

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ENERGEETIKATEADUSKOND
MÄEINSTITUT

Geotehnoloogia õppesuund, AAGM-02

Anna Kruglova, 001784

Magistritöö AKG 70LT

ID: 842

**PAKRI POOLSAARE KIVIMITE RADIOAKTIIVSUS
JA SELLE KESKKONNAOHTLIKKUS**

The natural bedrock radioactivity of the Pakri peninsula and
its riskiness for environment

Juhendaja:
geoloogia-mineraloogiateaduste doktor Ülo Sõstra

Konsultant:
geoloogia-mineraloogiateaduste kandidaat Valter Petersell

Tallinn
Detsember 2007

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
SUMMARY.....	4
SISSEJUHATUS.....	5
1. PAKRI POOLSAARE GEOLOOGILINE EHITUS.....	7
1.1. KVATERNAARI SETTED.....	9
1.1.1. Holotseeni setted.....	9
1.1.2. Pleistotseeni setted.....	9
1.2. ALUSPÕHJA KIVIMID.....	10
1.2.1. Ordoviitsiumi ladestu (O).....	10
1.2.1.1. Kesk-Ordoviitsiumi ladestik (O2).....	11
1.2.1.2. Alam-Ordoviitsiumi ladestik (O1).....	14
1.2.2. KAMBRIUMI LADESTU (C).....	18
1.2.2.1. Alam-Kambriumi ladestik (C ₁).....	19
2. LOODUSLIK RADIOAKTIIVSUS, SELLE KESKKONNOAHTLIKKUS JA MÕÕTEAPARATUUR.....	21
2.1. Radioaktiivsuse kui loodusliku nähtuse avastamine.....	21
2.2. Radioaktiivsuse omadused ja mõju elusloodusele.....	22
2.3. Looduslik radioaktiivsus.....	22
2.4. Radioaktiivse kiirguse mõõteaparatuur.....	26
2.5. Radioaktiivsuse kiirguse mõisted ja ühikud.....	27
2.6. Loodusliku radioaktiivsuse ohtlikus.....	29
3. PAKRI POOLSAARE PINNAKATTE JA ALUSPÕHJA KIVIMITE LOODUSLIK RADIOAKTIIVSUS.....	31
3.1. Radioaktiivse kiirguse mõõdik Pakri – E.....	31
3.2. Seadme katsetamine laboris.....	32
3.3. Kivimite ja pinnaste radioaktiivsuse mõõtmine välitingimustes.....	43
3.3.1. Kvaternaari setted.....	43
3.3.2. Aluspõhja kivimite looduslik radioaktiivsus.....	49
4. TULEMUSTE USALDUSVÄÄRTUSE KONTROLL JA MÕÕTEANDMETE ÜLDISTUS.....	67
KASUTATUD KIRJANDUS.....	73

TEKSTI LISAD

1. Lisa 1. Radioaktiivsuse mõõtmiskohtade plaan
2. Lisa 2. Lähteülesanne
3. Lisa 3. Curriculum Vitae

Magistritöö
PAKRI POOLSAARE KIVIMITE RADIOAKTIIVSUS
JA SELLE KESKKONNOAHTLIKKUS

Lühikokkuvõte

Käesolevas töös antakse ülevaade Pakri poolsaare pinnaste ja aluspõhja kivimite looduslikust radioaktiivsusest, hinnatakse piirkonna keskkonna radiatsiooniohtlikkust. Pakri poolsaare pinnaste radioaktiivsus uuritud alal ei ületanud normaalse loodusliku fooni piire. Aluspõhja kivimid on erineva radioaktiivsusega, vastavalt nende keemilisele koostisele ja peamiste radionukliidide sisaldusele.

Kõrgenenud radioaktiivsusega on graniidi rahnud, Billingeni ja Hunnebergi lademe glaukoniitliivakivid, Pakerordi lademe Kallavere kihistu liivakivid, eriti kerogeense argilliidi vahekihtidega. Kõrge radioaktiivsus, kuni $1,84\mu\text{Sv/h}$, on Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeensel argilliidil. Inimestele ohtlikuks loetakse kiirguse intensiivsust alates $0,3\mu\text{Sv/h}$.

Radioaktiivse kiirguse mõõdik Pakri – E on igati sobiv töötamiseks erineval režiimidel, mis võimaldab küllalt täpselt määrata radioaktiivse kiirguse taset, selle ohtu inimorganismile, aga ka hinnata, millised radionukliidid võivad seda reostust esile kutsuda. Seade on sobiv teaduslike uuringute ja keskkonna hinnangute tegemisel võimalikes suurenenud radiatsiooni fooniga aladel.

THE NATURAL BEDROCK RADIOACTIVITY OF THE PAKRI PENINSULA AND ITS RISKNESS FOR ENVIRONMENT.

SUMMARY

In present paper on overview of Pakri peninsula soils and bedrock natural radioactivity is given, the radiation threat to area environment is assessed. The radioactivity of the Pakri peninsula soils do not exceed normal natural level. The radioactivity of bedrock depend from their chemical composition and content of main radioactive isotopes.

The higher level of radioactivity are granite boulders, glauconite sandstones of Billingen and Hunneberg Stages, Pakerordi Stage Kallavere sequence sandstones, especially which content argillite intercalations and veins. High radioactivity, up to $1,84\mu\text{Sv/h}$, characterizes kerogenic argillite of Türisalu suite, Pakerordi Stage. Dangerous for human beings is intensity of radiation from $0,3\mu\text{Sv/h}$.

Radiometer – Pakri-E is a suitable equipment for field works in different regimes to measure the radiation level, danger to human beings, to assess, which radioactive isotopes cause radiation. Apparatus is suitable for scientific researches and environmental assessment in the areas of higher radiation level.

SISSEJUHATUS

Pakri poolsaar asetseb 40km Tallinnast edela pool, kujutab endast Paldiski ja Lahepere lahe vahel 11km ulatuses loode suunas Läänemerre ulatuvat maismaa osa. Mandripoolses osas on poolsaare laius kuni 8km ja see väheneb sujuvalt Pakri neemeni, üldpindala moodustab ca 42km². Kõrgeimaks on poolsaare loodeosa, absoluutkõrgusega kohati üle 25m. Poolsaare kolmnurkset tippu ümbritsevad mõlemalt poolt suhteliselt sügavad, üle 20-30m, lahed, mis on teinud Pakri poolsaare lääneranniku mugavaks sadamaks. Rootslased hakkasid siin esimest sadamat ehitama juba 17.sajandil. Pärast Tallinna alistamist 1710.a otsustas Venemaa tsaar Peeter I siin rajada sõjasadama, mille nurgakivi pandi pidulikult 1718.a. Asula sai Katariina II-selt nimetuse Baltiiski Port. Linnaõigused sai sadam 1783.a. Paldiskiks hakati linna nimetama 1930.-ndate aastate alguses. Alates 1939.a kuni 1991.a oli linn ja Pakri poolsaar salajased sõjalised objektid, neid ei saanud külastada. Aastatel 1968. kuni 1990. töötas Pakri poolsaare tuumaobjektis tuumareaktor ja allveelaevnike õppekeskus koos raketibaasidega.

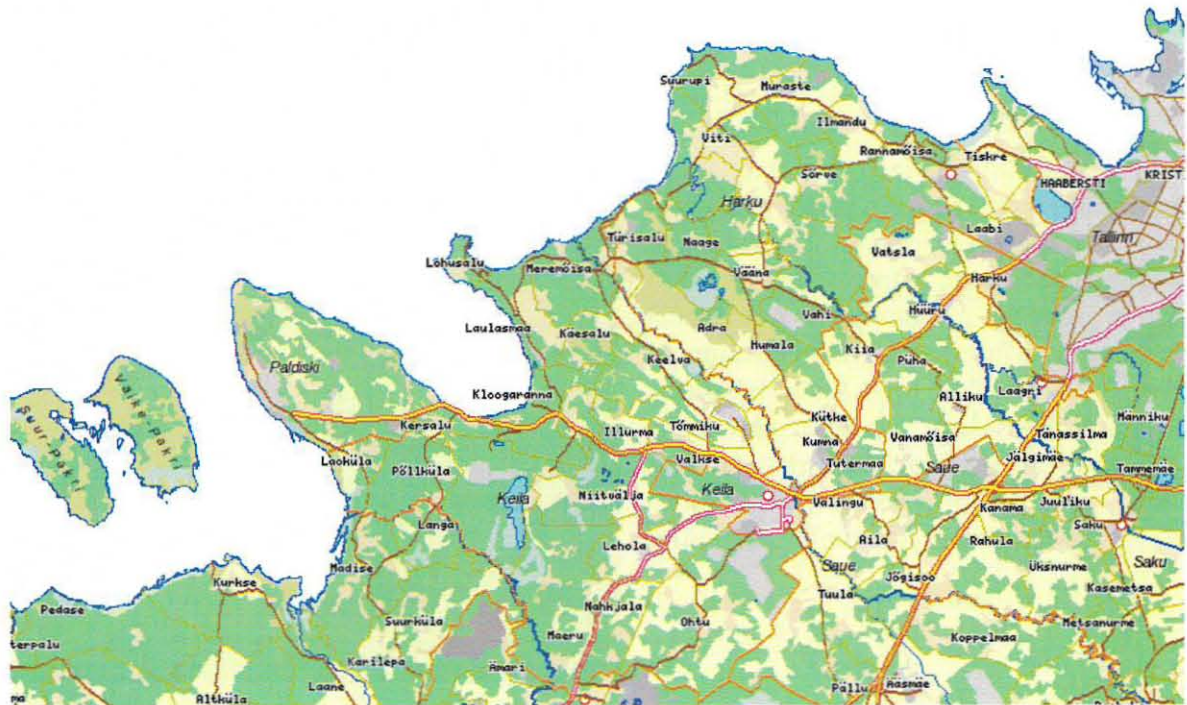
Tuumaobjekti reaktorid seisati 1990.a ja jaam konserveeriti. Tuumaobjekti territooriumile jäid radioaktiivsed jäätmekivid, mis looduslikul viisil jätkavad seal lagunemist. Pärast Eesti iseseisvuse saavutamist on tehtud põhjalikud uuringud poolsaare radioaktiivse situatsiooni ja seisundi uurimisel (Kink, 2000). Õhust teostatud radioaktiivsuse uuringud näitasid looduslikust kõrgemat radiatsiooni taset endise tuumaobjekti territooriumil ja kitsas vööndis ümber poolsaare tippu, kus on Ordoviitsiumi ladestu Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeense argilliidi (diktüoneema kilda) paljandid.

TTÜ mäeinstituut muretses möödunud aastal vajalike mõõteriistade ja vahendite hulgas ka radioaktiivse kiirguse mõõdikuga Pakri – E, mida saab kasutada õppetöös, keskkonna- ja teaduslikes uuringutes. See võimaldas plaanida ja läbi viia Pakri poolsaare aluspõhja kivimite radioaktiivsuse mõõtmise, et selgitada välja kivimite kiirgusohhtlikkus ja saada mõõdikuga vajalikud töökogemused. Kuna Tallinnas (Lasnamäe, Kadrioru serv) ja lähima ümbruse ehitusrajoonides (Tabasalu, Rannamõisa, Tiskre, Muraste, Maardu jne) asetseb kerogeenne argilliid maapinna lähedal ning lagunedes eraldab inimestele ohtlikku radooni, oli Pakri poolsaare looduslikus keskkonnas võimalus teiste kivimite foonil hinnata objektiivselt uraani sisaldava kerogeense argilliidi keskkonnaohtlikkust ja meetmeid, mis tuleks ette võtta radioaktiivse kiirguse mõju vähendamiseks sellistel aladel viibimisel ja elamisel. Uuringud hõlmasid Ordoviitsiumi läbilõiget Lasnamäe lademest kuni Kambriumi lademe Tiskre kihistuni. Võrdluseks teostati üksikuid mõõtmisi pinnastel, rannavallidel ja rändrahnudel.

Radiomeetri Pakri - E katsetused olid varem tehtud TTÜ mäeinstituudi Eesti geoloogia kollektsioonide radioaktiivse kiirguse määramisel ja Jordaania põlevkivi puursüdamiku radioaktiivsuse mõõtmisel. Kuid lõputöö eesmärgiks oli välja selgitada seadme võimalused erinevate kiirgusliikide mõõtmisel ja eristamisel, mis annaks võimalused täpsemalt määrata kiirgusallikaid. Samuti ei olnud selge, kuivõrd täpne on seade väikese kiirgustasemega objektide mõõtmisel. Pakri poolsaar on suurepärane geoloogiline polügoon mitte ainult Eesti geoloogiastudengitele, vaid pakub huvi ka välisstudengitele. Parem ja mitmekülgsem poolsaare tundmine annab selleks kõik võimalused. Saadud andmeid on võimalik kasutada edaspidises TTÜ mäeinstituudi arengutöös, näiteks Maardu piirkonna kiirgusohhtlikkuse hinnangul, sest Pakri poolsaare mõõdetud osas tehnogeeniline radioaktiivne reostus puudub.

Tänuavaldused

Autor tänab abi eest oma konsultante Valter Peterselli ja Enno Reinsalu't, töö juhendajat Ülo Sõstra't tõhusa juhendamise ja töö keelelise kontrolli eest.



Joonis 1. Pakri poolsaare asukohakaart (väljavõte Maa-ameti kardiserverist).

1. PAKRI POOLSAARE GEOLOOGILINE EHITUS

Geoloogiliselt kujutab Pakri poolsaar aluspõhja kivimitest koosnevat plokki, mis on mõlemalt poolt kirdes ja kagus eraldatud loodesuunaliste tektooniliste murranguvöönditega, kus aluspõhja tugevasti purustatud lõhelised kivimid on sügavalt erodeeritud ning jäävad vastavalt Lahepera ja Paldiski lahe alla. Poolsaar on kolmest küljest ümbritsetud kõrge pankrannikuga, mis läänes ja põhjas on mere murrutusvööndis ja seepärast alati uuendatud. Pakri neemel on paekalda kõrgus ligi 25m ü.m.p. ja seal avaneb Paleosoikumi ehk Vanaaegkonna vanema osa läbilõige Alam-Kambriumist kuni Kesk-Ordoviitsiumi kõige noorema, Uhaku lademeni. Kahtlemata on Pakri poolsaare lääneranna aluspõhja paljand Eestis kõige suurem, informatiivsem ja kättesaadavam.



Joonis 1.1. Avamere murrutusele avatud Alam- ja Kesk-Ordoviitsiumi läbilõige Pakri neemel, Pakerordi pangal.

Pankranniku ülemise osa moodustavad Uhaku ja Lasnamäe lademe kõvad plaatjad lubjakivi, nende all paljanduvad glaukoniitlubja- ja liivakivid, mis omakorda katavad Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeense argiliidi lasundit (järsaku alumises osas, pruunikas). Foto: Ü. Sõstra, 2006

Poolsaare keskosas on väike ala, mille kõrgus ulatub ligi 31m ü.m.p. See osa vabanes vee alt esimest korda Antsülusjärve regressioonil 9000-8000a tagasi. Hilisema Litoriinamere transgressiooni ajal tõusis meretase uuesti ja suur osa poolsaarest kattus jälle mereveega. Poolsaare keskosas aga tekkis loode-kagusuunaline saar ja seda hakkasid piirama murrutusastangud. Nende murrutusastangute ümber moodustusid rannakruusa lasundid, mida on kasutatud kohalike teede ehitamisel. Maapinna kerkel, mis jätkub ka praegu

kiirusega umbes 3mm aastas, mere tase alanes, saar suurenes ja ühines mandriga moodustades poolsaare. Limneamere staadiumi alguseks sai poolsaar ligilähedaselt nüüdisaegse kuju. Litoriinamere regressiooni ajal algas paeranniku intensiivne murrutamine, mis jätkub siiani (Miidel, 1996, 2000). Läbilõike alumises osas paiknevad suhteliselt pudedad glaukoniitliivad uhutakse välja, lõhelised lubjakivid hakkavad suurte, kuni 8x10x3m lahmakatena alla kukkuma ja mõneks ajaks peatavad ranna murrutuse, kuid ainult esimese tugeva tormi. Merele avatud rannikul purustatakse kõik massiivsed nurgelised plokid tormi ajal veeristeks ja peenmaterjaliks ning kantakse piki randa Paldiski lahe lõppu. Suurte tormide vaheajal moodustuvad mõneks ajaks rannavallid, mis



Joonis 1.2. Pärast 2005.a jaanuaritormi moodustunud uus lapikutest veeristest rannavall. Tagaplaanil Pakri Põhjasadam koos kaitsemuuliga.

tugevate tormidega, nagu 2005.a jaanuaritorm, kantakse rannast ära. Ilmselt see ladestub lahesoppides ja pankrannikust kaugemal asetsevates rannavallides. Lamedate ja tugevasti ümmardatud veeriste koostise järgi rannas võib öelda, et ülekanne on ulatuslik. Põhjasadama muuli ees olevas rannavallis, mis on tekkinud juba pärast 2005.a tormi, esineb hulgaliselt kerogeense argilliidi lapikuid veeriseid ja püriidi konkretsioone. Need kivimid paljanduvad rannajärsakus 2km põhja pool, aga suuri tormi vahepeal ei ole olnud. Järgnevalt antakse lühikene Pakri poolsaare Kvaternaari ajastu pinnakatte ning aluspõhja Ordoviitsiumi ja Kambriumi lademetega ning kihistute iseloomustus.

1.1. KVATERNAARI SETTED

Kvaternaari setete moodustumise toimus viimase 1,806 mln a jooksul. Kuigi selleaegsed setted katavad Pakri poolsaart peaaegu kõikjal, väikesed alvarid poolsaare tipus, on nende paksus väike ja tavaliselt ei ületa 1m, harva ulatudes 2-3m-ni. Mõnevõrra suurem on setete paksus ka klindiesisel tasandikul, poolsaare kirderannikul. Poolsaare kesksel kõrgendikul ulatub Kvaternaari setete paksus samuti paari meetrini. (Kink, 1996)

Kvaternaari setete seas eraldatakse välja Holotseeni ja Pleistotseeni setteid, nende suurem paksus on seotud Läänemere erinevate staadiumite rannamoodustistega, mis paiknevad pankranniku peal, enamasti vöönditena paralleelselt paekalda servaga.

1.1.1. Holotseeni setted

Holotseeni setted on moodustunud peamiselt pärast Pakri poolsaare vabanemist mere alt umbes 8500 aastat tagasi. Nende seas valdavad Läänemere Antsülusjärve, Litoriina- ja Limneamere staadiumite setted. Setted on valdavaks jämeda kruusa ja veeriste fraktsioonid, mille seas valdavad peened ja keskmised veerised, läbimõõduga 1-5cm. Enamus veerised on lapikud ja keskmiselt ümardatud. Kohalik karbonaatsetest kivimitest koosnevad veerised moodustavad vanade rannavallide peamise koostise (Kink, 1996). Osa vanu rannavalle on arvele võetud kruusamaardlatena, mis asuvad vahetult pankranniku peal. Kruusalasundi paksus võib ulatuda 2-3m-ni, kuid suur osa varudest on juba varem kasutatud rannakindlustuste ja teiste rajatiste ehitamiseks. Pealegi asuvad varud suures osas Pakri maastikukaitseala piirides.

