üle 6 kg, kusjuures mõlemad käed peavad olema vabad.
19. Töötajad, kes teenindavad pöörlevate osadega mehhanisme, peavad kandma eririietust kinninõbitult.
20. Leeklambi kasutamisel on keelatud:
 - (1) bensiini kasutamine petrooleumleeklambis;
 - (2) lambi ülekuumendamine;
 - (3) töötava lambi küljeli asetamine;
 - (4) lambi süütamine ja kasutamine tugeva tuule käes.

PUURIMINE

Üldnõuded

1. Enne puuragregaadi paigaldamist tuleb plats tasandada ja puhastada, kindlustada mugav juurdesõit, kindlustada vihmavee äravool. Puuragregaadi paigaldamine kallakpinna peal on keelatud.
2. Enne puuragregaadi masti tõstmist ja agregaaadi käivitamist tuleb kontrollida kõigi mehhanismide ja instrumentide korrasolekut ja tööd, piirete kinnitust, määride olemasolu jne. Ilmnenud puudused tuleb kõrvaldada enne puuragregaadi käivitamist.

3. Puurvarustust (agregaadid, mootorid, pumbad jne) tuleb paigaldada ja kinnitada vastavalt kehtestatud ekspluatatsiooni- ja montaažitingimustele.

4. Puuragregaat peab olema varustatud ettenähtud ohutusvahenditega.

5. Elektriseadmete rikete puhul (lühis, sädelemine, ülekuumenemine, suitsu ilmumine) tuleb vool viivitamatult üldlülitiga välja lülitada.

6. Riiulitel olevatel puurvarrastel või manteltorudel ei tohi olla võimalust maha veereda.

7. Puuragregaaadi liikumisel tohivad töölised olla kabiinis.

8. Puuragregaadiga on keelatud:

(1) sõita tõstetud mastiga ja allalastud kinnitamata mastiga;

(2) vedada platvormil esemeid, mis ei kuulu agregaaadi komplekti;

(3) sõita elektriliinide all, kui ei ole täidetud käesolevate eeskirjade nõuded;

(4) elektriliinide alt läbi sõitmisel maastikul ületada kiirust 5 km/h.

9. Masti tõstmine või allalaskmine peab toimuma sujuvalt ja aeglaselt.

10. Masti tõstmisel või allalaskmisel on keelatud:

(1) olla kabiinis või agregaaadi platvormil;

(2) olla mastil või selle all;

(3) jätta mast rippuma või toetada seda kätega;

(4) hoida masti alumisi osi kätega.

11. Puurimisel peab mast olema kinnitatud ettenähtud kinnititega ja masti jalad peavad olema surutud vastu maapinda. Agregaaadi liikumise vältimiseks peavad rattad olema blokeeritud vastavate klotsidega.

12. Puuragregaaadi kaugus järsakust peab olema vähemalt 3 m või väljaspool arvatavat varisemisprismat.

13. Kõik puuragregaaadi trossid peavad vastama riiklikele standarditele.

14. Kõik trossid tuleb enne tööle asumist kontrollida. Peale selle kontrollitakse tõstetrosse kogu ulatuses:

(1) kaks korda kuus;

(2) pärast igakordset töötamist piirkoormusega.

15. Tõstetross ei ole kõlbulik kui:

(1) üks kihar on katki;

(2) kuni 20 mm läbimõõduga trossil ühe keerusammu pikkuse kohta on katkisi kiude üle 5%;

(3) üle 20 mm läbimõõduga trossil ühe keerusammu pikkuse kohta on katkisi kiude üle 10%;

(4) kuluvus läbimõõdu järgi on üle 10%.

16. Trossi ots peab olema kinnitatud vähemalt kolme klambriga.

17. Tross tuleb ühendada haakeseadmega klambrite või trossisilmaga.

18. Puuragregaaadi töötamise ajal on keelatud:

(1) vintsi ja ajami käikude vahetamine ning ümberlülitamine enne nende täielikku seismajäämist;

(2) agregaaadi juhtkangide kinnitamine (kinnikiilumine);

(3) kasutada spindli padruneid, millest kinnituspoltide pead välja ulatuvad.

19. Tõstmis-allalaskmisoperatsioonide ajal on keelatud:

(1) mittekorras piduriga vintsi kasutamine;

(2) seista tõstetavate (allalastavate) torude läheduses või nende all;

(3) lasta alla või tõsta lõpuni keeramata keermetega torusid;

(4) vintsi piduri käepideme kinnikiilumine või kooramine külgeriputatud raskustega;

(5) lasta manteltorude kolonnil pendeldada. Pendeldamise vältimiseks tuleb kolonni hoida pehme trossiga;

(6) tõsta või alla lasta manteltorusid trossisilmust kasutades;

(7) kontrollida ja puhastada keermeid paljaste kätega.

20. On keelatud jahutada piduri hõõrduvaid osi vee või savilahusega.

21. Puurtorude või -varraste kinnikeeramisel kõrgemal kui 1,5 m maapinnast tuleb kasutada spetsiaalseid piiretega platvorme või redeleid.

22. Puurimise lühiajalise katkestamise puhul tuleb puurotsik tõsta puuraugu põhjast nii kõrgele, et oleks välistatud puuri mattumine.

23. Puursegu sõelumisel ja valmistamisel peab kasutama respiraatorit ja prille.

24. Mudapumbad, kompressorid, torustik, voolikud jne peavad enne kasutuselevõtmist olema katsetatud 1,5-kordse töösurvega. Katsetamise kohta koostatakse akt.

25. Mudapumpadel peavad olema:

- (1) korras manomeetrid;
- (2) korras kaitseklapid, mis vastavad nominaalsele töösurvele.

26. Tsirkulatsiooni taastamine puuraugus peab toimuma aeglaselt.

27. On keelatud:

- (1) käivitada pumpa suletud siibrite puhul;
- (2) suruda pumbaga torustikust kõrge välja;
- (3) remontida survestatud torustikku, voolikuid jms;
- (4) teha torude ja pumba ning torudevahelisi ühendusi mittestandardsete vahenditega;
- (5) hoida survestatud voolikut kätega.

28. Maasse kaevatud savilahuse- ja veeaugud peavad olema piiratud vähemalt 1 m kõrguse piirdega või kaetud laudisega.

29. Kui puurimislahuse koostisesse kuulub hape või alus, tuleb töötajad varustada kummikinnaste, prillide, respiraatorite, kummiülkondade ja kummijalatsitega.

30. Pärast puurimise lõpetamist tuleb:

- (1) kinni ajada kõik augud ja šurfid;
- (2) tamponeerida puurauk.

Südamikupuurimine

31. On keelatud:

- (1) puhastada puurvardaid (-torusid) tõstmise ajal kätega;
- (2) koostada sellise pikkusega puurinstrumentide kolonne, et tõstmis- ja allalaskmisoperatsioone tuleks sooritada redelilt;
- (3) vahetada ja lahti/kinni keerata puurtorusid spindli pöörlemise ajal;
- (4) tõsta puur- või manteltorusid horisontaalasendist vertikaalasendisse ja vastupidi kiiremini kui 1,5 m/s.

32. Elevaatori piirtõstmiskõrguse tähistamiseks peab olema mastil piiraja või hästi nähtav märk, et vältida elevaatori kinnikiilumist kroonplokki.

33. Spindli padruneid võib kinnitada ainult seisva rootori või spindli ajal.

34. Puurkroone võib vahetada ja puursüdamikke välja võtta rippuvast südamikutorust, kui selle alumise otsa ja põranda (maapinna) vahe ei ületa 0,2 m.

35. Puursüdamiku väljavõtmisel on keelatud:

- (1) hoida rippuvat südamikutoru alt kätega;
- (2) kontrollida käega puursüdamiku asendit rippuvas torus.

36. Puurimissegu voolik peab olema kinnitatud nii, et sel pole võimalik keerduda ümber puurvarda, voolikut ei tohi puurimise ajal kätega hoida.

37. Õhkjahutuse korral peab puuragregaadil olema õhurõhku näitav manomeeter, õhu andmist reguleeriv ventiil ja kaitseklapp.