Teistest Holotseeni setetest esineb kohati vähesel määral väiksemaid soostunud alasid.

1.1.2. Pleistotseeni setted.

Pleistotseeni setted moodustusid ajavahemikus 11500a. kuni 1,806 miljonit aastat tagasi, kuid paepealsel poolsaarel on ilmselt säilinud vaid viimase mandrijäätumise aegsed setted. Nad on esindatud Ülem-Pleistotseeni kuuluva Järva kihisti Palivere staadiumi liustiku põhimoreeniga. Põhimoreen on helehall liivsavi, mis sisaldab kristalsete kivimite kõrval ka rohkesti kohalikust aluspõhjast pärit kivimite ümardatud veeriseid. (Miidel, 1996).

Piki rannikut ja ka paepealsel alal võib kohata hulgaliselt väiksemaid ja suuremaid kristalseid rändrahne, mis on kohale toodud mandrijääga ja hiljem moreenist lainetega välja pestud. Rändrahnud on Soomest, Ahvenamaa saartelt ja Läänemere põhjast lahtimurtud nurgelised ja ümardunud Svekofennia moonde- ja magmakivimite ning neist nooremate rabakivi graniitide tükid. Oma kivimiliselt koostiselt on rahnud mitmesugused:

migmatiidid, gneisid, amfiboliidid, gabrod, dioriidid, granodioriidid ja graniidid. Suuri, ümbermõõduga üle 10m, rahne on poolsaarel 18 ja nad paiknevad hajusalt üle kogu poolsaare territooriumi. Enamik neist asub pankranniku peal, aluspõhja kivimite pealispinnal ja on seepärast hästi vaadeldavad. Suuremate rahnude seas valdavad rabakivigraniidid. Mererannal on tugevad kristalsed kivimid vastupidavamad lainetele ja nende hulk rannas ei vähene pärast tormi.

1.2. ALUSPÕHJA KIVIMID

Pakri poolsaare aluspõhi koosneb Vanaaegkonna Ordoviitsiumi ja Kambriumi erineva koostisega settekivimitest. Pakri poolsaare läänerannikul on Eesti kuulsaim aluspõhja paljand, mis algab Paldiski jaamahoone juurest ja jätkub Pakri neeme tipuni ning sealt edasi piki Lahepere lahe rannikut. Seega on tegemist enam kui 3,5kilomeetri pikkuse pideva rannajärsakuga. Selle lõunaotsas, mis jääb Põhjasadama territooriumile, on järsaku kõrgus vaid 2-3m, seejärel sujuvalt tõuseb alguses 8-9meetri ja Pakri neemel juba 24,5meetri. Kuna settekivimite kihid on nõrgalt kaldu lõuna poole, keskmiselt 3m ühe km kohta, siis liikudes piki randa lõunast põhja suunas, suureneb pankranniku kõrgus, läbilõike paksus ja läbilõike allosas tulevad nähtavale üha vanemad kihid. Põhjasadama territooriumile jäävat järsaku osa nimetatakse Paldiski pangaks, järgmist loode suunas olevat osa kutsutakse Uuga pangaks ja Pakri neeme ümbritsevat, kõige põhjapoolsemat – Pakerordi pangaks. Viimasel paljandub praktiliselt kogu Kesk- ja Alam-Ordoviitsiumi läbilõige ning selle all isegi Alam-Kambriumis kuuluv Tiskre liivakivi. Läbilõige jaguneb kaheks osaks: ülemine pool on esindatud Kesk-Ordoviitsiumi aegsete lubjakividega, alumine osa Alam-Ordoviitsiumi ja Kambriumi vanuste liiva- ja savikivimitega. (Nestor jt, 2006)

1.2.1. Ordoviitsiumi ladestu (O)

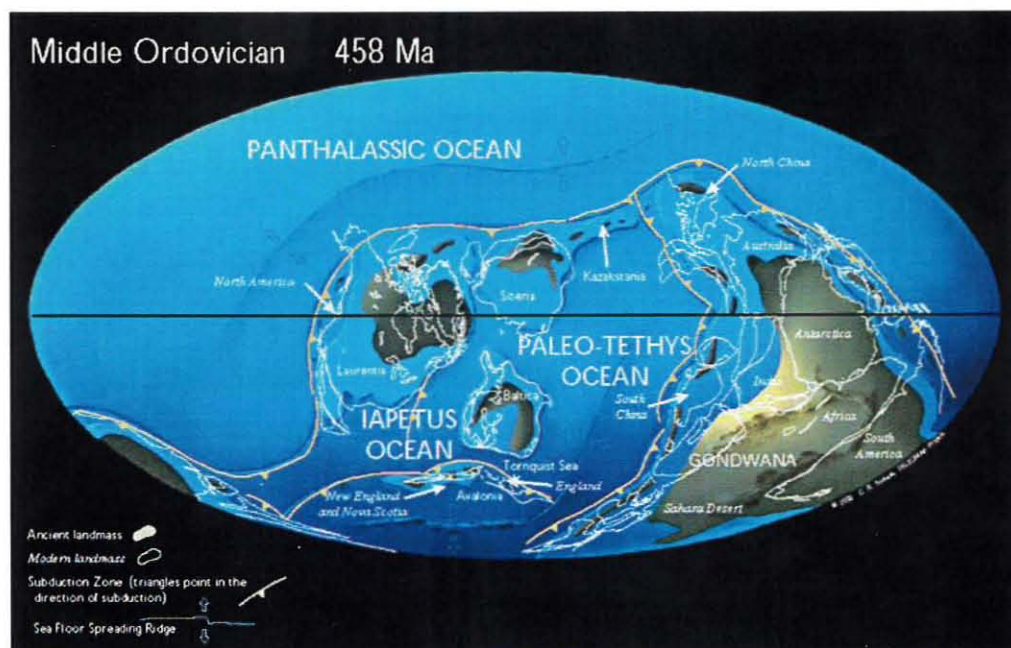
Ordoviitsiumi ladestu on Pakri poolsaarel esindatud Alam- ja Kesk-Ordoviitsiumi ladejärguga, kogupaksusega umbes 17m.

Kesk-Ordoviitsium ladejärg hõlmas ajavahemiku $460.9 \pm 1,6$ mln a kuni $471.8 \pm 1,6$ mln a (www.gi.ee/ESK/). Siis paiknes Baltica ürgmanner lõunapoolkeral, kuid hakkas juba lähenema ekvatoriaalsele vööndile. See väljendus ka rikkalikus merelises loomastikus ja karbonaatsetes setetes. Kesk-Ordoviitsiumist on teada esimesed põlevkivi-kukersiidi ilmingud läbilõikes, õhukesed kukersiidi kihid Kunda ja Uhaku lademes.

Alam-Ordoviitsiumis, 471.8 ± 1.6 mln a kuni 488.3 ± 1.7 mln a tagasi, oli Baltica ürgmanner veel parasvöötmes, kus ladestusid savid, liivakivid ja Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeenne argilliit ehk diktüoneema kilt, mis on Eesti vanim põlev maavara. Kilt sisaldab märgataval hulgal uraani, vanaadiumi ja molübdeeni. Lõputöö üheks ülesandeks oli selle radioaktiivse kilda keskkonnaohtlikkuse hindamine.

1.2.1.1. Kesk-Ordoviitsiumi ladestik (O2)

moodustus 11 mln aasta jooksul ja on esindatud Pakri poolsaarel Uhaku, Lasnamäe, Aseri, Kunda ja Volhovi lademega. Ladestik koosneb Põhja-Eestis suhteliselt puhastest lubjakividest, kompleksi paksus on umbes 10m. Kivimite savisisaldus suureneb ka vertikaalses läbilõikes alt ülespoole. Kivimis on palju trilobiitide, okasnahksete ja käsijalgsete skeletiosiseid ehk detriiti. Kesk-Ordoviitsiumi ajajärgul toimus Eesti ala katnud mere järk-järguline pealetung ehk transgressioon, meri laienes ja muutus sügavamaks. Sellele viitavad setteprotsessis toimunud märgatavad muutused, algas pidev settimine ilma oluliste katkestuspindadeta ja setted ise muutusid savirikkamateks. Kesk-Ordoviitsiumi paekihid paljanduvad Põhja-Eesti rannajärsaku kõige ülemises osas ja ka Pakri poolsaare kõige kõrgemas osas. Maapinnal paljanduvad need kivimid kitsa ribana lõunapool klinti ja moodustavad sageli alvarid ehk paepealsed. Ka Pakri poolsaarel on



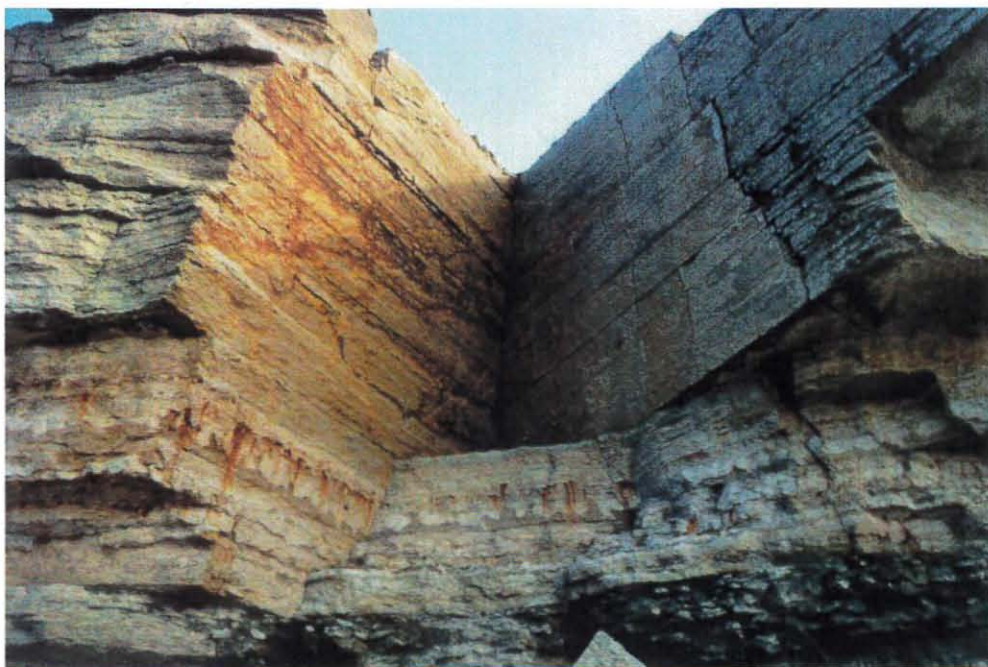
Joonis 1.3. Baltica ürgmanner asus Kesk-Ordoviitsiumis lõunapoolkeral, Japetuse ookeani ääres (www.scotese.com).

järsaku ülemine osa ja paepealne esindatud Lasnamäe ja Uhaku lademe Väo kihistu kõvade lubjakividega, mis on aastasadu olnud vastupidavateks ehituskivideks. Neist on üles

ehitatud kogu keskaegne Tallinn. Pakri poolsaarel on Vão kihistu plaatjate lubjakivide paksus umbes 4,5m (Nestor, 2006).

Uhaku lade (O₂uh) koosneb helehallist peeneteralisest ja mikrokristalsest keskmise kihilisest ja harvem paksukihilisest lubjakivist, mis sisaldab hajusalt fossiilide detriiti, tasemeti lainjaid merglikelmeid ja üksikud kihte. Iseloomulik on sagedaste fosfaatsete katkestuspindade esinemine (Einasto, 1996). Klindijärsaku ülemises osas kuulub Uhaku lademesse 1,8m tugevat plaatjat ehituslubjakivi, mida käsitletakse tavaliselt Vão kihistu osana. Lademe oluliseks tunnuseks on kukersiidi kihtide ilmumine läbilõikes, kuid see ülemise osa, mis koosnes merglilistest lubjakividest, on mandrijää poolt reeglina ära kulutatud. Pankranniku paepealse moodustavad Vão kihistu tugevad plaatjad lubjakivid (Suuroja, 1997; Pirrus, 2001).

Lasnamäe lade (O₂ls) on Pakri poolsaarel esindatud Vão kihistuga, mis koosneb valdavalt hallist, kõvast, keskmise ja paksukihilisest plaatjast lubjakivist, kohati on dolomiidistunud.



Joonis 1.4. Lasnamäe lademe Vão kihistu moodustavad klindi ülemise osa, allosas on näha mitmed katkestuspinnad ja liivakad vahekihid, see osa kuulub Kunda lademe Pakri kihistusse, kus esinevad ka esimesed tõelise kukersiidi läätsed. Pakri poolsaare läänerand, Uuga pank.

Kihipinnad on üksteisest eraldatud õhukeste mergli vahekihtidega, kihistu alaosas sisaldab lubjakivi sageli ooide. Üksikud kihid on tugevasti dolomiidistunud, sellised kivimid muudavad aja jooksul värvi ja muutuvad pruunikaks. Vão kihistu lubjakivi on suhteliselt savipuhast ja on edukalt kasutatud vastupidava ehituskivina. Varem murti ehituskivi paemurdudes käsitsi ja kogu läbilõige on jagatud kihtideks, millest igäühele on antud oma nimi vastavalt sellele, kui sitke või kõva see murdmisel oli (Einasto, 1999).

Väo kihistu kõvades lubjakivides esineb Pakri poolsaarel hulgaliselt tektoonilisi lõhesid, mis on täidetud õhukeste, kuni 2-3cm, kaltsiidi-püriidi soontega. Lõhetäited esinevad sagedamini kirdesuunalistes, NE 45-58° lõhedes, harvem loodesuunalistes NW 298-305° lõhedes. Ilma kasvukihita paepeelsel ja vanades karjäärides on pikemad loodesuunalised lõhed, harva esinevad piki neid vertikaalsed ja horisontaalsed väikeseamplituudilised nihked. Mõnikord lubjakivid piki lõhesid pragunenud kuni 1-2cm ulatuses, mis võib viidata tugevale maavärinale Pakri poolsaarel pärast jääaegsete aastatuhandete jooksul.

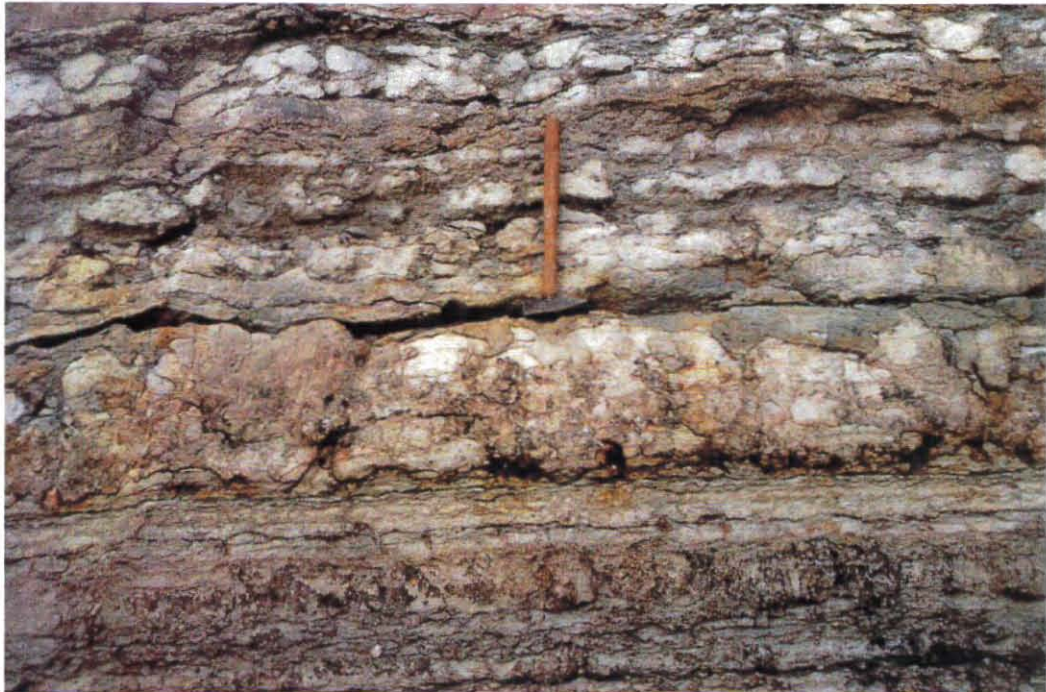
Aseri lade (O₂as) on Pakri poolsaarel õhuke, vaid 20cm ja koosneb savikast lubjakivist, milles esineb mergli kelmeid ja hulgaliselt pruune teralisi raudoode. Lademe alumine osa on savikam ja siin on ootide vähem, ülemine osa on puhtam ja arvukate ooididega. Tugevate katkestuspindade vahel võib kihistu kohati läbilõikes puududa (Einasto, 1996).



Joonis 1.5. Aseri lademe raudooididega lubjakivi.

Kunda lade (O₂kn) on esindatud siin peamiselt Pakri kihistuga, mille paksus on umbes üks meeter (Puura, 2004). Kivim on muutliku ehitusega, koosneb savikast kerogeenselt lubjakast liivakivist, mis sisaldab nõrgalt kerogeense liivaka lubjakivi mugulaid ja läätsjaid vahekihte. Ussikäikudes ja läätsjate katkendlike vahekihtidena esineb lubjakivides kukersiiti. Kohati sisaldab aleuriitjas lubjakivi glaukoniiti. Lademe alaosas täheldatakse sageli omapäraseid eriilmelisi purustatud lubjakive, mis on tsementeeritud bretšalaadse lubjaka liivakiviga, nn settesoontega. Settesooni on püütud mitmeti seletada, mõni aeg tagasi seostati neid Neugrundi madala piirkonnas toimunud meteoriidiplahvatusega. Pärast sukeldumist kraatrisse on selgunud, et plahvatus pidi toimuma varem, kuna seal leidub Alam-Ordoviitsiumi vanimas osas esinevat diktüoneema kilta. Liivakatel kihipindadel

leidub hulgaliselt roomamisjälgi. Sageli esinevad trilobiitide jäänused ja suure peajalgse molluski *Orthoceras vaginatum* silinderjad kojad. Lademe alumist piiri tähistab intensiivse fosfaatse impregnatsiooniga katkestuspindade seeria, mille peal võib kohata hästi ümardatud lapikuid lubjakiviveeriseid. (Einasto, 1996)



Joonis.1.6. Kunda lademe liivakad lubjakivid, mis sisaldavad õhukesi kukersiidi läätsi ja vahekihikesi. Pakri poolsaar, Uuga pank.

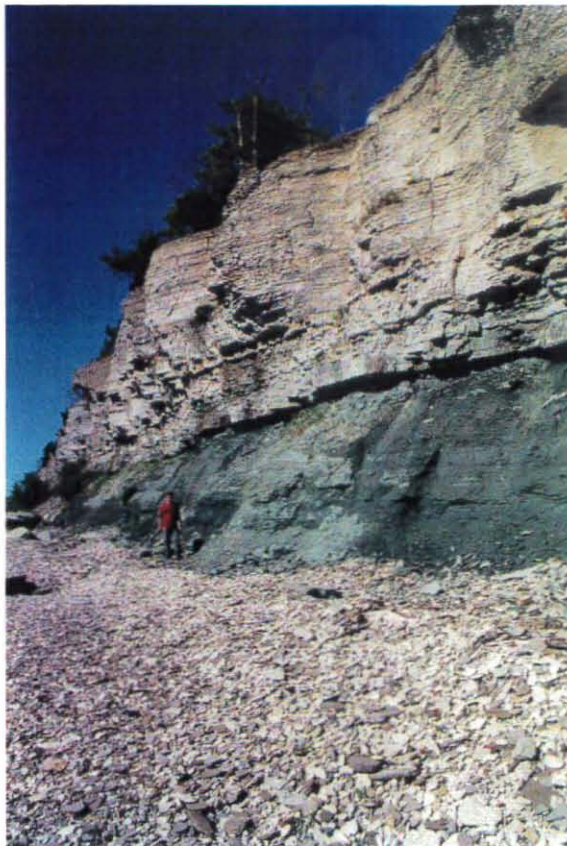
Volhovi lade (O₂vI) on Põhja-Eestis esindatud Toila kihistuga, mille paksus Pakri poolsaarel on 1,3m (Puura, 2004). Kihistu koosneb glaukoniiti sisaldava, kohati dolomiidistunud lubjakiviga. Ülemises osas on lubjakivi helehall, tihe ja massiivne, vähese peene detriidiga, keskel võib kohata mergli vahekihte, alumine osa koosneb enamasti kihilisest glaukoniitlubjakivist (Einasto, 1996). Merglilistel vahekihtidel leidub sageli kohati massiliselt trilobiitide jäänuseid. Lade eristub selgesti teistest oma glaukoniidi sisalduse ja lubjakivilise koostise järgi. See on esimene lubjakivi kiht Eesti aluskorras.

1.2.1.2. Alam-Ordoviitsiumi ladestik (O1)

Alam-Ordoviitsiumis paiknes Baltica ürgmanner veel lõunapoolkeral, suhteliselt külma kliimaga parasvööndis ja alles liikus soojemate laiuskraadide suunas. Ladejärk hõlmas ajavahemikku umbes 16,5 mln aastat, mille jooksul ladestusid ala katnud jahedas meres, mida nimetatakse ka Paleobalti mereks, liiva ja savi setted. Need sisaldavad palju vähem kivistisi, kui Kesk-Ordoviitsiumi lubjakivid. Mõnevõrra erandiks on Ordoviitsiumi vanima – Pakerordi lademe liivakivid, milles on kohati rikkalikult fosfaatse kojaga käsijalgse

Ungula karbipoolmikke. Ülgasel, Maardus ja mitmes kohas Ida-Eestis moodustavad nn. karbid oobolusfosforiidi läätsjaid lasundeid.

Alam-Ordoviitsiumi ladejärgus eraldatakse välja Billingeni, Hunnebergi, Varangu ja Pakerordi lade. See on kivimilise koostise poolest ilmselt kõige kirjum ja mitmevärvilisem aluspõhja kivimikompleks Eestis. Enamus kivimeid erinevad üksteisest nii värvi kui koostise poolest. Pakri poolsaarel paljanduvad nad läänerrannikul alates umbes 200m kaugusel Põhjasadamas rannajärsaku alumises otsas. Uuga panga põhjapoolses otsas paljandub ülemine glaukoniidirikas osa juba täielikult. Pakerordi ja Leetse pangal paljandub ladestik täies ulatuses, koos oma lasumi ja lamamiga (Nestor jt., 2006; Kink, 2000). Leetse pank on eemaldunud rannast ja suures osas kinni kasvanud, Pakerordi pangal on kogu läbilõige jälgitav Pakri neeme tipu mõlemal küljel peaaegu vertikaalse 24,5m kõrgusel seinal. Ordoviitsiumi lasumiks Pakri poolsaarel tuleb lugeda Kambriumi ladestu Tiskre kihistu helehalle liivakivisid, mida katavad liivakivipangastest basaalsed konglomeraadid. Mõnel juhul võib konglomeraatide vahelistes nõgudes leida mõne sentimeetri paksuseid fosforiidi läätsi. Ka esineb basaalkihist ülevalpool liivakivides pruunivärvilisi, kuni 2cm paksusi diktüoneema kilda laadseid kaldkihikesi, mis viitavad teatud ühtsetele settimistingimustele Pakerordi lademe Türisalu kihistuga.



Joonis 1.7. Hunnebergi lademe tumerohelised glaukoniitliiva-kivid on ideaalseks markeerivaks kihiks peaaegu üle kogu Eestimaa. Aga nad on ka põhjuseks, miks Pakri poolsaare läänerrannik nii kiiresti langeb. Kui pude liiv lubjakivide alt lainetega välja uhutakse, kukuvad lõhelised paelahmakad alla juba oma massi arvel. See-eest on paljand puhas ja igasugusteks vaatlusteks ning uuringuteks valmis.

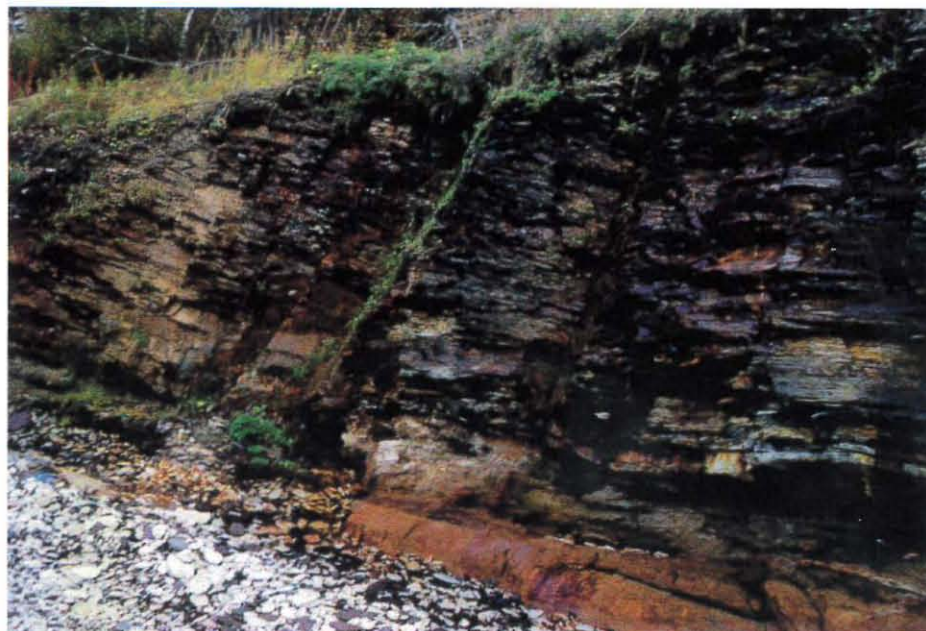
Billingeni lade on üleminekuline Hunnebergi lademe glaukoniitliivakivi ja Volhovi lademe glaukoniiti sisaldava lubjakivi vahel. Lademe paksuseks loetakse vaid 0,2m. Lade koosneb rohelistest aleuriidist ja glaukoniitliivakivist, milles esineb juba lubiainest vähesel hulgal (Nestor et al., 2006).

Hunnebergi lade paljandub 4meetri paksuse rohelise glaukoniitliivakivi lasundina. Märjumisel muutub kivim voolavaks ja seepärast ei ole läbilõikes lasumis asuv Varangu lademe õhuke savikiht tavaliselt nähtav. Eriti roheline on kivim märjumisel. Kivim ei ole kogu ulatuses ühesugune, peenemateralised aleuriidid, mis sageli on paljandis erakordselt peenekihilised, vahelduvad jämedateralisemate glaukoniitliivakividega, milles esineb hulgaliselt püriidi konkretsioone, läbimõõduga mõnest sentimeetrist kuni 10cm. ga, nii pigem glaukoniitlubjakivi. Hunnebergi lademe glaukoniitliivakivi on läbilõikes kergesti tuntav. Ta levib hästi jälgitava markeeriva kihina ulatuslikul alal. Lademe alumine osa on tugevalt tsementeerunud ja massiivne, basaalkiht on tavaliselt väga savikas, sest lamab vahetult Varangu lademe savidel (Einasto, 1996).

Varangu lade on peaaegu ainus Ordoviitsiumi savist koosneb kiht. Pakri poolsaarel on hinnatud Varangu lademe paksuseks 0,5m, Tallinnas KUMU stüendis ei ületanud helehallide sinakasroheliste savide paksus 0,2m. Suurema paksuse korral võib lade koosneda erinevatest kihtidest, all liivakas peeneteraline aleuroliit glaukoniiditeradega, keskel lillakasbeež massiivne savi ja peal kirjuvärviline vähese glaukoniidiga peliitne aleuroliit, kihtide piirid on tavaliselt teravad. (Einasto, 1996).

Pakerordi lade koosneb kahest küllalt paksust kihistust, ülemisest Türisalu ja alumisest Kallavere kihistust. Lademe ülemise osa moodustab tumepruun, lehtjalt lagunev kiltsavi, mida varem on nimetatud diktoneema kildaks. Praegu eelistatakse rohkem sisule vastavat nimetust – kerogeenne argilliit. See kiltsavi moodustab Türisalu kihistu, mille paksus on Pakri poolsaarel 4,5m. Tegelikult on tegemist ühe põleva kivi erimiga, mille kütteväärtus on küll üsna madal, kuid see sisaldab selliseid haruldasi elemente, nagu uraan, vanaadium, molübdeen jt. (Raukas, Teedumäe, 1997). Türisalu kihistu kerogeense argilliidi puhul on tegu potentsiaalse maavaradega, mille kasulikuks komponendiks on kõigepealt kerogeen kui orgaaniline põlev aine, mida kilt sisaldab 9-18%, olles suurim Loode-Eestis. Kivimi põlemissoojus kõigub 800-1600 kcal/kg piirides, aga kui kihistu paksus on suurim, siis juba 1400-1600kcal piirides (Suuroja, 1997). Senini pole kerogeense argilliidi kui põleva maavara järgi vajadust olnud. Küll on kaevandatud seda argilliiti uraani saamiseks Sillamäe lähedal 1940.-1950.-ndatel aastatel. Eesti Geoloogiakeskuse vanemgeoloogi V. Peterselli arvates on see argilliidi lasund Euroopa suurim uraanimaardla ja võib tulevikus

olla oluliseks energiaallikaks tuumaenergeetikale, kui tekib veel suurem vajadus kütuste põletamise piiramisele (Petersell, 2006).



Joonis 1.8. Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeenne argilliit paljandub Pakri poolsaare põhjapoolses osas. Kihistu paksus ulatub 4,5m-ni. Argilliit lasub Kallavere kihistu põimkihilistel liivakividel, milles esineb ka argilliidi vahekihikesi. Pakri poolsaar, Pakerordi pank.

Kiltsavi lasund on küllalt ühtne, kuigi värsketes palades on sageli näha selgelt väljendunud paralleelne kihilisus, mõnikord võivad vahelduda ka heledamad ja tumedamad kihid. Üldiseks kogu lasundi jaoks on erakordselt kõrge radioaktiivsete elementide, kaaliumi, uraani ja tooriumi sisaldus. Ükski teine Eestis esinev kivim ei ole nii radiatsiooniohtlik, kui see kerogeenne argilliit.

Kerogeenses argilliidis esineb hulgaliselt püriidi läätsi ja soonekesi, mis oksüdeerudes värvivad paljandi pealispinna punakas-pruuniks, roostevärvi. Lasuvates põimkihilistes Kallavere kihistu liivakivides on ülemine, vahetult argilliidiga kokkupuutuv kiht tugevasti püriidistunud. Kuna liivakivis sageli säilib püriidistunud osas põimkihilisus, siis võib teha järelduse, et püriidistumine oli hilisem protsess ja tõenäoliselt seotud hüdrotermiliste lahustega. Kuumad vesilahused tõid kivimitesse rauarikast vett, mis settis välja orgaanilist ainet sisaldaval kiltsavil kui geokeemilisel barjääril, ning ladestus liivaterakeste vahelistes poorides. Kohati võib püriidirikka kivimikihi paksus ulatuda 30cm, kuid tavaliselt on mõnest kuni 10-15cm-ni ka Pakri poolsaarel.

Kallavere kihistu on Pakri poolsaarel esindatud ülaosas pruunikate püriidistunud, sageli põimkihiliste liivakividega, mille kogupaksus ulatub 3,7m-ni (Nestor jt., 2006). Liivakihis esinevad õhukesed kiltsavi vahekihid, mis sageli on kaldu ja moodustavad kihilisusega

nurga 10-15 kuni 35-40°-ni. Pakri poolsaare läbilõikes liivakivis praktiliselt puuduvad lukuta brahiopoodide (ooboluste) karbipoolmed ja nende fragmendid (detriit). Liivakivi koosneb alumises läbilõike osas peamiselt kvartsist, on nõrgalt tsementeeritud, värvuselt helehall kuni tumehall ja selles esineb õhukesti, mõnest mm kuni mõnekümne cm, pruuni

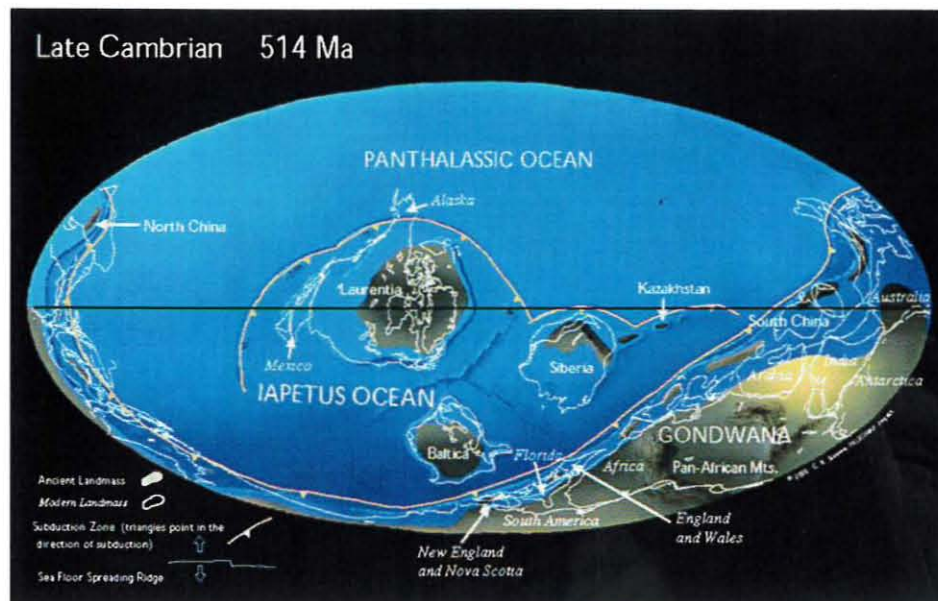


Joonis 1.9. Kallavere kihistu põimkihilised liivakivid. Liivakivide ja argilliidi vahelisel piiril on toimunud kivimite ulatuslik püriidistumine. Protsess oli hilisem, püriidistunud kihis on säilinud põimkihilisuus.

kerogeense argilliidi (diktoneema kilda) vahekihikesi. Kallavere kihistu alumisel piiril esineb Pakri poolsaare läbilõikes suurte liivakivi veeristega konglomeraat, mille peale alumised kiltsavi kihid hakkasid moodustuma ebatasasustega pinnal ja moodustavad ümber rahnude kurrutaolisi lookeid, mis kaovad ülalpool olevas läbilõikes. Seda konglomeraadi kihti loetakse Pakri neemel Ordoviitsiumi ja Kambriumi piiriks (Nõlvak, Hints, 2000).

1.2.2. KAMBRIUMI LADESTU (C)

Kambriumi ajastu kestis ajavahemikus 488,3±1,7 kuni 542,0±1.0mln a tagasi ja selle kestus oli 53,7mln aastat. See on kõige vanem Fanerozoikumini ladestu, mis hõlmab peaaegu ühe kümnendiku kogu eoonist. Kambriumi ajastuga algab uus etapp Maa geoloogilises ajaloos, algab kiire loomastiku ja taimestiku areng, veel küll meredes ja ookeanides, maismaa jäi veel asustamata.



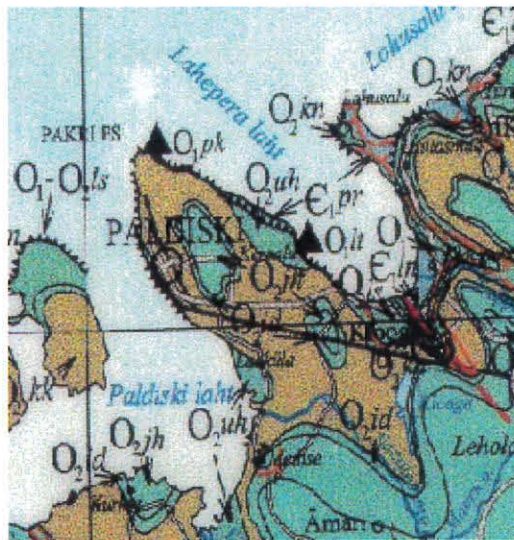
Joonis 1.10. Kambriumi ajastul oli Baltika ürgmanner veel lõunapooluse lähedal, ta alles alustas oma teekonda ekvaatori poole. Külmas kliimas said moodustuda vaid liiva ja savi setted (www.scotese.com).

Pakri poolsaarel paljanduvad Kambriumi ladestu kivimid võid poolsaare põhjapoolses otsas, allpool Ordoviitsiumi basaalseid konglomeraate. Klindi alumine osa esindatud Alam-Kambriumi Tiskre kihistu nõrgalt tsementeeritud liivakividega (Nestor jt, 2006).

1.2.2.1. Alam-Kambriumi ladestik (C₁)

Tiskre kihistu paljanduva osa paksus on Pakri poolsaarel umbes 4meetrit ja kuulub Rannamõisa kihistiku koosseisu. Kihistik on esindatud siin heledate valkjate ja kollakate peeneteraliste liivakividega, ilma savika aleuroliidi vahekihtideta, mida mõnikord võib kohata suurtes kihistu paljandites Rannamõisa ja Suuripi vahelisel alal. Tiskre kihistu on intensiivse lainetuse mõjuvõondis kujunenud madalmere sete, mis peaaegu ei sisalda elusorganismide jäänuseid. Liivakivis esineb sageli hajutatult püriiti (Pirrus, 2001), mis oksüdeerub hapnikulises keskkonnas ja värvib kivimi roostevärviliseks.

Lontova sinisavidest hiljem moodustunud liivakivid on juba hoopis teise elustikuga. Lisaks rohketele mudasroomavatele organismidele ilmuvad esimesed karpjat kaitsekoda omavad käsijälgsed ja molluskid, aktiivselt liikuvate lühijalgsete eellased trilobiidid ja mitmed teisedki (Pirrus jt., 2006).