38. Rõhu olemasolul süsteemis on keelatud:

- (1) pööreltihendi korgi lahtikeeramine;
- (2) puurvaraste kolonni pikkuse suurendamine;
- (3) õhujuhtme remontimine.

39. Puuraugu suudme kohal peab olema seadeldis tolmu, muda ja õhuseguse vedeliku eemale juhtimiseks allatuult.

Vibropuurimine

40. Vibraatori või sellega ühenduses olevate seadmete kõik poltühendused peavad olema kontramutritega või splinditud.

41. On keelatud kasutada vibraatorit, millel on kasvõi peaaegu nähtamatu pragu.

42. Vibroagregaat peab olema varustatud voltmeetri, ampermeetri, sagedusmõõtja ja soovitatav ka vattmeetriga.

43. Vibroagregaat peab olema maandatud.

44. Vihmasaju ajal on töötamine vibroagregaadiga keelatud.

45. Sõitmise või parkimise ajal peavad elektrimootorid olema kaetud presendi või mõne muu vettpidava kattega.

46. Vibraatorit ja elevaatorit ühendav konks peab olema kaitseriiviga.

47. Vibraatori töö ajal on soovitatav kasutada müra-
vastaseid kõrvaklappe.

48. Vibraatori iga poole tunni töö järel kontrollida
vibraatori poltühendusi, võllide otsa mutreid, kee-
visõmbelusi ja ekstsentrivate võlli vaba liikumist. Puu-
dused tuleb kõrvaldada kohe.

49. Põhjalikult tuleb kontrollida kõiki vibraatori ja
sellega ühenduses olevate seadmete sõlmi ja ühen-
dusi pärast vibraatori 20-tunnist tööd (profülaktiline
ülevaatus).

50. Ülevaatus, määrimine ja sõidu ajal peab vibraa-
tor olema alla lastud.

51. Töötamise ajal tuleb jälgida õiget töörežiimi, ei
tohi lubada:

- (1) vibromehhanismi mahakukkumist;
- (2) vibromehhanismi ja puurkolonni vahelise kinni-
tuse nõrgenemist;
- (3) elektrimootorite ja kuullaagrite ülekuumenemist.

52. Töötamise ajal kõrvaliste häälte või müra, suitsu
või kõrbelõhna ilmnemisel tuleb puurimine viivitama-
tult katkestada.

53. Vibromehhanismi töötamise ajal peavad kõik
tööst osavõtjad (peale masinisti) olema vibraatorist
vähemalt 4 m kaugusel, kategooriliselt on keelatud
olla kabiinis, vibraatori all ja ekstsentrivate pöörle-
mise tasapinnas.

54. Vibraatori ja vintsi üheaegse töötamise vajaduse
korral tuleb enne kontrollida masti, talisüsteemi ja
vintsi kinnitusi raamiga ning poltühendusi. Puudused
tuleb kõrvaldada.

Tigupuurimine

55. On keelatud:

- (1) hoida spindlit tõstevintsiga;
- (2) olla ülestõstetud spindli all;
- (3) kasutada kulunud ühenduselementidega tigu-
puurvardaid, mis ei kindlusta puurkolonni vajalikku
jäikust;
- (4) puhastada pöörlevaid tigupuurvardaid;
- (5) tigupuurvarraste rippuva kolonni jätkamine või
lühendamine;
- (6) sisse lülitada spindlit enne, kui puurvarda otsak
puudutab maapinda.

Puurimine ujuvalt aluselt

56. Puurimine laevaliiklusega jõgedel ja merel on
lubatud sadama kapteni loal.

57. Öösel peab signaaltulede nähtavus olema vähe-
malt 500 m.

58. On keelatud töötada:

- (1) kui tuule kiirus on suurem kui 5 palli;
- (2) kui laine kõrgus on suurem kui 0,3 m;
- (3) jäämineku ajal;
- (4) jää tekkimise ajal;
- (5) tiheda udu ajal.