Joonis 1.11. Pakri poolsaare aluspõhja geoloogiline kaart (Eesti aluspõhja geoloogiline kaart, Suuroja)

O₂kl – Keila lade

O₂jh – Jõhvi lade

O₂id – Idavere lade

O₂kk – Kukruse lade

O₂uh – Uhaku lade

O₂ls – Lasnamäe lade

E₁ln – Lontova lade

E₁pr – Pirita lade

O₂kn – Kunda lade

2. LOODUSLIK RADIOAKTIIVSUS, SELLE KESKKONNAOHTLIKKUS JA MÕÕTEAPARATUUR

Inimene ja teda ümbritsev aine koosneb aatomitest, mis kõik on põhimõtteliselt sarnase ehitusega. Iga aatom koosneb tuumast ja selle ümber tiirlevatest elektronidest, mille arv on erinevate elementide juures erinev. Aatomite tuuma moodustavad prootonid ja neutronid. Enamus aatomituumi on püsivad, eriti need, mille aatommass jaguneb neljaga. Sellised on näiteks hapnik, magneesium, räni, kaltsium jt. Selliseid aatomituumi tähistas A. Fersman sümboliga $4q$, kus q on täisarv. Elemendid aatomituumaga $4q$ moodustavad 86,3% maakoore massist. Enam püsivad on tuumad, mis koosnevad väikesest arvust ja seejuures paarisarvust prootonitest ja neutronitest. (Perelman, 1979). Ainult 9 elemendi sisaldus on maakoore suurem kui 1%, kõik nad paigutuvad Mendelejevi tabeli ülemises osas. Hapniku (O) sisaldus maakoore on 53,39%, järjekorra number 8, vesinik (H) – 17,25%, No 1, räni (Si) – 16,11%, No 14, alumiinium (Al) – 4,80%, No 13, naatrium (Na) – 1,81%, No 11, magneesium (Mg) – 1,72%, No 12, kaltsium (Ca) – 1,41%, No 20%, raud (Fe) – 1,31%, No 26, kaalium (K) – 1,05%, No 19, süsinik (C) – 0,51%, No 6, titaan (Ti) – 0,22%, No – 22%, kloor (Cl) – 0,10%, No 17. Need nimetatud 12 elementi moodustavad 99,68% maakoore koostisest. Kõigi ülejäänud 80 loodusliku elemendi arvele jääb 0,32% maakoorest (Bulah, 2002).

Suure aatommassiga tuumade iseärasuseks on nende omadus iseseisvalt laguneda, eraldades suure energiaga osakesi ja elektromagnetilist kiirgust. Seda aatomituumade omadust nimetatakse **radioaktiivsuseks**. Kuuest Mendelejevi tabeli lõpuelemendist on neli radioaktiivsed: radoon (Rn) – No 86, raadium (Ra) – No 88, toorium (Th) – No 90 ja uraan (U) – No 92.

Radioaktiivse lagunemise käigus tekivad uued aatomituumad, elektromagnetiline kiirgus ehk gammakvandid ja vabanevad suure energiaga osakesed, mis on võimelised ioniseerima ümbritsevat ainet. Seepärast seda kiirgust nimetatakse ka **ioniseerivaks kiirguseks**.

2.1. Radioaktiivsuse kui loodusliku nähtuse avastamine

Radioaktiivse avastuslugu osutus seotuks röntgenikiirguse olemuse selgitamisega. 1896.a oletas prantsuse füüsik A. H. Becquerel, et võib-olla on röntgenikiired põhjustatud fluorestsentsist klaasist röntgenitorus. Ta otsustas kontrollida, kas fluorestseerivad ained kiirgavad kiiri, mille omadused on röntgenikiirte omadustega sarnased. Uurimiseks võttis Becquerel uraanisoola, mis fluorestseeris rohekaskollase värvusega. Fluorestsentsi

esilekutsumiseks kasutas ta soola paigutamist eredasse päikesevalgusesse. Sellisel viisil ergastatud uraanisoola asetati füüsik musta paberi sisse mähitud fotoplaadile. Tulemuseks oli tumenenud fotoplaat. Hiljem avastati Becquereli laboratooriumis, see sool põhjustas fotoplaadi tumenemine ka ilma ergastamata. Hiljem tegi Becquerel katseid juba selliste uraani sooladega, mis ei fluorestseeri ning veendus, et ka sellised soolad kutsuvad esile fotoplaadi tumenemise. Nii avastas Becquerel nähtuse, mida abielupaar P. ja M. Curie ettepanekul hakati nimetama **radioaktiivsuseks**. Nad nimetasid radioaktiivseteks kõiki aineid, mis ilma välise mõjutamiseta iseseisvalt kiirgasid.

2.2. Radioaktiivsuse omadused ja mõju elusloodusele

Radioaktiivsuse avastamisest on möödunud vaid pisut enam kui sada aastat, selle aja jooksul on aatomituumade lagunemise energiat õpitud kasutama tuumaelektrijaamades, kosmiliste aparaatide energiaallikana, meditsiinis, aga ka võimsa tuumarelvana.

Radioaktiivsel kiirgusel on tugev bioloogiline ja keemiline mõju, ta ioniseerib gaase, kutsub esile vedelike ja tahkete kehade luminesentsi ning tungib läbi paljudest materjalidest. Radioaktiivse aine temperatuur on alati kõrgem teda ümbritseva keskkonna temperatuurist, mis näitab, et radioaktiivsus on seotud pideva energia eraldumisega. Isegi suurte graniitide batoliitide ümber, nagu Viiburgi ja Riia massiiv, mis sisaldavad maakoore keskmisest enam uraani ja tooriumi, levivad ulatuslikud soojuse anomaaliad.

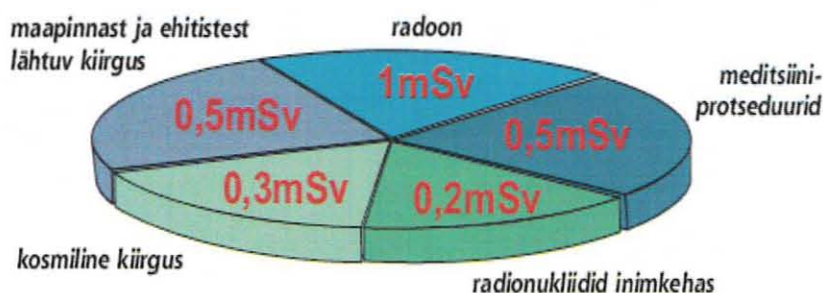
Radioaktiivne kiirgus koosneb kolmest erinevast kiirguse liigist. α – kiirgus, β – kiirgus ja γ – kiirgus on suurim läbimisvõime ja ta kujutab endast eriti lühilainelist elektromagnetilist kiirgust (lainepikkus $\sim 10^{-3}$ Å).

Looduslikes tingimustes eksisteerib 3 radioaktiivset rida: tooriumi rida, mille esimene liige on $^{232}_{90}\text{Th}$, poolestusajaga $1,39 \cdot 10^9$ aastat, uraani rida, mille esimene liige on $^{238}_{92}\text{U}$, poolestusajaga $4,5 \cdot 10^9$ a ja aktiiniumi rida, mille esimene liige on $^{235}_{90}\text{U}$ (nimetatakse aktiinouraaniks), poolestusajaga $8,9 \cdot 10^8$ aastat. Enamus radioaktiivseid isotoope on seotud uraani (U^{238}) ja tooriumi (Th^{232}) lagunemisproduktidega, kuid radioaktiivne kaalium (K^{40}), kaltsium (Ca^{48}) ja rubiidium (Rb^{87}) jt ei ole nendega seotud. Radioaktiivsed isotoobid tekivad ka Maa väliskihites kosmiliste kiirte mõjul toimivates tuumareaktsioonides.

2.3. Looduslik radioaktiivsus

Meid ümbritsevas keskkonnas pole kohta, kus puuduks radioaktiivsus. Inimene saab pidevalt väikseid kiirgusdoose looduslikest ning tehislisest allikatest. Tehislik kiirguse allikaid kasutatakse meditsiinis ja ka tööstuslikus tegevuses. Siiski inimeste poolt saadud

keskmistest doosidest 80% pärineb looduslikest allikatest. Kosmiline kiirgus pärineb Päikeselt, meie Linnutee galaktikast, aga ka kaugemalt kosmosest. Kosmilised kiired ulatuvad kõikjale. Kiirgustase suureneb kõrguse atmosfääri ülemistes kihtides, kaitsva õhukihi paksus väheneb. Looduslikud radionukliidid satuvad pinnasest ja õhust taimede kudedesse, taimse toidu kaudu loomadesse ning lõpptulemusena ka inimese organismi. Radionukliidid esinevad ka pinna- ja põhjavees, kust samuti joogiveena võivad sattuda elusorganismidesse.



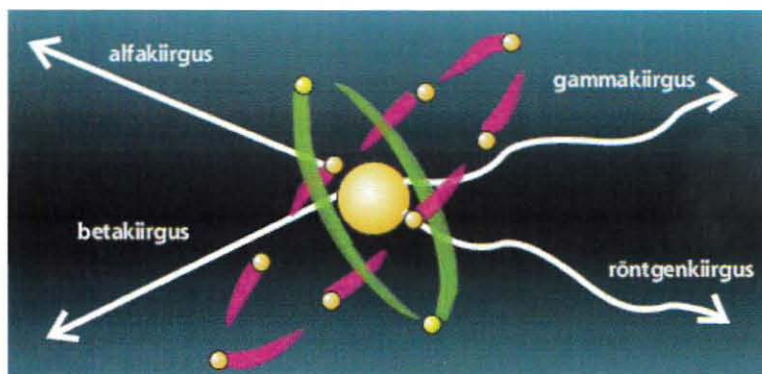
Joonis 2.1.
Radioaktiivsuse allikad.
(Ioniseeriv ..., 2004)

Seega looduslik kiirgus hõlmab maapinnast lähtuvat ja kosmilist kiirgust ning lisaks kiirgust, mille põhjustavad toidus, vees ja õhus olevad radioaktiivsed ained. Maakoos ja pinnases esinevad mitmed radioisotoobid, mis on seal paiknenud alates maakera tekkimisest. Sellisteks radioisotoopideks on näiteks uraan ja toorium koos tütarproduktidega ning radioaktiivne kaalium. Looduslik radioaktiivsus pinnases sõltub suurel määral pinnase tüübist ja tihedusest ning mineraalsest koostisest. Eestis on tavaliselt kiirgusfoon kõrgem kerogeenset argilliiti, fosforiiti ja granitoide sisaldavas pinnases. Looduslikust kiirgusest põhjustatud summaarsest doosist enamuse (>50%) annab radoon, lõhnatu ja värvitu gaas, mis tekib uraani ja tooriumi lagunemisel ning esineb peaaegu kõigis pinnasetüüpides.

Alfakiirgus on kahest protonist ja kahest neutronist koosnevate nn alfaosakeste voog. Alfaosakesed omavad suurt energiat, on suhteliselt rasked ning neelduvad aines kiiresti, lainepikkus õhus ei ületa paari santimeetrit. α - osakesed on võimelised imbuma läbi naha ainult välimistesse kihtidesse. Paberileht on nende jaoks läbimatu. Kiirgavaid osakesi võib sisse hingata või süüakse toiduga (õhu, toidu või joogi koostises, kiiritus seestpoolt), siis see on ohtlik. Radoon ja tema tütarproduktid emiteerivad alfa-, beeta- ja gammakiirgust.

Beetakiirgus on suure energiaga elektronide voog. Beetakiirgus on palju suurema läbimisvõimega, laine pikkus õhus on paar meetrit. β - osakesed on võimelised imbuma läbi naha organismi kudedesse kuni ühe sentimeetri sügavusele. β - osakesed tekitavad tõsist ohtu nahale, silmadele ja teiste välistele organitele. Elektronide neeldumiseks on vaja mitme millimeetri paksust plastmassist lehte või puitplaadi. Beetakiirgus toimib samuti peamiselt sissehingamise või sissesöömise kaudu.

Gammakiirgus on gammakvantide voog, mis kujutab endast eriti lühilainelist elektromagnetilist kiirgust (lainepikkus $\sim 10^{-3}$ Å). Gammakvandid on väga suure läbimisvõimega ja neid suudab peatada alles 5sentimeetri paksune pliikiht või poolemeetrine kivi- või betoonikiht, aga ka vesi. **Röntgenkiirguse** moodustavad kõrge energiaga footonid (sarnased gammakiirgusele), mida kutsutakse esile kunstlikult elektronikiire järsu pidurdamisega. Röntgenkiirgus on samamoodi suure läbimisvõimega ja ilma tiheda materjali kaitsekihita võib see põhjustada siseelunditele suuri kiirgusdoose.



Joonis 2.2. Radioaktiivsuse liigid. (Ioniseeriv..., 2004)

Kosmiline kiirgus tuleb avakosmosest. See on segu mitmetest erinevatest kiirguse liikidest, seal hulgas prootonid, alfa-osakesed, elektronid ja teised erinevad suure energiaga osakesed. Kõik need osakesed on tugevas vastastik mõjus atmosfääri osakestega ning selle tulemusel moodustavad kosmilise kiirguse peamise osa maapinnal müüonid, neutronid, elektronid, positronid ja footonid.

Kosmilised kiired on peamiselt teadmata kosmilise päritoluga ja väga kõrge energiaga prootonid, mis jõuavad meie atmosfääri üsna muutumatus koguses. On teada, et mõned madalama energiaga prootonid saavad päikeselt ja eralduvad pursetena päikese loidete käigus. Prootonid on laetud osakesed, seetõttu satuvad nad atmosfääri sisenedes Maa magnetvälja – pooluste piirkonda satub neid rohkem kui ekvaatori alale, nii et doosikiirus suureneb laiuskraadi suurenedes. Atmosfääri tungides algatavad kosmilised kiired keerulisi reaktsioone ja neelduvad järk-järgult, nii et doosikiirus kahaneb kõrguse vähenedes. Kosmilised kiired on segu paljudest erinevat tüüpi kiirgustest, sisaldades prootoneid, alfaosakesi, elektrone ja teisi erinevaid haruldasi (kõrge energiaga) osakesi. On välja arvatud, et kosmisest kiirgusest põhjustatud aasta efektiivdoos maapinnal on keskmiselt umbes 0,3 mSv, mis varieerub sõltuvalt kõrgusest ja laiuskraadist. Enamik inimesi elab madalamatel kõrgustel ja saab seega kosmilise kiirguse sarnaseid aastadoose. Siiski leidub ka suurtes kõrgustes rahvastikurohkeid asustusi (nt. Andides, Himaalaja mägedes), kus elanikud võivad saada aastadoose, mis on mitu korda kõrgemad merepinna tasemel elavate inimeste aastadoosidest. Kosmiline kiirgus on lennukikõrgustel palju intensiivsem kui

maapinnal. Tavalised lennureisid põhjustavad täiendava keskmise aastadoosi 0,01 mSv, kuid see ei mõjuta maailma keskmist aastadoosi 0,4 mSv. (Kõiv, 2006)

Pinnase kiirgustaseme määravad pinnases olulisemate looduslike radioaktiivsete elementide uraani- ja tooriumirea elementide ning radioaktiivse ^{40}K sisaldus, nende jaotuse iseloom ja migratsiooni tingimused (Petersell, 2005). Elusloodusele on ohtlikum radoon (Rn), mis tekib U ja Th radioaktiivsel lagunemisel ning koosneb kolmest isotoobist – radoon-222 (^{222}Rn) ehk **radoonist**, radoon-220 (^{220}Rn) ehk **toroonist** ja radoon-219 (^{219}Rn) ehk aktinoonist. Looduslik uraan koosneb peamiselt kahest isotoobist – ^{238}U , mis moodustab 99,28% ja ^{235}U , mis moodustab ülejäänud 0,72%. Toorium (Th) koosneb praktiliselt 100%-lt isotoobist ^{232}Th .

Inimeste tervist ohutav Rn on peamiselt ^{238}U radioaktiivsel lagunemisel tekkiva ^{226}Ra vahetu lagunemise produkt ja on esindatud ^{222}Rn isotoobiga. ^{222}Rn poolestusaeg on 3,82 ööpäeva. ^{222}Rn poolt põhjustatud radioaktiivne kiirgus moodustab 93% kogu radooni poolt tekitatud kiirgusest, sellepärast on just selle isotoobi mõju elanikkonnale määrav. Edaspidi tekstis käsitletakse ^{222}Rn tinglikult radoonina (Rn).

Radooni ja ^{238}U keskmine sisaldus maakoos on vastavalt $n \cdot 10^{-10}$ g/t ja 2,5g/t. Kvaternaari setete kujunemisel ja kivimite murenemisel võivad uraan ning radioaktiivsel lagunemisel tekivad elemendid migreeruda erinevalt. Uraan migreerub aktiivselt külmas ja kuumas, neutraalses ja leeliselises vees lihtsate ning keeruliste ionide kujul. Sõltuvalt aeratsiooni, pH ja elektrijuhtivuse tingimustele uraan ja tema lagunemisproduktid kas hajuvad või kontsentreeruvad. Uraani ühendid on hästi lahustuvad oksüdeerivas keskkonnas ning raskesti lahustuvad taandamistingimustes.

Uraan (^{238}U) on iseloomulik element maakoore graniitsele kihile ja n settekivimitele. ^{238}U keskmine sisaldus on maakoos 2,5g/t, happelistes tardkivimites $3,5 \cdot 10^{-4}$ %, savides ja põlevkivis $3,2 \cdot 10^{-4}$ %, aluselistes kivimites $5 \cdot 10^{-5}$ %, Maa vahevöö ultraaluselistes kivimites $3 \cdot 10^{-7}$ % (BSE, 1977) (<http://bse.sci-lib.com/article114401.html>).

Radoon-222 (Rn) on uraani (U^{238}) radioaktiivse rea elemendi raadiumi (Ra) otsene lagunemisprodukt. Radoon on kõrgradioaktiivne, kantserogeenne ja mutatsioone tekitav element. Radoon on gaas, mis on 7,7 korda õhust raskem, ja levib peamiselt õhu kaudu, mille poolest ta erineb teistest radioaktiivsetest elementidest (Petersell, 2004). Värvitu ja lõhnata radoon kuulub inertsete gaaside hulka, ta ei osale keemilistes reaktsioonides. Radoon võib lahustuda vees, veres ja kudede vedelikes. Gaasiline olek annab radoonile suurema liikuvuse teiste uraanirea elementide seas. Tekkides uraani sisaldavas pinnases, kivimis või ehitusmaterjalis on radooni aatom võimeline liikuma aine pooridesse. Seal võib ta difusiooni teel edasi liikuda, võib olla edasi transporditud ka õhu ja veega. Kuna

radooni radioaktiivse lagunemise poolestusaeg on lühike 3,8 ööpäeva, siis difusiooni teel on tema levik suhteliselt piiratud. Maapinnast õhku pääsenud radoon hajub atmosfääris, tema sisaldus maapinnalähedases välisõhus tavaliselt alla 10-20Bq/m³. Õhuvahetus pinnase ja atmosfääri vahel on tavaliselt piiratud ja seetõttu on pinnasepoorides radooni kontsentratsioon mitmeid suurusjärke kõrgem. Tabelis 2.1. on toodud uraani-238 radioaktiivse lagunemisrida.

Tabel 2.1.

Uraani-238 radioaktiivse lagunemise rida

Isotoop	Radioaktiivne poolestusaeg	Radiatsiooni tüüp	Märkused
Uraan- 238 (U)	4,5 x10 ⁹ aastat	α – kiirgus	metall
Toorium-234 (Th)	24,1 päeva	β - kiirgus	metall
Protaktiinium-234 (Pa)	1,17 minutit	β - kiirgus	metall
Uraan- 234 (U)	2,24x10 ⁵ aastat	α – kiirgus	metall
Toorium-230 (Th)	8,0x10 ⁴ aastat	α – kiirgus	metall
Raadium-226 (Ra)	1620aastat	α – kiirgus	metall
Radoon-222 (Rn)	3,823 päeva	α – kiirgus	gaas
Poloonimu-218 (Po)	3,05 minutit	α – kiirgus	metall
Plii-214 (Pb)	26,8 minutit	β, γ – kiirgus	metall
Vismut-214 (Bi)	19,7 minutit	β, γ – kiirgus	metall
Poloonimu-214 (Po)	1,6x10 ⁻⁴ sekundit	α – kiirgus	metall
Plii-210 (Pb)	21,3 aastat	β - kiirgus	metall
Vismut-210 (Bi)	5,01 päeva	β - kiirgus	metall
Poloonimu-210 (Po)	138,4 päeva	α – kiirgus	metall
Plii-206 (Pb)	-	-	metall

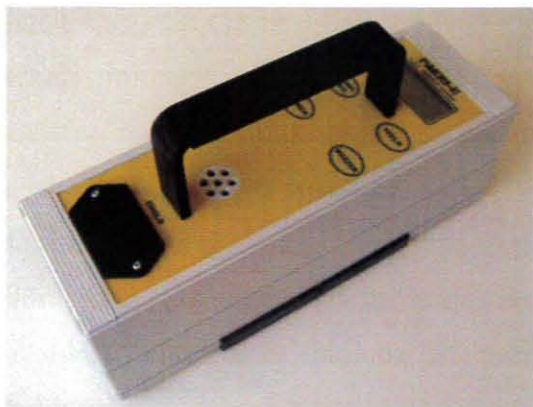
2.4. Radioaktiivse kiirguse mõõteaparatuur

Ioniseerivat kiirgust meeltega tajuda, kuid võime seda avastada ja mõõta kasutades erinevaid meetodeid ning vahendeid, mille seas on *fotofi lmid*, *Geiger-Mülleri torud* ja *stsintillatsioonloendurid*. Kasutatakse ka uuemaid tehnikaid, mis põhinevad näiteks *termoluminestseeruvatel materjalidel* ja *silikoondiodidel*. (Kõiv, 2006)

Loodusliku ja tehniliku radioaktiivsuse mõõtmise seadmeteks mitmesuguse ehituse ja otstarbega radiomeetrid ehk radioaktiivse kiirguse mõõdikud, mis mõõdavad kiirguse intensiivsust, dosimeetrid, mis mõõdavad neeldumiskoosi ja γ – spektrometrid, mis

määravad kivimites ja pinnastes peamiste radioaktiivsete elementide, U, Th ja K sisaldust.

Radiomeetri abil määratakse keskkonna kiirgustase ehk seade näitab, kas antud kohas



Joonis 2.1. Radioaktiivse kiirguse mõõdik (radiomeeter) Pakri-E.

viibimine on ohutu, lubatav või ohtlik. Et tuumaseadmetega töötamisel kaasneb paratamatult ka kiirgusoht, peavad sealsed inimesed olema pideva järelvalve all. Järelvalvet teostatakse kaasaskantavate dosimeetrite abil, mille näitu regulaarselt võrreldakse kehtivate kiiritusnormidega.

2.5. Radioaktiivsuse kiirguse mõisted ja ühikud

Radioaktiivsuse kiirguse intensiivsust mõõdetakse radiomeetriga, neeldumiskoosi ja bioloogilist efektiivdoosi aga dosimeetriga. Mõlemad riistad põhinevad õhu elektrijuhtivusel.

Kiirguse mõõtmine (dosimeetria) toimub nagu iga teinegi mõõtmisprotsess, mõõteriistade ja varem kokku lepitud ühikute kaudu. Suurusteks, mida mõõdetakse, on aktiivsus, kiirgusdoos, neeldumiskoos ja bioloogiline efektiivdoos.

Aktiivsus on kindla suurusega allika poolt ruumi kiiratava kiirguse mõõt. SI süsteemis on aktiivsuse ühikuks **bekrell (Bq)**, mis vastab ühele lagunemisaktile sekundis. See ühik on saanud nimetuse A. H. Becquereli järgi ning on väga väike ühik, varasemalt kasutatud **kürii** ($1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$) on võrdne 1 grammi puhta raadiumi aktiivsusega. Aine radioaktiivsust massi-, ruumala- või pindalaühiku kohta nimetatakse **eriaktiivsuseks**. SI järgi on eriaktiivsuseks ühikud vastavalt Bq/kg, Bq/m³, Bq/m². Neid ühikuid kasutatakse peamiselt radooni kontsentratsiooni väljendamiseks.

Kiirgusdoosi mõõdetakse bekrellsekundites (Bqs), saame, kui korrutame kiirguse aktiivsuse toimeaja kestusega. **Neeldumiskoos** näitab mingis keskkonnas neeldunud kiirgusele vastavat energiahulka. Ühikuks on **grei (Gy)**, mis vastab ühe dzauli suuruse energiahulga neeldumisele ühes kilogrammis aines st $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. Kasutusel on ka väiksem ühik **raad** ($1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$) ja ionisatsiooni astmest tuletatud ühik, 1 **röntgen** =

$1,6 \cdot 10^{12}$ ionipaari ühes grammis kuivas õhus normaaltingimustes, mis on õhus võrdne $0,878 \cdot 10^{-2}$ Gy. **Bioloogiline efektiivdoos** näitab kiirguse kahjustavat toimet inimesele; tema ühik **rem** (1rem = 0,01Sv) ongi lühend inglisekeelsest väljendist *rad equivalent man* (raadi inimekvivalent). Tavaliselt saadakse efektiivdoosi väärtus, kui korrutatakse füüsikaline doos (rad) kahjuteguriga, mille väärtus ulatub ühest kahekümneni, sõltuvalt osakeste tüübist ning energiast.

Ioniseeriva kiirguse liigid erinevad orgaanilistele ainetele avaldatava toime alusel, nii et võrdsed neeldunud doosid, mille all mõeldakse võrdset hulka üleantud energiat, ei tarvitse avaldada samasugust bioloogilist mõju. Näiteks alfakiirguse 1 Gy mõju koele on kahjulikum kui beetakiirguse 1 Gy mõju, sest aeglasem ja suurema laenguga alfaosake kaotab liikudes rohkem energiat, kuna tal on raskem kudet läbida. Niisiis on erinevat tüüpi ioniseeriva kiirguse potentsiaalse kahjulikkuse samal alusel võrdlemiseks vaja muud mõõtu. Selleks sobib *ekvivalentdoos*, mille ühik on *siivert* (sümbol Sv). Sageli kasutatakse siiverti kordseid nagu millisiivert ehk mSv, mis on üks tuhandik siivertit. (Kõiv, 2006)

Loodusliku kiirgusfooni keskmine intensiivsus vastab umbes 0.13rem/aastas (1rem = 0,01 Sv), kuid piirkonniti on see väga erinev. Eesti asub suhteliselt kõrge aktiivsuse piirkonnas. Skandinaavia, eriti Soome, on aga üks maakera radioaktiivsemaid piirkondi. Normaalseks loetakse taset kuni 0.5 rem/aastas. Kõige ohtumad on gamma-kvandid ja elektronid, ohtlikumaks loetakse α – osakesi ja raskeid ioone. Viimaste ohtlikkus seisneb peamiselt sekundaarse radioaktiivsuse tekitamises organismis olevate normaalsete stabiilsete elementide muundamise teel radioaktiivseteks isotoopideks.

Töödel radioaktiivsete ainetega ning tuumajõuseadmete hooldamisel on maksimaalne lubatud aastane doos kuni 5 rem. Surmavaks loetakse üle 400rem-list lühiajalist doosi (suremus 50%), 1000rem-line doos on surmav 90% juhtudest. Raske kiiritushaiguse võib põhjustada juba tunduvalt väiksem doos.

Mõned loomaliigid, näiteks kilpkonnad ja prussakad, on kiirguse suhtes vähetundlikud (<http://www.obs.ee/~jaak/loengud/teine/yksteist/kakskymmend1.html>). Kiirguskaitstes kasutatavaid ühikuid muudeti suhteliselt hiljuti (tabel 2.2).

Tabel 2.2.

Vanade ja uute radioaktiivsuse ühikute vastavus

Suurus	Vana ühik	Sümbol	Uus ühik	Sümbol	Suhe
Aktiivsus	curie	Ci	bekerell	Bq	$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
Neeldumisdoos	rad	rad	grei	Gy	$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$
Ekvivalentdoos (varem kasutati doosekvivalent)	rem	rem	siivert	Sv	$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$
Eriaktiivsus				Bq/m ³ , Bq/m ² , Bq/kg	$1 \text{ Bq/m}^3 = 2,38 \cdot 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ($48 \text{ Bq/m}^3 = 1 \mu\text{Sv/a}$)

Doosi piirmäärad

Doosi piirmäärad – kiirgustöötajatele ja elanikele põhjustatavate kiiritusdooside maksimumväärtused, mida kohaldatakse piiritletud ajavahemiku kestel väliskiiritusest saadud dooside ning sama ajavahemiku jooksul toimuvast sissevõtust saadava 50 aasta (lastel kuni 70 aasta) oodatavate dooside summa suhtes (Kiirgusseadus, 2004)

Tabel 2.3

Radioaktiivsuse doosi piimäärad

Parameetrid	Töötajad	Elanikud
Efektiivdoos	100 mSv/a (saadud efektiivdoos ei ole suurem kui 50 mSv/a)	1 mSv/a
Ekvivalentdoos	silmaläätses 150 mSv nahas keskmiselt 500 mSv naha pindala 1 cm ² kohta jäsemetes 500 mSv	silmaläätses 15 mSv nahas keskmiselt 50 mSv naha pindala 1 cm ² kohta

2.6. Loodusliku radioaktiivsuse ohtlikus

Elukeskkonna moodustavad peamiselt õhk, vesi ja pinnas. Pinnasena vaadeldakse ülemist 3-5m paksusust kihti, millega inimesed sagedamini kokku puutuvad ja kus asuvad keldrid, kaevud jne. Looduslikku keskkonda mõjutavad kosmiline ja pinnasest leviv radioaktiivne kiirgus. Vesi on tavaliselt kiirguse leviku summutaja. Kosmiline kiirgus pärineb väljaspool Maad paiknevast kosmilisest ruumist ja on esindatud praktiliselt γ – kiirgusega (Petersell, 2005). Vähemal määral võivad radioaktiivsed olla ehitusmaterjalid, kui nende juures on kasutatud kõrge radionukliidide sisaldusega komponente. Looduslikud radionukliidid satuvad pinnasest ja õhust taimedesse ja loomadesse ning jõuavad põhja- ja pinnavette. Toit, mida inimesed ja loomad söövad ja joovad sisaldavad samuti, kuigi tavaliselt vähesel hulgal, radionukliide. Need radioaktiivsete ainete kogused on siiski enamasti niivõrd

tühised, et nad tervisele praktiliselt mõju ei avalda. Inimesed ise on ka radioaktiivsed. Inimese keha sisaldab alati radioaktiivseid elemente ca $10^{-5}\%$, kusjuures luudes esineb raadium ja poloonium, lihastes radioaktiivne süsinik ning kopsudes tritium. Ioniseeriv kiirgus ümbritsevas keskkonnas on tavaline ja seepärast on inimene hästi kohanenud eluks väikeste kiirgusdoosidega keskkonnas. Maa erinevates piirkondades on looduslik foon erinev, kusjuures erinevused võivad olla mitmekordsed. Eesti kuulub piirkonda, kus looduslik kiirgusfoon on väga madal. Looduslikest allikatest saab inimene aastas keskmiselt 2-4mSv suuruse kiiritusdoosi. Kutsekiirituse maksimaalne doos on 5ber/a. Ber (e. inglise keeles rem) on röntgeni bioloogiline ekvivalent ja vana ekvivalentdoosi ühik 100ber ehk 100rem = 1Sv.

Uraan ja tema ühendid on väga toksilised ained, nad jõuavad loomade ja inimese organismi seedekulglasse söögi ja joogi kaudu, kompsudesse ja hingamisteedele õhu sissehingamisel, osaliselt ka nahkkate ja limaskestade kaudu. Keskmise uraani sisaldus inimese organismis on $9 \cdot 10^{-8}$ g. Need ained imenduvad seedekulglas, umbes 1% lahustatavatest ühenditest ja vähem kui 0,1% raskestilahustuvatest. Kopsudes imenduvad ühendid vastavalt 50 ja 20% ulatuses. Uraan kontsentreerub organismis ebaühtlaselt, kuid avaldab mõju kõigile organitele ja kudedele. Uraani ladestumine toimub peamiselt põrnas, neerudes, skeletis ja maksas, õhuga sissehingamisel ka kopsudes ja bronhides. Veres uraan kaua ei tsirkuleeri (БСЭ, 1978).

Kaasaja meditsiini seisukohalt on Rn ja tema lagunemisel tekkivad tütarelemendid olulised kopsuvähi põhjustajad. Erinevates maades tehtud uuringud on näidatud, et Rn sisalduse tõus eluruumide siseõhus üle foondoose sisalduse suurendab iga 100 Bq/m³ kohta kopsuvähi riski 9 kuni 15%ja enamgi. Eriti ohtlik on Rn suitsejatele. Organismi kaduvad täiendavalt ka õhus hõljuvatele suitsuosakestele ladestuvad Rn tütarelemendid.

3. PAKRI POOLSAARE PINNAKATTE JA ALUSPÕHJA KIVIMITE

LOODUSLIK RADIOAKTIIVSUS

Pakri poolsaare läänepoolne rannajärsak kujutab endast unikaalset Paleosoikumi läbilõiget, kus paljanduvad Eesti aluspõhja kivimiliselt kõige mitmekesisem osa, alates Ordoviitsiumi ladestu Uhaku ja Lasnamäe lademe lubjakividest ülemises osas kuni Kambriumi ladestu Tiskre kihistu Rannamõisa kihistiku liivakivideni. Aluskorra kivimeid katab õhuke, alla 5m paksune, pinnakatte kiht. Üldisel looduslikul radiatsiooni foonil eralduvad läbilõikes välja suurema radioaktiivsete isotoopidega kihid, nagu Hunnebergi ja Billingeni lademe glaukoniitliivakivi (glaukoniidis on 4 kuni 9,5% K_2O , milles radioaktiivse isotoobi ^{40}K sisaldus on 0,0119%), Alam-Ordoviitsiumi Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeenne argilliid sisaldab uraani Pakri poolsaare lähedases Klooga puuraugus No 159 44-171g/t (V. Peterselli publitseerimata andmed), tooriumit – 7-13g/t, K_2O peaaegu 8% (Kiipli jt., 2000). Ülejäänud aluspõhja läbilõike kivimid sisaldavad radioaktiivseid isotoope ligilähedaselt maakoore keskmise sisalduse tasemel. Võrreldavate andmete saamiseks teostati kõik mõõtmised ühe radioaktiivse kiirguse mõõdikuga Pakri-E, mis on valmistatud Eesti firma „Englo” poolt 2006.a No 0760506. Radioaktiivse kiirguse mõõdik oli kalibreeritud Lätis, Läti Rahvusliku Metroloogiakeskuse Radiatsiooni Metroloogia ja Katsetuskeskuses Salaspilsis, 17.novembril 2006.a. Kalibreerimisfaktor etaloni tasemel $0,733\mu Sv/h \pm 3,3\%$ on $0,981 \pm 5,3\%$, etaloni tasemel $7,12\mu Sv/h \pm 2,8\%$ on $0,949 \pm 3,0\%$. Kuna mõõdetavad radioaktiivse kiirguse doosid kusagil ei ületanud $2\mu Sv/h$ ja on kõige lähemal esimese etaloni tasemele, siis viga 1,9% jääb mõõtmistäpsuse piiridesse ($\pm 5,3\%$), siis vajadust kasutada kalibreerimisfaktorit tulemuste läbikorrutamiseks ei olnud. Käesolevas töös on seega kasutatud vaid vahetult mõõdetud kiirguse näitajaid. See lihtsustas oluliselt tööd.

3.1. Radioaktiivse kiirguse mõõdik Pakri – E

Radioaktiivse kiirguse mõõdik PAKRI-E on portatiivne seade γ – kiirguse, summaarse β - ja γ - kiirguse või α -, β - ja γ - kiirguse taseme määramiseks nii ühtlase fooni kui ka lokaalsete kiirgusallikate puhul. Seade on kasutatav välistingimustes töötemperatuuride vahemikus $-15^\circ C$ kuni $+35^\circ C$. Summaarse kiirguse mõõtmisel eemaldatakse α - ja β -kiirguse filter. Need asetsevad seadme all ja võimaldavad mõõta määrata ka kiirgusallika suunda, st otsida looduslikke või tehnogeenilisi radioaktiivseid objekte. Mõõtmisel on

võimalik kasutada kaht mõõterežiimi, normaalset või täppisrežiimi. Normaalrežiimil kuvatakse tablool viimase jooksva 4 sekundi keskmine radiatsiooni tase ja näitu uuendatakse iga 2 sekundi möödumisel. Täppismõõtmisel kuvatakse tablool viimase jooksva 30 sekundi keskmine radiatsioon tase ja näitu uuendatakse iga 2 sekundi järel. Täppisrežiimi soovitatakse kasutada eriti madalate kiirgustasemete mõõtmisel (Internet: www.englo.ee).

Seade on kalibreeritud γ – kiirguse mõõtmiseks, seega tuleb eemaldatud filtritega töötada ainult kuvamisrežiimil pulssi minutis, mida hiljem on lihtne ümber arvutada radiatsiooni tasemeks $\mu\text{Sv/h}$: 55 – 85 pulssi vastab 0,08 – 0,12 $\mu\text{Sv/h}$. Näidud kuvatakse alguses 1,5 pulsina minutis ja neist suuremad kõik 15-pulsiliste intervallidega. β - ja γ - kiirguse mõõtmiseks asetatakse seade õhukesse kilekotti, millest α - kiirguse läbi ei lähe. Summaarset α -, β - ja γ - kiirgust mõõdetakse avatud filtritega. Kiirgustaseme muutust saab lihtsalt hinnata juba helisignaali sageduse muutuse järgi, seepärast kõrge radioaktiivsusega objektide mõõtmisel peab helisignaal olema alati sisse lülitatud, et vältida suurte kiirgusdooside saamist. Igale detektori poolt registreeritud osakesele vastab üks heli-impulss.