59. Juurdepääs trappidele, luukidele, trümmidele,
tuletõrje- ja päästevahenditele peab olema alati vaba.

60. Alus peab olema piiratud vähemalt 1 m kõrguse
käsipuuga. Käsipuu ja põranda vahel peab olema kaks
paralleelset latti. Aluse ja puurimisseadme põrand ja
tööplats peavad olema tehtud vähemalt 5 cm paksus-
test laudadest.

61. Kõik töötajad peavad teadma oma kohuseid ja
kohta häire ajal, samuti uppujate päästmise reegleid.

62. Igal alusel peavad olema vähemalt järgmised
päästevahendid, mida ei tohi kasutada muuks otstar-
beks: valvepaat, kaks päästerõngast, päästevestid igale
töötajale ja päästeköis.

63. Alusel peab avarii või halva ilma puhuks olema
puutumatu toidu, joogivee ja riiete varu.

64. Alus peab olema ankurdatud. Ankru koht peab
olema tähistatud poiga. Ankrutrossil peab olema
kuuekordne tugevusvaru.

65. Puurimisel pontoonidelt peab tööplatsi suurus
olema vähemalt 4 x 4 m². Masti kõrgus määratakse
püsivusarvutusega.

66. Puurimisel võõrist või ahtrist peab tööplatsi suu-
rus olema vähemalt 2,5 x 2,5 m².

67. Suurema püsivuse saamiseks tuleb alus koormata
(mitte veega).

Puurimine jäält

68. Enne tööde algust ja töötamise ajal tuleb perioo-
diliselt kontrollida jää paksust.

69. Puurimine on lubatud, kui jää paksus on vähe-
malt 0,3 m. Puurimisplatsi tugevdamiseks on lubatud

jää paksust suurendada pealekülmutamise teel. Jää kandevõime, olenevalt selle paksusest, arvutatakse järgmise valemi järgi (sõitmiseks jää):

$$h = \alpha_0 \sqrt{Q} \text{ või } h = \alpha_{10} \sqrt{Q}$$

kus h – jää nõutav paksus, cm

Q – transpordivahendi üldine mass, t

α_0 – ratasvahenditel 11; roomikvahenditel 9 (õhutemperatuur alla -10 °C)

α_{10} – ratasvahenditel 14; roomikvahenditel 11,5 (õhutemperatuur 0° – -10 °C).

70. Kõik mitteliikuvad agregaadid ja seadmed tuleb panna tugevatele prussidele, puuraugu suue tuleb varustada spetsiaalse seadmega puurimislahuse ärajuhtimiseks vähemalt 20 m kaugusele.

71. Puurimisseadmete juures ei tohi hoida lisavarustust, puursüdämike kaste jms.

72. Tee kaldalt töökohani peab olema selgelt tähistatud. Kõik nõrgad kohad peavad olema piiratud tähistega.

73. Lõket võib teha pinnasepuistel, mille suurus on vähemalt $1,5 \times 1,5$ m² ja paksus vähemalt 0,25 m ning kaugus puurimisseadmest vähemalt 20 m.

Avariide likvideerimine

74. Tungraua kasutamisel on keelatud üheaegselt tõmmata torusid tungraua ja puurpingi vintsi abil.

75. Tungraua kiilud peavad olema omavahel ühendatud ja seotud tungraua või puurpingi külge.

76. Torude tõstmisel tungraua abil peavad need olema riputatud vintsi külge, tross pingul ja vintsi trummel pidurdatud.

77. Hüdrauliliste tungraudade kasutamisel on keelatud:

- (1) töötada rikkis manomeetriga ja õli väljaimbumisel hüdroüsteemist;
- (2) lubada kolvi vardal välja tulla üle $\frac{3}{4}$ pikkusest;
- (3) järsult alandada rõhku hüdroüsteemist;
- (4) asuda koormatud tungrauale lähemal kui 1 m.

ŠURFIMINE

1. Enne tööde algust tuleb välja selgitada allmaakommunikatsioonide olemasolu ning kooskõlastada nende valdajaga šurfimisega seoses olevad asjaolud.

2. Kaabli esinemise korral loetakse ohtlikuks tsooniks meetrilaine riba mõlemale poole oletatavast kaablist. Kaablohtlikes kohtades tuleb töötada kummikinnastes ja -saabastes.