Kuna normaalse foonilise kiirguse tekitab suures osas Maale jõudev kosmiline kiirgus, siis tuleb arvestada sellega, et kosmiline kiirgus on ajas ja ruumis väga ebaühtlane ning võib oluliselt mõjutada mõõtmisandmeid. Seadme kasutusõpetuses soovitati madalate kiirguse tasemete juures (kuni 0,5 $\mu\text{Sv/h}$) võtta täpse mõõtetulemuse saamiseks aritmeetiline keskmine vähemalt 10 järjestikusest näidust, mis on võetud 30 sekundilise intervalliga.

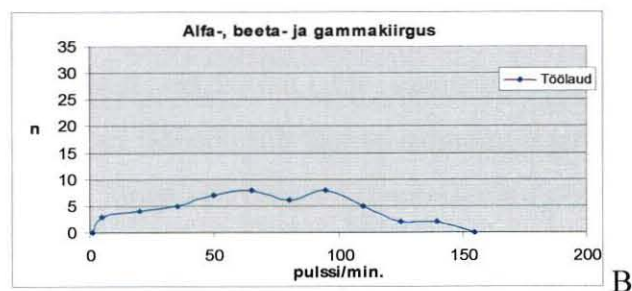
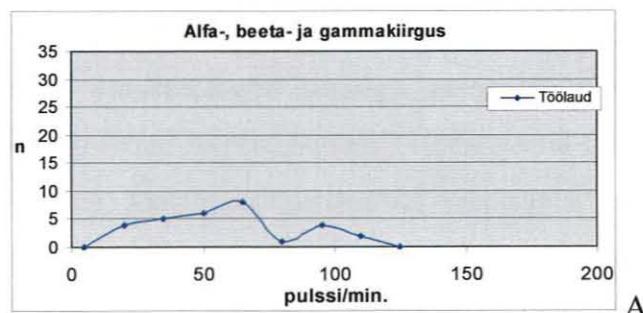
Enne välitöödele sõitu proovisime seadme tööd erinevatel kivimipaladel ja režiimidel, suletud filtritega ja ilma filtriteta nii labori tingimustes kui ka paljandites ning graniitsetel rahnudel, mille radioaktiivse kiirguse tase võib tavalisest foonist olla kuni 3-4 korda kõrgem. Seade on väga tundlik radioaktiivse kiirguse suhtes, suhteliselt lihtne käsitluses ja annab täpseid tulemusi kiirgustasemete kohta.

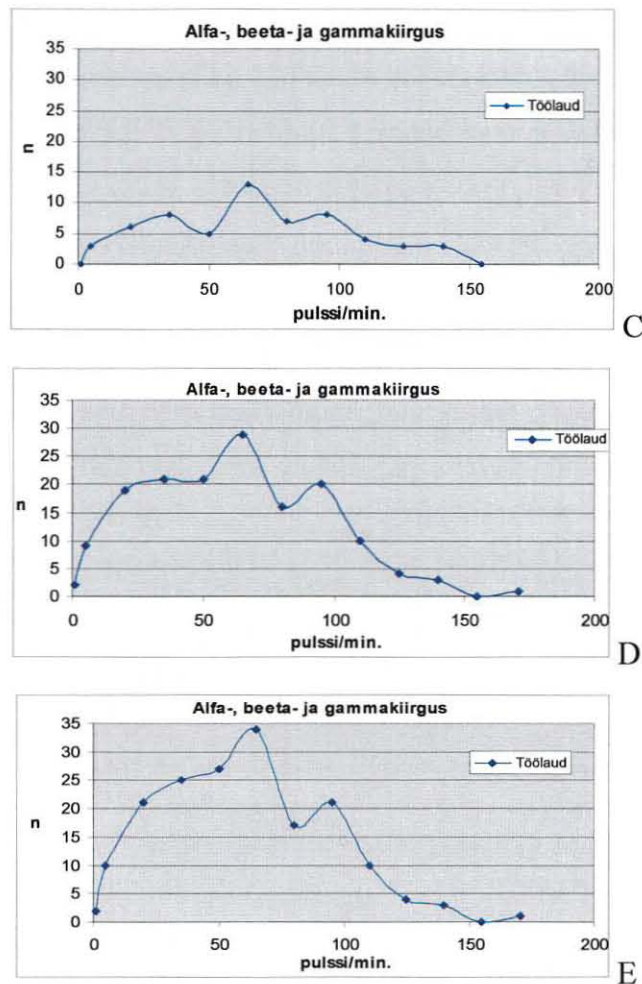
3.2. Seadme katsetamine laboris

Seadme välitööde eelse katsetamise viisime läbi TTÜ mäeinstituudi kabinetis VII-208 18.09.2007 ajavahemikus 18.00 kuni 19.00 töölaual, kus loodusliku radioaktiivsuse fooni mõõtmisel kivimipalad puudusid. Isegi seadme tööulatuses, raadiusega 60cm looduslikud võimalikud kiirguse objektid puudusid. Seega saadud näidud iseloomustasid ainult kosmilist kiirgust ja toaõhu α - ja β - kiirgust. Seejärel mõõtsime kiirgust erinevatel

režiimidel kahes kivimipaljas, Vão karjäärist võetud Lasnamäe lademe lubjakivis ja Aseri lademe raudooididega lubjakivis.

Katsetamise eesmärgiks oli välja selgitada, milline võiks olla optimaalne näitude arv keskmise väärtuse saamiseks. Selleks tegime mõõtmisi vaheldumisi avatud (summaarne α -, β - ja γ – kiirgus) ja suletud filtritega (γ – kiirgus). Kõik laboratoorsed mõõtmised on tehtud normaalrežiimil. Kõigepealt mõõtsime töökoha summaarse kiirguse fooni töölaual, kus kivimipalad puudusid. Kõik graafikute read on koostatud mõõtmisarvude kasvavas järjekorras. Summaarse α -, β - ja γ -kiirguse (avatud filtritega) mõõtmisandmete (joon.3.1) graafikul moodustavad 30 järjestikust näitu ühe suurema (8 näitu väärtusel 65 pulssi /min) ja teise väiksema (4 näitu väärtusel 95 pulssi /min) maksimumi, näidud ise aga jagunevad küllalt laias diapasoonis, alates 20 pulstist kuni 110 pulsinii minutis (joon. 3.1A). Kõigi näitude keskmiseks väärtuseks on 58,5 pulssi /min. Järgmised 20 näitu midagi olulist diagrammis ei muutnud (joon. 3.1B), kuid keskmine pulsside arv minutis kasvas 69,2-ni. Kui näitude arv kasvas 106-ni, siis hakkasid veelgi selgemalt välja kujunema maksimumid väärtustel 65 ja 95 pulssi/ min (joon.3.1C). Keskmine pulsside arv vähenes 66,0-ni. Edasisel näitude arvu suurendamisel alguses 155-ni (joon.3.1D) ja siis 175-ni (joon.3.1E) säilis peamine maksimum väärtusel 65 pulssi minutis, rohkem lisa said väiksema kiirguse intensiivsusega väärtused 20, 35 ja 50 pulssi minutis, mis võrdsustasid või ületasid väärtuse 95 pulssi minutis. Ilmusid ka üksikud näidud intensiivsusega 171pulssi/min. Keskmine näit 155 mõõtmise korral oli 59,0 ja 175 järjestikuse mõõtmise korral 57,9 pulssi/min.



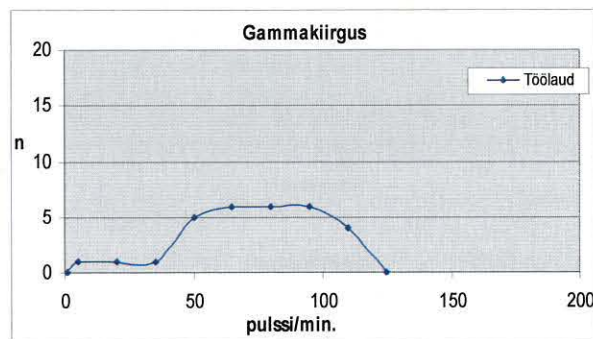


Joonis 3.1. Loodusliku summaarse α -, β - ja γ -kiirguse graafikute karakteristikute muutmine seoses mõõtmiste üldarvu (n) suurenemisega. Mõõtmise koht: TTÜ MI VII-208, 18.09.2007 17⁰⁰-18⁰⁰. Vt ka selgitusi tekstis.

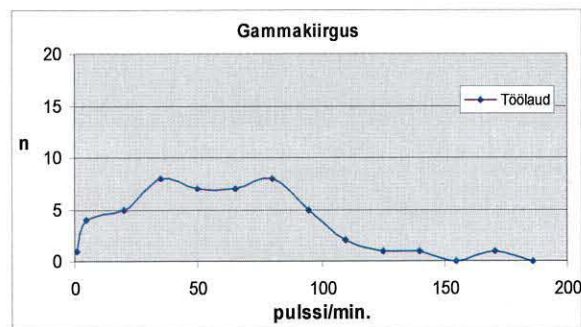
Seejärel sulgesime filtrid ja mõõtsime toas ainult γ – kiirgust (joon.3.2). Esimesed 30 näitu moodustasid suhteliselt võrdse intensiivsusega (4-6pulssi/min) maksimumi alates intensiivsusest 50pulssi/min kuni intensiivsuseni 110pulssi/min (joon.3.2A). Järgmise 50 näidu graafik (joon.3.2B) näitab kiirgustaseme vähenemist selles 100sekundilises intervallis. Maksimum nihkub väiksemate väärtuste poole ja jääb 35 ja 80pulsi/min vahele. Ilmuvad üksikud suurema intensiivsusega (125, 140 ja 171pulssi/min) näidud. Keskmine foonilise kiirguse intensiivsus vähenes kuni 59,1pulsini minutis. Summeerides eelneva kahe graafiku näidud ja lisades veel 20 uut näitu, saame γ – kiirguse karakteristikud juba 100 järjestikulise näidu kohta. Moodustub üks maksimum, intensiivsusega 80pulssi/min, mis algab väärtustest 20 ja lõpeb väärtusega 110pulssi/min (joon.3.2C). Üksikud näidud ulatuvad kuni 171pulsini minutis.

Kuna esimesed 30 näitu moodustasid iseäraliku graafiku (joon.3.2A), siis koostasime graafiku veel järgmise 30 näidu kohta (joon.3.2D). Kõik näitude väärtused paiknevad 5 ja 125pulssi/min vahel, moodustades kaks keskmise intensiivsusega maksimumi väärtustel 35

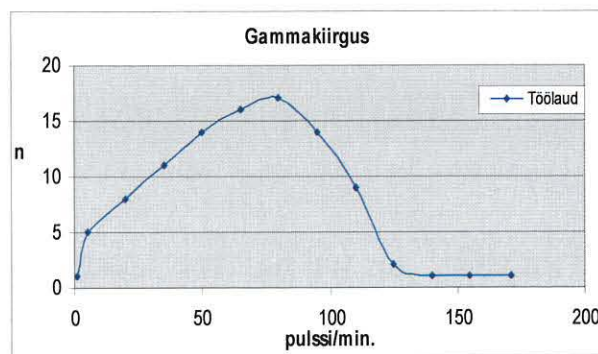
ja 65pulssi/min. Keskmise pulsside arv minutis oli 59,5. Summeerides need näidud eelnevatega saime summaarse graafiku 130 näidu kohta (joon.3.2E). Sellel on selgesti näha vaid üks maksimum väärtusel 65pulssi/min. Lisades veel 50 näitu, saame juba 180-st järjestikusest näidust koosneva rea ehk radioaktiivse γ – kiirguse $2 \times 180 \text{sek} = 360 \text{sek}$ ehk 6 minuti jooksul (joon.3.2F). Peamine maksimum jääb väärtuste 65 ja 80pulssi/min vahele, väiksem maksimum hakkab moodustuma väärtusel 35pulssi/min. Keskmise pulsside arv minutis oli 6 minuti jooksul 64,5. Lisades veel 30 näitu, säilivad graafikud peamiselt samad iseärasused, veidi suureneb maksimum, mis vastab 35pulssile minutis. Keskmise pulsside arv on 63,1pulssi/min nüüd juba seitsme järjestikuse minuti jooksul (joon.3.2G).



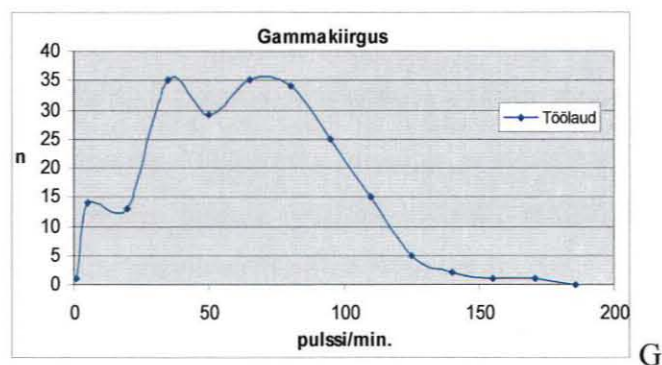
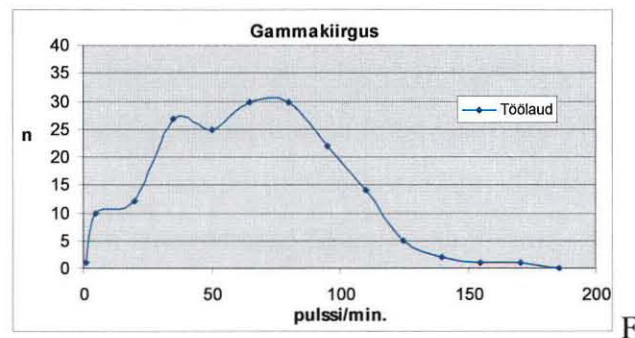
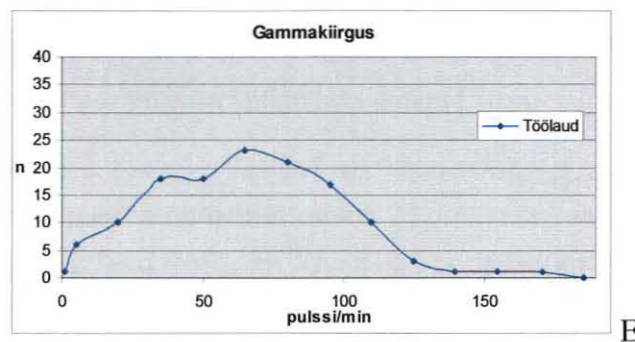
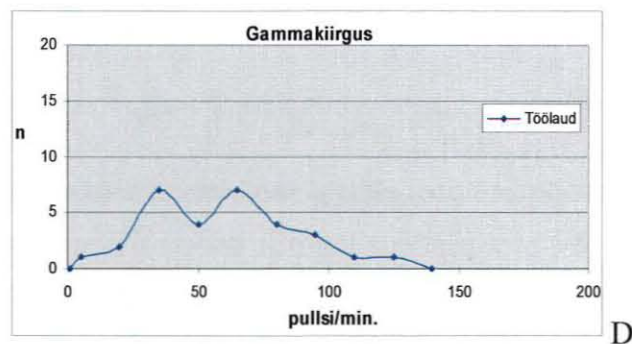
A



B



C



Joonis 3.2. Looduslik γ -kiirgus TTÜ MI VII-208, 18.09.2007 ajavahemiku 17⁰⁰-18⁰⁰. Graafikute karakteristikute seos mõõtmiste arvu (n) muutmisega.

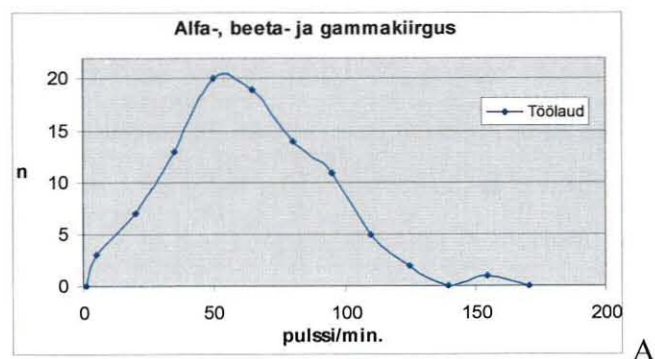
Kokkuvõte loodusliku kiirguse mõõtmisest. Kabinetis VII-208 mõõdetud loodusliku radioaktiivse kiirguse intensiivsus on küllalt muutlik, kuid juba 30 näidu keskmine hälve ei ületa tavaliselt 10% keskmisest, mis mõõdetud fooni juures moodustab vähem, kui 0,01 μ Sv/h ehk vähem, kui 10% looduslikust foonist. Üldjuhul jääb see mõõtmistäpsuse piiridesse. Töölaua summaarse α -, β - ja γ - kiirguse ja γ – kiirguse erinevus jääb

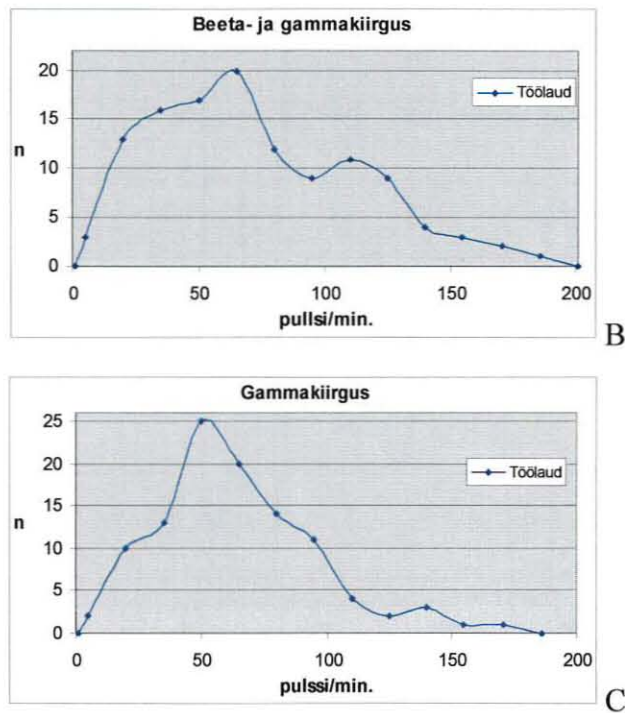
mõõtmistäpsuse intervalli, mis võimaldab teha järelduse, et seadme läheduses olulisi α - ja β - kiirguse allikaid ei ole.

Pärast välimõõtmisi otsustasime veel kord korrata foonilisi mõõtmisi laboris, kuna selgus vajadus teha mõõtmisi kolmel erineval režiimil summaarse α -, β - ja γ - kiirguse, β - ja γ - kiirguse ja eraldi γ - kiirguse mõõtmise režiimil, sest mõned kivimid sisaldasid nii uraani (α – kiirguse allikas) kui ka tooriumi (β – kiirguse allikas) Summaarset α -, β - ja γ - kiirguse mõõtmist teostati avatud filtritega, β - ja γ - kiirguse mõõtmist seadme asetamisega õhukesse läbipaistvasse kilekotti ja γ – kiirgust mõõtsime suletud filtritega. Alljärgnevalt esitatakse saadud tulemused.