3. Teadmata allmaakommunikatsioonide puhul tuleb tööd katkestada ja sellest ette kanda tööde juhatajale.

4. Kaabli lahtikaevamisel tuleb töötada äärmise ettevaatlikkusega. Oletatava kaabli vahetus läheduses on löökriistade kasutamine keelatud. Lahtikaevatud kaabli jaoks tuleb vajaduse korral teha spetsiaalne kate või alus. Kategooriliselt on keelatud esemete asetamine lahtikaevatud kaablile, kaablil käimine ja kaabli puudutamine.

5. Gaasi avastamise korral tuleb töö katkestada, šurfist viivitamatult välja tulla ja ette kanda tööde juhatajale. Šurfi juurde tuleb panna valve kuni avariibrigaadi saabumiseni.

6. Keelatud on:

- (1) kaevamine alt õõnestamise või variseda laskmise teel;
- (2) jätta kaevandite seintesse rahne või kive, mis võivad variseda;
- (3) üksinda töötamine üle 1,5 m sügavuses šurfis. Peab olema korraldatud valve šurfis töötaja ja šurfi-seinte seisukorra üle (töötatakse kahekesi teineteist vahetades);
- (4) olla erilise vajaduseta šurfis;
- (5) jätta šurfi püstiasendis kangid;
- (6) üle 2,5 m sügavuste šurfide kindlustamata kaevamine irdpinnases;
- (7) jätta šurf pärast tööde lõpetamist avatuks või tööde katkestamisel piireteta;
- (8) raskelt töödeldavate pinnaste läbindamisel talbade hoidmine käega (peab hoidma pihtidega);
- (9) kaitseprillideta töötamine kuivas liivas tugeva tuulega.

7. Käidavates kohtades tuleb töökoht piirata ja liikumine kõrvale juhtida.
8. Maalihete ja varisemisohu korral tuleb pidevalt jälgida pinnasemassiivi seisukorda ja ohu korral töö katkestada.
9. Šurfid toestatakse vastavalt vajadusele töödejuhataja korraldusel. Toestamist juhib tööde juhataja, ohu korral peab ta töö katkestama.
10. Ebavesiliiva puhul tuleb kasutada sisselöödavat sulundseina.
11. Sügavamatesse šurfidesse laskumisel ja väljumisel tuleb kasutada redelit ja/või kaevatud astmeid, redeli laius peab olema vähemalt 0,4 m.
12. Pinnavete esinemise korral tuleb võtta tarvitusele abinõud vee šurfi voolamise vältimiseks.
13. Ümaršurfi (läbimõõt 1 m) võib kaevata tihedasse ja püsivasse pinnasesse kuni 2 m sügavuseni.
14. Kaevamisel allpool pinnasevee taset tuleb šurfi ühte nurka kaevata süvend vee kogunemiseks.
15. Vee väljapumpamiseks üle 4 m sügavusest šurfist on vajalik kaks pumpa (üks reservis). Pumba võimsus peab olema 1,5–2 korda suurem kui vee juurdevool šurfi.

16. Pinnase väljaviskamisel tuleb jälgida, et pinnas (eriti kivid) ei saaks šurfi variseda. Vajaduse korral tuleb pinnas suudme juurest kaugemale visata. Suudme ümbrus tuleb hoida lume- ja jäävaba.
17. Kivisillutis tuleb suudme ümbert eemaldada vähemalt 0,5 m ulatuses, vajaduse korral ka kaugemalt.
18. Toestuse eemaldamine peab toimuma alt üles. Kui toestuse eemaldamine on ohtlik töötajatele või lähedal asuvatele ehitistele ja rajatistele, tuleb toetus sisse jätta.
19. Ebavesiliiva puhul tuleb toetus sisse jätta.
20. Šurfi kaevamisel ruumides peavad olema rahuldatud järgmised nõuded:
 - (1) valgustugevus peab olema vähemalt 50 luksit;
 - (2) lae kõrgus peab olema vähemalt 1 m;
 - (3) šurf peab olema ümbritsetud piirdega ja ööseks kaetud kindla kilbiga.
21. Varisemisohulike hoonete vundamentide avamiseks on šurfide kaevamine spetsiaalsete ohutustehniliste meetmeteta on keelatud.
22. Šurfis võib kasutada ainult elektrivalgustust (pinge 36 V).

TÖÖD ELEKTRILIINIDE LÄHEDUSES

1. Elektriliinidele on määratud kaitsetsoonid elektriliini äärmistest juhtmetest alljärgnevalt:

Liini nimipingeline, kV	< 1	1 – 20	35	110	220	330
Kaitsetsoon, m	2	10	15	20	25	30

Kaitsetsoonis on keelatud uurimis- ja laadimistöde tegemine ning autode ja mehhanismide parkimine liini ekspuaterija loata. 330 kV liini kaitsetsoonis pole töötajal lubatud viibida üle 90 min ööpäevas.

2. Tööde tegemiseks liini kaitsetsoonis tuleb välja anda töökäsk – luba.
3. Tööd kaitsetsoonis peavad toimuma vähemalt IV kvalifikatsioonigrupi kuuluva tööteostaja juhtimisel ja pideval järelvalvel, kes on elektriohutusest liini ekspuaterija poolt instrueeritud.
4. Enne tööde alustamist liini kaitsetsoonis tuleb liini ekspuaterijale esitada tööohutuse eest vastutavate

insener-tehniliste töötajate nimekiri (ametikoht, perekonnanimi, initsiaalid ja elektriohutuse grupp).

5. Töödel pingestatud liini kaitsetsoonis tuleb puurmasinad maandada. Väljalülitatud liini puhul maandamist ei nõuta.
6. Puurmasinate liikumine liini kaitsetsoonis võib toimuda ainult nende transportasendis kiirusega mitte üle 5 km/h. Väljaspool teid tuleb liini alt läbi sõita võimalikult masti lähedalt.
7. Puurmasinatega töötamine lähemal kui 30 m elektriohuliini äärmisest juhtmetest, kuid väljaspool kaitsetsooni, peab toimuma töökäsk-loa alusel, kusjuures see ei kuulu liini ekspuaterijatega kooskõlastamisele.
8. Kui uurimistöodel vigastatakse kaablit või avastatakse töötsoonis tundmatu kaabel, tuleb tööd viivitamata katkestada ja kutsuda kohale kaabli ekspuaterija. Töid võib jätkata kaabli ekspuaterija loal.

9. Mahakukkunud juhtmele ei tohi minna lähemale kui 8 m. Vigastuskohale tuleb panna valve ja kutsuda ohu kõrvaldamiseks kohale liini ekspuaterija.

10. Kui mehhanismile on langenud pingestatud juhe, ei tohi mehhanismi puudutada, peale ega maha

ronida. Vältimatul vajadusel (tulekahju jms) tuleb mehhanismilt lahkuda hüppega, et üheaegselt mitte puudutada mehhanismi ja maad. Eemalduda tuleb hüpates ühel jalal või võimalikult väikese sammuga.

TÖÖTAMINE ELEKTRISEADMETEGA

1. Kõigi elektriseadmete korpused peavad olema maandatud.

2. Sisselülitatud elektriseadmeid ei tohi jätta valveta.

3. Elektrivoolu katkemisel tuleb välja lülitada kõik elektriseadmed.

4. Elektrijuhtmete süttimisel tuleb vool kiiresti välja lülitada. Elektrijuhtmete kustutamisel ei tohi kasutada vett ja vahtkustutajaid.

5. Tööpäeva lõpul tuleb kõigist elektriseadmetest elektrivool välja lülitada.

SISEPÕLEMISMOOTORID

1. Kasutatav kütus ja määrideõlid peavad vastama mootori tehnilistele tingimustele.

2. Diiselmootori puhul on keelatud:

(1) käivitada mootorit, kui kontrollseadmed ei ole korras;

(2) soojendada mootorit lahtise tulega;

(3) valada imevkollektorisse ja silindrisse kergestisüttivaid vedelikke või nende segusid diiselmootoriga;

(4) käivitada mootorit reguleerimata kütusepumba regulaatoriga;

(5) mässida nõõri otsa ümber käe käivitusmootori käivitamiseks.