Töölaua loodusliku kiirguse mõõtmine toimus 23.novembril 2007.a kabinetis VII-208, kivimipalu seadme tööraadiuses ($R = 60\text{cm}$) ei olnud. Režiimil summaarse α -, β - ja γ - kiirguse mõõtmiseks 95 näitu andsid ühe maksimumi 50 ja 65pulssi/min vahel, üksikud näidud ulatuvad kuni 155pulssini minutis (joon.3.3A). Keskmine pulsside sagedus oli 63 minutis. Režiimil β - ja γ - kiirgus (seade kilekotis) moodustus 120 näidu juures kaks maksimumi, peamine väärtusel 65pulssi/min ja teine väärtusel 110pulssi/min (joon.3.3B). Väiksem maksimum on ilmselt seotud ajutise kosmilise kiirguse suurenemisega, sellele viitab keskmise pulsside arvu suurenemine näidu kohta 9 võrra. Siin on see 72pulssi/min. Teatud β – ja γ – kiirguse allikate olemasolule kabinetis viitab üldise kiirgusfooni vähenemine režiimil gammakiirguse mõõtmine (filtrid suletud). Mõõtmisandmete diagrammil (joon.3.3C) 106 näitu annavad selge ühe maksimumi väärtusel 50pulssi/min. Keskmine kiirguse intensiivsus mõõdetud ajavahemikus oli 64pulssi/min, mõju avaldab kosmilise kiirguse intensiivsuse kõikumine, mis ajas ja ruumis ei ole ühtlane. Siiski on selle tase suhteliselt madal ega mõjuta oluliselt kivimite radioaktiivsuse mõõtmist, sest kivimite kiirgus võib ületada kosmilist foonilist palju kordi.

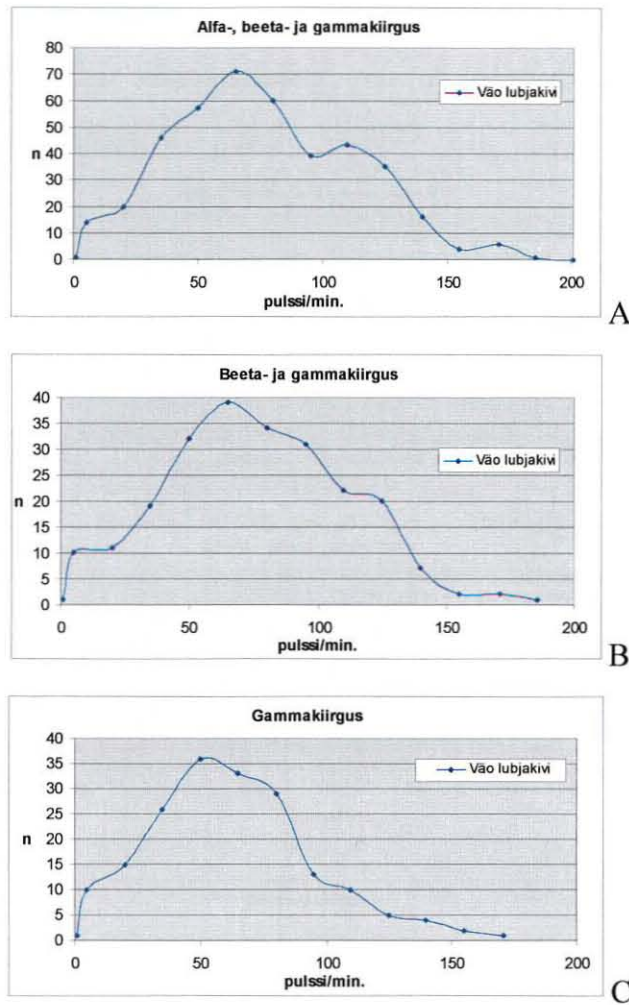
Samal laual kabinetis VII-208 määrasime kolme proovipala radioaktiivse kiirguse.





Joonis 3.3. Töölaua foonilise radioaktiivsuse mõõtmisandmed erinevatel režiimidel.

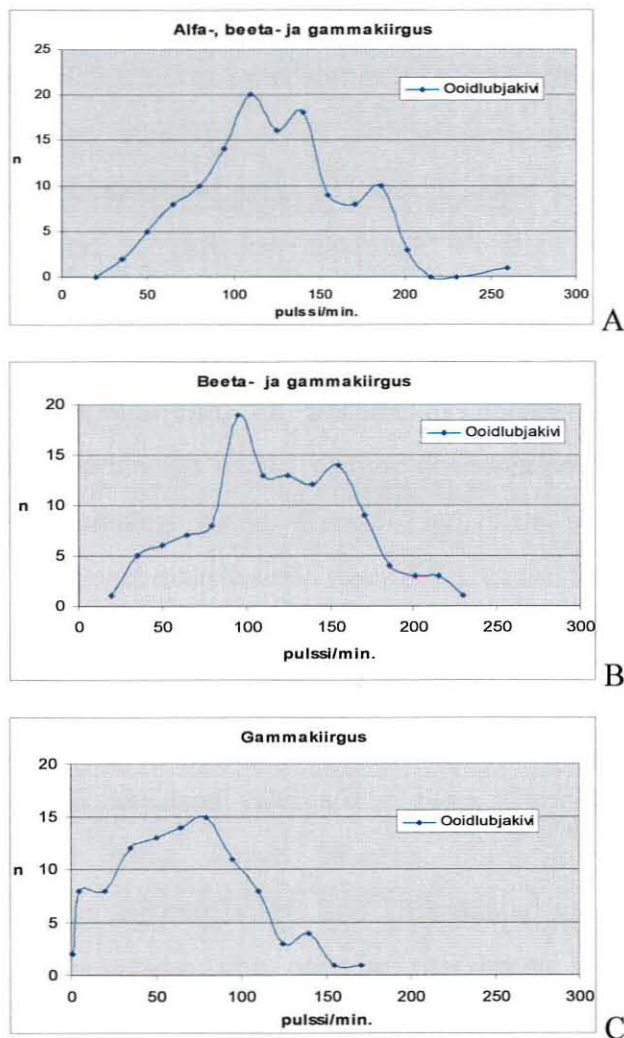
Pala No 1 kujutab endast Ordoviitsiumi ladestu Lasnamäe lademe Väo kihistu lubjakivi. Teisi kivimipalu laual mõõtmiste ajal ei olnud. Pala on küllalt suur, umbes 60x30x10cm, seepärast mahtus seade vabalt palale. Seadme kohta muudeti vaid režiimi muutmisel, ühel režiimil mõõtmisel seadme asendit ei muudetud. Summaarse α -, β - ja γ -kiirguse mõõtmisel (avatud filtritega) fikseeriti 413 näitu ajavahemikus 826sek ehk peaaegu 14min jooksul. Selgesti väljendunud peamine maksimum graafikul (joon.3.4A) vastab kiirguse intensiivsusele 65pulssi/min ja teine väiksem maksimum moodustas kiirguse intensiivsuse väärtusel 110 pulssi minutis. Keskmine kiirgusvoog vastab intensiivsusele 76pulssi/min. Summaarse β - ja γ - kiirguse mõõtmisel (kilekotis) 231 näidu juures praktiliselt oma kuju ei muutnud, peamine maksimum jäi samale kohale ja vastab intensiivsusele 65pulssi/min (joon.3.4B). Keskmine kiirguse intensiivsus on 76pulssi/min. Eraldi γ - kiirguse mõõtmisel (filtrid suletud) graafiku üldkuju jäi samaks 185näidu puhul, kuid üldine mõõdetav kiirgusvoog vähenes, keskmine vastab nüüd 62 pulsile minutis. Peamine maksimum vähenes 15pulssi võrra minutis ja vastab kiirgusvoole 50pulssi/min. Vähenes samuti suuremate näitude arv (joon.3.4C). See näitab asjaolule, et kivimis esinevad radioaktiivsed elemendid, mis kiirgavad α - ja β - kiirgust, st uraan ja toorium, kuigi nende sisaldus on väike.



Joonis 3.4 Lubjakivi plaat Vao karjäärist (Lasnamäe lademe Vao kihistu)

Teise palana mõõtsime Aseri lademe rauaooididega lubjakivi, mis oli mõõtmega umbes 20x14x5cm ja võetud Vao karjäärist 2004.a. Mõõtmist teostati samuti kolmel režiimil. Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse mõõtmisel 124 järjestikku tehtud näitu andsid graafikul kolm maksimumi, mis vastasid kiirguse intensiivsusele 110, 140 ja 186pulssi/min (joon.3.5A). Keskmise kiirgusvoog vastab 122pulssile minutis ehk on oluliselt suurem kui Vao kihistu lubjakivil. See võib olla seotud sellega, et tavaliselt ooidlubjakivides on ka kõrgenenud fosfori ja uraani sisaldus. Summaarse β - ja γ - kiirguse mõõtmisel andsid 118 järjestikust näitu mõnevõrra teiseilmelise graafiku (joon.3.5B), kus on moodustunud üks peamine maksimum väärtusel 95pulssi/min ja teine väiksem maksimum kiirgusvoo väärtusel 155pulssi/min. Maksimumide nihkumine väiksemate väärtuste suunas viitab kivimipalast põhjustatud α - kiirguse olemasolule. Ka üldine kiirgusvoog on vähenenud, keskmisele kiirgusvoole vastab 119pulssi/min. Viimaks ainult γ - kiirguse mõõtmisel 100 järjestikuse näiduga nihkub ainus allesjäänud maksimum veelgi väiksemate kiirgusvoo väärtuste poole, see maksimum vastab juba kiirgusele 80pulssi/min (joon.3.5C). Tõenäoliselt sisaldab kivim ka β - kiirguse allikaid. Tunduvalt on vähenenud keskmise

kiirgusvoo intensiivsus, see on nüüd ainult 66pulssi/min ja on peaaegu sama, kui töölaua γ – kiirguse intensiivsus ilma kivimipaladeta, mis oli 64pulssi minutis. Seega, kivimi peamised kiirguseallikad kiirgavad α – ja β – kiirgust.

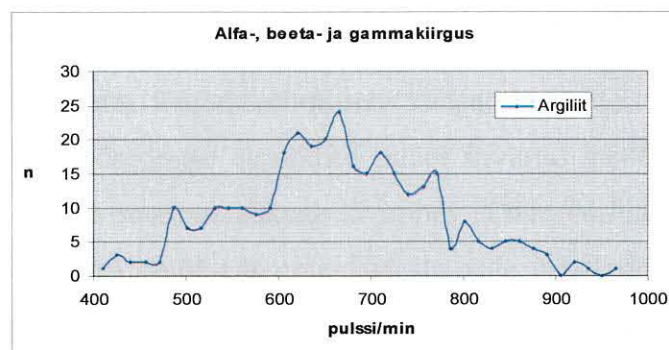


Joonis 3.5. Aseri lademe ooidlubjakivi radioaktiivse kiirguse graafikud, mõõdetuna TTÜ Mäeinstituudis, kab. 208, 23.11.2007 kell 18⁰⁰-19⁰⁰.

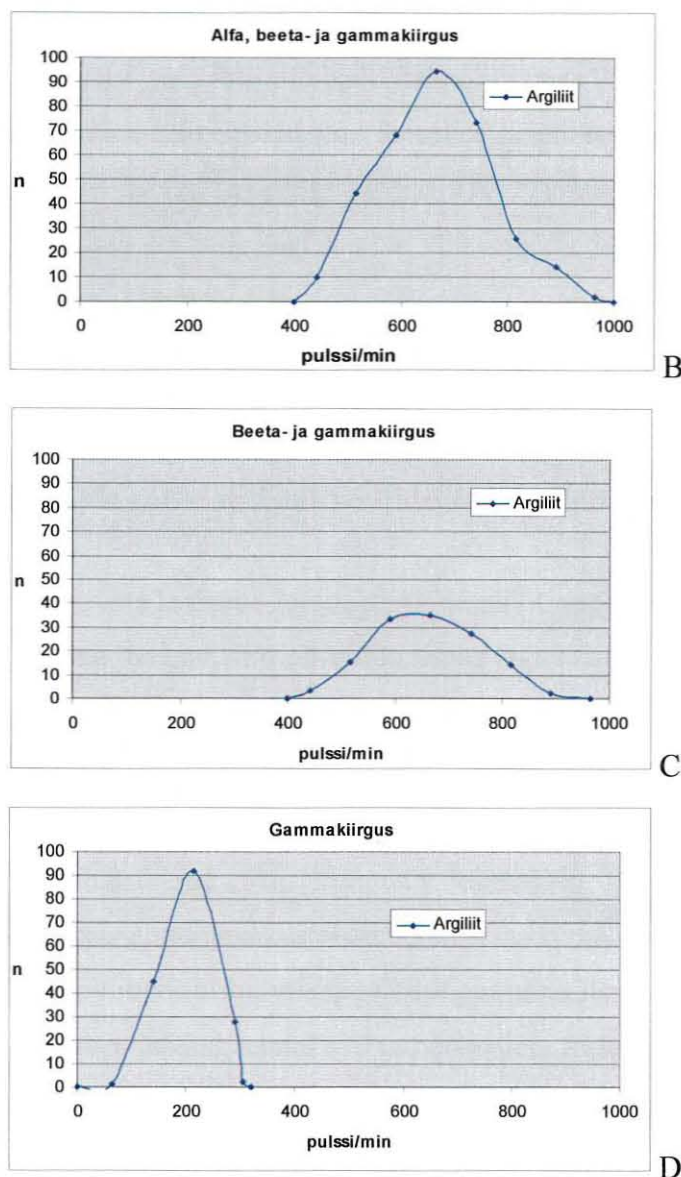


Joonis 3.6. Massiivne Türisalu kihistu argilliit kohas, kust võeti laboris mõõdetud pala No 3. See oli kõige intensiivsema loodusliku radioaktiivse kiirgusega piirkond Pakri poolsaarel.

Kolmanda palana mõõtsime uuesti üle suhteliselt massiivse kerogeense argilliidi pala, mille mõõdud olid umbes 45x30x7cm ja mass ca 8kg. Pala oli toodud Pakri poolsaare läänerannikult, Uuga panga alt, vahetult veepiirilt (joon.3.6). Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse mõõtmisel me puutusime kokku asjaoluga, et seadme näitude vaheline samm, mis on 15pulssi/min, on liiga väikene tugeva radioaktiivsusega objektide mõõtmisega normaalrežiimil. See ei võimaldanud isegi 331 näidu juures saada korralikku graafikut (joon.3.7A), sest hajumine 15 pulsilise sammuga oli liiga suur. Kokku jagunesid mõõtmiste andmed 38 kiirgustaseme väärtuse vahel. Kuigi üldine tendents oli täiesti selge ja peamine maksimum väärtusel 666pulssi/min praktiliselt langes kokku kiirgusvoo keskmise väärtusega, 663pulssi/min, oli otstarbekas ühendada näidud suurematesse intervallidesse. Parimaks variandiks osutus näitude ühendamine 5intervalli kaupa, seega keskmisest näidust 2 kummalegi poole. Nende 75pulsiliste intervallidega joonistusi selgelt välja üheselt mõistetavad maksimumid (joon.3.7B, C, D). Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse graafikul, 331näitu, näidud hajusid 411 ja 966pulssi/min vahel, moodustades ühe maksimumi kiirgusvoo väärtusel 666pulssi/min (joon.3.7B). Summaarse β - ja γ - kiirguse 127 näitu moodustavad ühe maksimumi, mis jääb näitude 591 ja 666pulssi/min vahele (joon.3.7C), kusjuures maksimaalsed väärtused ei ületa 891pulssi/min. See viitab α - kiirguseallika olemasolule palas. Järsult väheneb üldine kiirgusvoog; kui sulgeda filtriaknad, st γ - kiirguse mõõtorežiimil. Siin kõik näidud jagunevad väärtuste 65 ja 305pulssi/min vahel, moodustades ühe peamise maksimumi väärtusel 186pulssi/min (joon.3.7D). Seega on kivimipalal peale α - kiirguse allika (võimalik, et uraan) ka β - kiirguse allikas, mis võiks olla näiteks toorium (V. Peterselli publitseerimata materjalides on andmeid, et Klooga puuraugus kerogeense argilliidi erinevates kihtides esineb toorium kontsentratsioonis 7-13g/t ja uraan 68-171g/t).



A



Joonis 3.7. Suhteliselt massivse Ordoviitsiumi ladestu Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeense argiliidi radioaktiivse kiirguse mõõtmise andmed. Mõõtmine o teostatud TTÜ Mäeinstituudi kab. VII-209. Teisi kivimpalu seadme mõõteraadiuses (60cm) ei olnud. Pala pärinb Uuga panga äärselt mererannalt veepiiri lähedal.

Kokkuvõte laborimõõtmiste kohta. Madala radiatsioonilise kiirguse taseme juures suur osa mõõdetavast kiirgusest kuulub foonilisele kiirgusele, millest enamuse omakorda on kosmilise päritoluga. Kõrgemate sisalduste puhul kivimid ise on kiirguse allikaks ja seadme täpsus on küllalt suur, et määrata kivimites ja mineraalides kiirguse intensiivsus tasemel, mis ei ulatu veel ohtliku tasemeni ja üle selle kuni kiirguseni 9999pulssi/min. Seade võimaldab eristada erinevaid kiirguseliike kivimi ja mineraalide palades.

Kõigi kolme proovipala ja foonilise kiirguse voogude hindamisel väljendus kosmilise kiirguse ebaühtlikkus selgelt näitude ülesmärkimisel, kui tavalistes piirides varieeruvate näitude seas ilmusid üksikud näidud, mille pulsside arv minutis oluliselt ületasid keskmist taset (reas näidatud boldis), näiteks: 65, 20, 35, 50, **171**, **140**. 50, 80, 50, 35, 65 jne või 20,

80, 125, 155, 125, 50, 35, 50 jne. Selliste näitudega fikseeritakse tugevamad kosmiliste kiirte vood. Kui mõõdetav pala oli oluliselt radioaktiivsem foonilisest tasemest, siis sellised pulsidsid tõstavad näite rohkem kui ühe foonilise kosmilise kiirguse võrra. Näiteks kerogeense argilliidi palas jäävad tavalised näidud 570-771 pulsi tasemele minutis, aga üksikutel momentidel tõuseb pulsside sagedus üle 900 minutis. Näitude read näevad välja siis järgnevalt: ...771, 591, 771, **936**, 576, 666, 726, 696... ...666, 756, 666, **966**, **891**, 651, 711, 636, 666 ... jne. Nende oluliselt suurenenud kiirgusvoogude kestus tavaliselt ei ületa 2-3 näitu ehk 4-6 sekundit.

3.3. Kivimite ja pinnaste radioaktiivsuse mõõtmine välitingimustes

Pinnaste, rahnude ja erinevate kivimite radioaktiivsuse mõõtmised teostati käesoleva aasta septembris, kahe täispäeva jooksul, ilm oli mõõtmiseks sobiv, ilma sademeteta, tuul nõrk või mõõdukas, sooja üle 15° C. Territoorium, kus mõõtmisi teostati, hõlmas Pakri poolsaare läänerranda Paldiski raudteejaamast kuni Pakri neeme tipuni. Geoloogiline läbilõige koosneb Kvaternaari setetest, rändrahnudest ja paljanditest, harva kasutasime ka allavarisenud ja pooleksmurdunud pikki kihipindu lahmakaid, kus oli võimalus mõõta radioaktiivsust kihtides, mis klindijärsakus ei olnud kättesaadavad.