3. Ülekuumenenud mootori radiaatori kork tuleb avada erilise ettevaatusega.

4. Mootor tuleb viivitamatult peatada:

(1) ebanormaalse müra ilmnemisel;

(2) üldise ja kohaliku ülekuumenemise puhul;

(3) õli ja kütuse lekkimise puhul;

(4) kui kontrollriistade näidud ületavad normaalseid näite.

5. Mootori kõik liikuvad osad peavad olema kaitstud ohutuskilpide või -piiretega.

6. Mootorit tankida võib ainult mootori seisu ajal.

7. Mootorikütuse tagavara peab olema töötavast mootorist vähemalt 15 m kaugusel.

8. Etüleeritud bensiini kasutamine ruumides on keelatud.

9. Mootori tankimisel etüleeritud bensiiniga peab kasutama kindaid. On keelatud imeda suuga etüleeritud bensiini voolikusse.

10. Mootori töötamine mitteventileeritavates ruumides on keelatud.

TÖÖD SALVKAEVUDES

1. Ära mine kaevu, kui maa peal ei ole abilist.

2. Kaevu minnes kasuta julgestusrihmasid ja turvaköit.

3. Kanna kaitsekiivrit.

4. Tuuluta kaevu.

5. Väldi redeli vajumist filterliiva kihti.

6. Väldi elektrikäsitööriistadega töötamist kaevus, hädavajadusel kasuta akutoitega tööriistu.

18. ESMAABI

Haavad ja verejooks

Haava korral tuleb sulgeda verejooks ja kaitsta vigastatud piirkonda mustuse eest. Raskeid ja sügavaid haavu ei tohi mingil juhul ise pesta või hõõruda. Tavaliselt kasutatakse välitingimustes haava sidumiseks individuaalset esmaabipakki. Võõrkehad haavast eemaldab arst.

Väike verejooks jäsemetest seiskub, kui tõsta jäse kõrgemale ja asetada haavale rõhkside. Arteriaalse verejooksu puhul on vaja jäsemele asetada žgutt. Žguti alla pannakse riie ning kindlasti vahele paber, millel on kuupäev ja kellaeg. Õigesti peale pandud žguti korral verejooks lakkab, jäse muutub kahvatuks ja pulsatsioon arteritel žgutist kaugemal puudub. Žguti kasutamise korral tuleb kannatanu kiiresti haiglasse toimetada. Žguti võtab ära meditsiinitöötaja.

Luumurrud

Lahtise luumurru korral peatatakse verejooks ja haavale tehakse side. Seejärel vigastatud liiges lahastatakse ilma jäset venitamata ja murdunud luu otsi nihutamata. Lahas tuleb asetada vigastatud jäsemele kahelt poolt nii, et tagaks murrust all- ja ülalpool oleva liigese liikumatuse. Võimalusel tuleb lahastada asendit muutmata. Luumurruga haige haiglasse toimetamiseks ei tasu kasutada oma transporti, kui kiirabi ise seda ei soovita!

Põrutused

Esmaabi andmine toimub nagu luumurdude puhul. Kergete põrutuste korral piisab rahu tagamisest esimestel tundidel ja külma kompressi asetamisest põrutada saanud kohale. Peapõrutuse korral tuleb kannatanu panna külili lamama, pea peale külm rätik või kott ja kutsuda kiirabi.

Põletused

Kergetel juhtudel (naha punetus) ja tugevama põletuse puhul (nahk kattub villidega) tuleb kahjustatud ala katta põletusgeeliga ning vajadusel siduda steriilse sidemega. Sobivad geelid ja spetsiaalsed lapid peaksid kuuluma esmaabikomplekti.

Tugevate ja sügavate põletushaavade korral (naha ja kudede söestumine) tuleb piirduda vaid kuiva steriilse sideme asetamisega ja saata kannatanu raviasutusse.

Hapete või leeliste sattumisel nahale tuleb kahjustatud kohta kohe 10–20 min jooksul hoida puhta voolava vee all. Vajadusel panna haavale steriilne side. Leelise silma või suhu sattumisel tuleb neid loputada puhta veega vähemalt 10 min jooksul. Vett ei tohi alla neelata! Seejärel tuleb kohe pöörduda arsti poole.

Külmumine

Külmunud kohta hõõrutakse puhta käterätiku või puhaste kätega naha normaalse värvuse taastumiseni, vajadusel seotakse steriilse sidemega. Külmunud kehaosi ei tohi hõõruda lumega. Külmunud jäse tuleb soojalt mähkida.

Raskematel külmumisjuhtudel (villid jm) ei tohi nahka hõõruda. Kahjustatud koht tuleb katta steriilse sidemega ja kannatanu toimetada kiiresti raviasutusse.

Kahjustused elektrilöögist

Elektrilöögi korral tuleb kannatanu kiiresti vabastada voolu alt lülitades kindlasti välja ka üldlülitid. Vajadusel tuleb alustada esmaabi võtete rakendamisega. Kõige tähtsam on õigeaegselt alustada südamepiirkonna massaaži, raskematel juhtudel ka kunstliku hingamise tegemist. Südamemassaaži tuleb teha õige sagedusega (ligi 100 vajutust minutis) ja püsivalt, kuni kannatanu hakkab ise hingama või kiirabi tulekuni. Meelemärkusel kannatanu tuleb soojalt sisse mähkida ja toimetada raviasutusse. Pärast elektrilööki on arstlik läbivaatus igal juhul vajalik.

Kui pingel alla 1000 V ei ole võimalik voolu välja lülitada, tuleb kannatanu kiiresti vabastada temaga kokkupuutes olevatest voolu juhtivatest osadest. Selleks tuleb kasutada kuivi rõivaid, köit, puust keppi, laudu või muud kuiva, elektrivoolu mitte juhtivat eset. Samuti võib kannatanu voolu juhtivatest osadest eemale tõmmata võttes kinni tema rõivastest. Viimased peavad olema kuivad ja hoidma kannatanu kehast eemale (näiteks pintsaku või palitu hõlmad).

Seejuures tuleb vältida kokkupuutumist ümbritsevate metallesemetega või kannatanu kehaosadega, mis on rõivastega katmata. Jalgadest tõmbamisel peavad tõmbaja käed olema hästi isoleeritud. Kannatanu püksid ja jalatsid võivad olla niisked ja juhtida seetõttu elektrit. Tuleb kasutada isoleerkindaid, käte ümber mähitud salli, riidest mütsi või käsesse tõmmatud kätt. Võib kasutada ka kummeeritud riidet (vihmamantel) või lihtsalt kuiva riidet. Jalge alla võtta kuiv lauätükk või muu isoleeriv alus. Võimaluse korral tuleb tegutseda ainult ühe käega.

Päikesepiste ja kuumarabandus

Kannatanu tuleb asetada jahedasse kohta (varju), nõrga tuule kätte, vabastada ta pigistavatest riidetest ja piserdada külma veega. Ei tohi anda sissehingamiseks nuuskpiiritust.

Mürgitused

Toidumürgituse puhul antakse kannatanule 3–4 klaasi sooja vett ja kutsutakse esile oksendamine. Lahtistite kasutamine on keelatud. Arst peab kannatanu läbi vaatama.

Mürgituste korral hapete ja leelistega suukaudselt vett ega ravimeid ei tohi kasutada. Kannatanu tuleb lamavas asendis väga kiiresti toimetada arsti juurde.

Etüleeritud bensiini sattumisel makku ei ole vaja kunstlikult esile kutsuda oksendamist, kannatanu vajab kiiresti arstiabi. Kehaosa, millele on sattunud etüleeritud bensiin, tuleb loputada veega.

Vingumürgituse korral tuleb kannatanu koheselt viia värske õhu kätte. Seisundi halvenemisel rakendada esmaabivõtteid – esmalt kaudset südamemassaaži. Kannatanu tuleb soojalt katta ja kutsuda kiirabi.