Esimesed massilised proovimõõtmised viisime välitingimustes läbi sellisel, et üks osaline kirjutas järjestikku üles kõik näidud, samal ajal teine vaatleja fikseeris ainult 10 mõõtmist, mis oli tehtud täpselt 30 sekundiliste vahedega. Viimase meetodiga tehtud mõõtmised andsid sageli suuremaid kõikumisi, kui näiteks 30 järjestikust mõõtmist. Arvestades asjaoluga, et kiirgustase enamikus objektidest ei ületanud praktiliselt foonilist, kasutasime kivimite mõõtmiseks peamiselt normaalrežiimi ja kirjutasime järjestikku välja vähemalt 30-40näitu. Enamikul juhtudel annavad juba 10-30 järjestikust näitu vajaliku täpsusega tulemuse. Mõningatel juhtudel kasutasime võrdluseks täppisrežiimi või tugeva kiirguse puhul mõõtmist skaalas $\mu\text{Sv/h}$. Need andmed tuuakse alljärgnevalt.

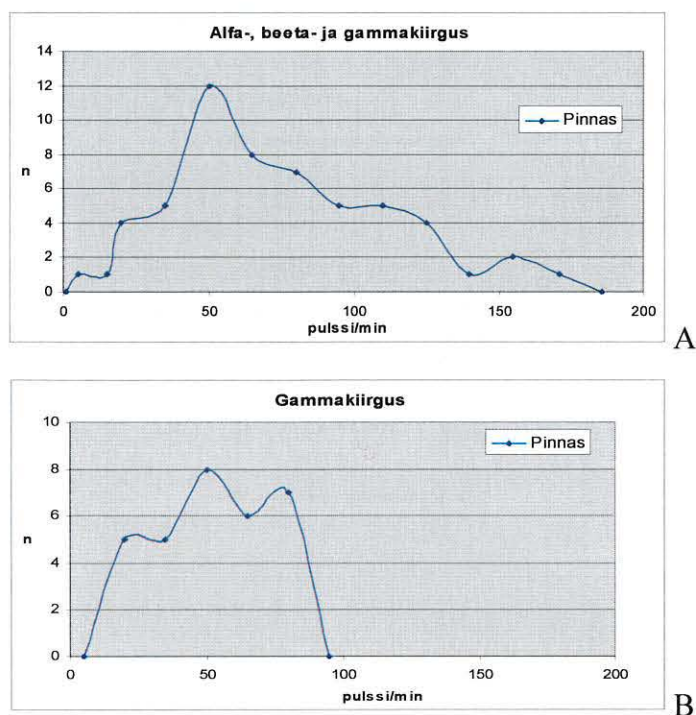
3.3.1. Kvaternaari setted

Kvaternaari setetest oli võimalik mõõta rannavalle ja inimtegevusega muudetud pinnaseid Paldiski raudteejaama õuel ja Paldiskist Pakri neemele suunduva asfalteeritud tee ääres.

Pinnased. Raudteejaama õuel ja rohtu kasvanud põllul umbes 800m kaugusel tuletornist olid mõõteandmed ühesugused, siis summaarse graafikule on välja kantud mõlema koha andmed koos, kokku 58 mõõtmist. Graafikul on ainult üks enam kui 20%-line maksimum väärtusel 50pulssi minutis (joon.3.8A). Pulsside arv minutis kõigub 5-st kuni 171-ni, mis jääb loodusliku fooni kõikumiste piiridesse ja on seotud üksikute intensiivsemate

kiirgusvoogudega kosmilises kiirguses. Keskmine radioaktiivse kiirguse voog oli raudteejaama juures 75pulssi/min ja Pakri poolsaare põhjapoolses otsas, tee juures, mis viib tuulepargini oli keskmine näit 70pulssi/min, ainult γ – kiirguse mõõtmisel aga vaid 53pulssi/min. Kõik näidud γ – kiirguse puhul paiknevad vahemikus 20 ja 80pulssi minutis (joon.3.8B).

Kokkuvõtteks võib öelda, et pinnase reostus mõõdetud kohtades ei ületa tavalist looduslikku fooni ehk 55-85pulssi/min, mis on võrdne 0,08-0,12 μ Sv-ga.



Joonis 3.8. Pakri poolsaare pinnase radioaktiivse kiirguse graafikud.

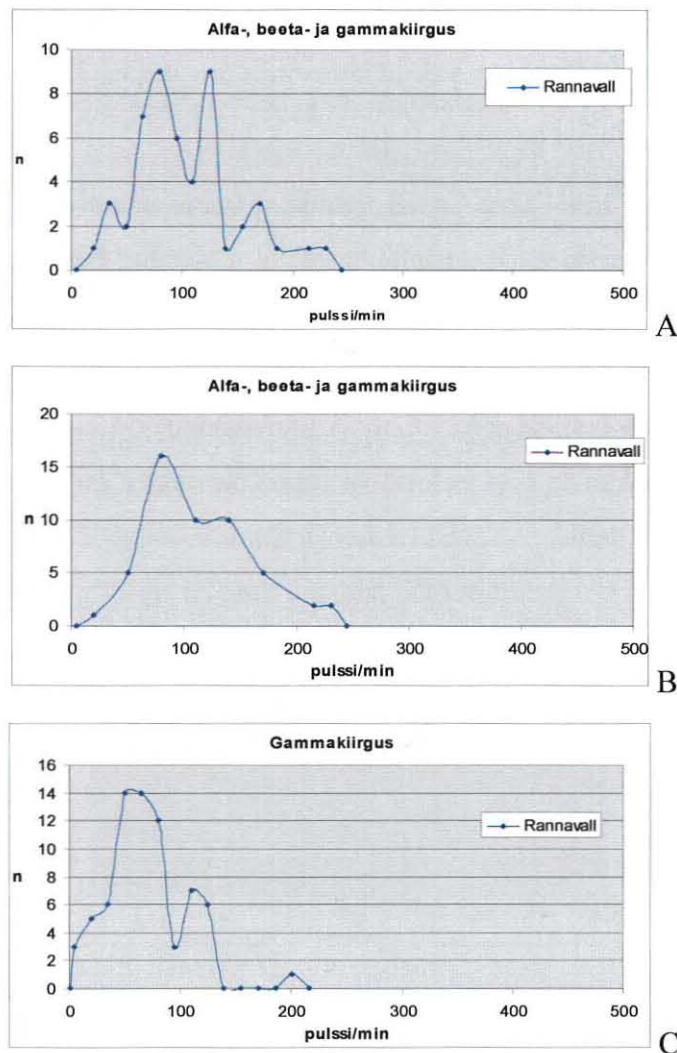
A – summaarne α -, β - ja γ -kiirgus Paldiski raudteejaama õuel ja tuletorni juurde viiva tee ääres, kokku 58 näitu.

B - γ -kiirgusrohtukasvanud põllu äärel, umbes 800m Paldiski linna poole tuletornist, 35 mõõtmist.

Rannavallid on moodustunud kohalikest aluspõhja kivimitest, Paldiski Põhjasadama juures koosnevad nad peamiselt ümmardatud lubjakivi veeristest, Uuga ja Parkerordi pangal all kohati kuni 95% kerogeensest argilliidist.

Umbes 200 m kaugusel Paldiski Põhjasadama muulist põhja poole koosneb rannavall põhiliselt hallidest lubjakividest, milles esineb üksikuid glaukoniitlubjakivi ja kerogeense argilliidi veeriseid. Normaalsest looduslikust foonist on radioaktiivse kiirguse tase pisut kõrgem, seepärast ei piisanud 50näidust summaarse α -, β - ja γ - kiirguse korraliku näitude hajuvusgraafiku saamiseks, näidud kõiguvad 20 ja 230pulssi/min vahel ehk jagunevad 14intervalliks (joon.3.9A). Siin moodustub kaks võrdset maksimumi väärtustel 80 ja 125pulssi/min ja väiksemad maksimumid mõlemale poole. See näitab, et tegemist on

suhteliselt normaalse jaotusega. Keskmine kiirgustase on mõnevõrra suurem ja ulatub 103pulssini minutis. Kahe naaberintervalli ühendamisel saame peaaegu ideaalse normaalse jaotuse graafiku, mille me suure tõenäosusega oleksime saanud ka näitude arvu suurendamisega 2korda (joon.3.9B). Sellel graafikul jääb järele vaid üks maksimum näidu väärtusel 80pulssi/min. Ainult γ – kiirguse mõõtmise režiimil moodustub graafikul (joon.3.9C) üks maksimum väärtustel 50 ja 65pulssi/min ja teine väiksem maksimum intervallil 110-125pulssi/min. Ainult ühel 2sekundilises intervallis saavutas kiirguse intensiivsus 201pulssi/min. Keskmine intensiivsus vähenes γ – kiirguse mõõtmisel kuni 69pulssini minutis.



Joonis 3.9. Rannavall Pakri poolsaare läänerannikul, mis koosneb peamiselt lubjakivi veeristest. 200m Paldiski Põhjasadama suulist põhja poole.

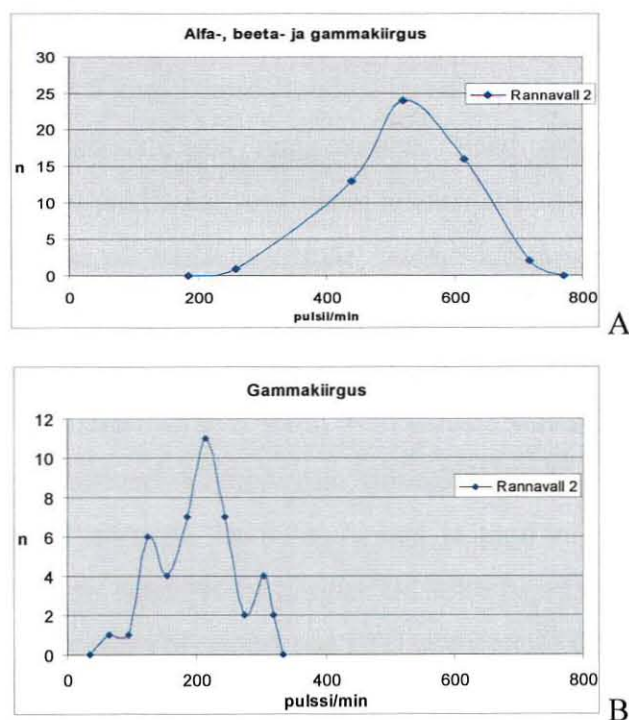
Järgmine rannavall Uuga panga keskosas (koordinaadid 59°22',451N ja 24°02',151E) koosneb peamiselt kerogeense argilliidi veeristest. Nagu paljandites nii on kerogeenne argilliit kõrge radiatsiooni tasemega ka rannavallis, sest kõik need rannavallid on moodustunud juba pärast 2005.a jaanuaritormi, kui lained ulatusid kaljujärsaku ülemise



Joonis 3.10. Rannavall Uuga pangaalusel rannikul koosnes peamiselt Türisalu kerogeense argilliidi värsketest, nad ei olnud veel pleekinud, veeristest.

ääreni, kuna nad heitsid rannal olnud puupingi. Pärast seda tormi oli rand veel mai lõpus puhas ja ilma allalangenud rahnudeta ja rannavallideta. Kõik oli purustatud ja rannalt ära kantud ilmselt lahesoppi.

Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse mõõtmise 56 järjestikust näitu annavad graafikul selge maksimumi näidu väärtusel 520pulssi/min (joon.3.11A). Näidud ise hajuvad vahemikus 260 ja 719pulssi/min vahel. Gammakiirguse mõõtmisel olid näidud oluliselt väiksemad ja jäid vahemikku 65 ja 320pulssi minutis (joon.3.11B). See viitab asjaolule, et suur osa kiirgusest kerogeenses argilliidis tuleneb uraanist ja tooriumist.



Joonis 3.11. Rannavall Uuga panga keskosas (koordinaadid 59°22,151 N ja 24 ° 02,151 E) koosneb peamiselt kerogeense argilliidi lamedatest ümmardunud veeristest.

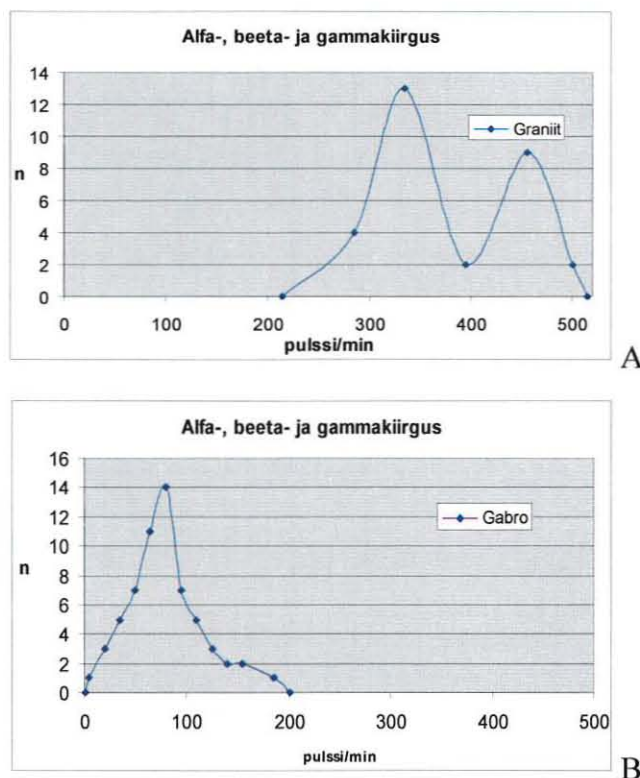
Rändrahnud on ka võimalikud radioaktiivse kiirguse allikad. Nad on erineva koostisega, migmatiidid, graniidid, gabro ja muud magma- ning moondekivimid. Esimene rahn, mille radioaktiivsust me mõõtsime, asub otse Paldiski raudteejaama õuel. Oma koostiselt on see Svekofennia kurrutuse ja sügava metamorfismi aegne gneissidest moodustunud migmatiit-graniit, mis mandrijääga on toodud Lõuna-Soomest.



Joonis 3.12. Migmatiit-graniidi rahn Paldiski raudteejaama õuel. Pakri – E mõõdab kiirgust α –, β – ja γ – kiirguse mõõtmise režiimil (filtrid on avatud).

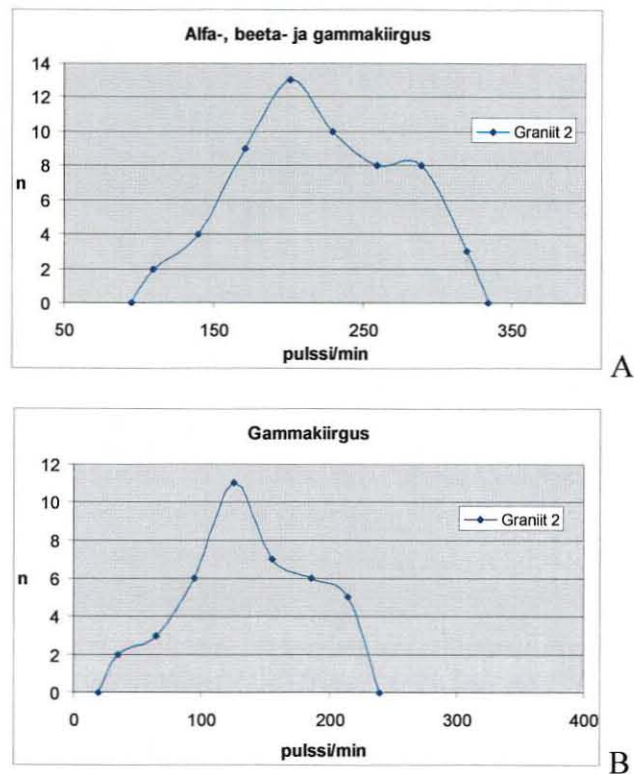
Summaarse α –, β – ja γ – kiirguse graafikul hajuvad 30 järjestikust näitu vahemikus 260-501 pulssi ja moodustavad kaks küllalt selget maksimumi näitudel 335 ja 456 pulssi/min (joon.3.13A). Sellistel suure mikrokliini sisaldusega migmatiit-graniitide radioaktiivsus tavaliselt ületab keskmiselt 3 kuni 5 korda loodusliku radioaktiivsuse fooni. Graniidirahnul mõõdetud summaarne radioaktiivsus ongi selline. Need graniidid sisaldavad peale kaaliumi, millest osa on radioaktiivne, veel uraani ja tooriumi.

Järgmine mõõdetud rahn oli vana Lasnamäe lademe lubjakivi karjääri äärde lükatud, läbimõõduga 1-1,5m ja koostiselt vastas keskmiseteralisele gabronoriidile. Kuna sellised rahnud on Eestis haruldased, kui graniidid või migmatiidid, siis tegime mõnevõrra rohkem mõõtmisi, kokku fikseerisime 61 näitu. Nad hajusid vahemikus 5 ja 186 pulssi/min, andes ühe maksimumi väärtusel 80 pulssi/min (joon.3.13B). Gabrod sisaldavad üldiselt väga vähe radioaktiivseid isotoope, kaaliumi, uraani ja tooriumi, seepärast tuleb lugeda mõõdetud kiirgust peamiselt kosmiliseks kiirguseks. Selle hajumine on sarnane kosmilise kiirguse hajumisega, mida varem oli mõõdetud TTÜ mäeinstituudis (joon.3.1 ja 3.3).



Joonis 3.13. Rahnude summaarne α -, β - ja γ -kiirgus. A – migmatiit – graniidi rahn Paldiski raudteejaama õuel; B – gabro rahn.

Veel üks mikrokliinse graniidi rahn erines teistes Uuga panga all olevas rannavööndis, vaid mõne meetri kaugusel veepiirist. Selle radioaktiivsus oli ligilähedane raudteejaama õuel mõõdetud graniidi radioaktiivsusele. Summaarse α -, β - ja γ -kiirguse mõõtmise režiimil saadud 55näitu moodustavad suhteliselt laia hajumisvälja, 110pulsist minutis kuni 320pulssini minutis, ja annavad ühe maksimumi väärtusel 201pulssi/min (joon.3.14A). Ainult gammakiirguse mõõtmisel annavad 40järjestikust näitu üks sageduse maksimumi, mis vastab kiirguse intensiivsusele 110pulssi/min, ja hajumine ise toimub vahemikus 35 ja 215pulssi/min (joon.3,14B). See on tunduvalt väiksem summaarse kiirguse intensiivsusest (joon.3.14A) ja näitab, et suur osa üldisest radioaktiivsusest on põhjustatud α - ja β -kiirgusest. Neid kiirgavad uraan (peamiselt α -kiirgus), kaalium (peamiselt β -kiirgus) ja toorium. See on igati seaduspärane, sest mikrokliin-graniidid sisaldavad alati kõrgendatud kontsentratsioonid neid radioaktiivseid isotoope ja seepärast sageli, vaatamata nende erksale värvile, ei saa neid kasutada ehitiste siseviimistluses.



Joonis 3.14. Mikrokliinse graniidi rahn Uuga panga all rannas.

3.3.2. Aluspõhja kivimite looduslik radioaktiivsus

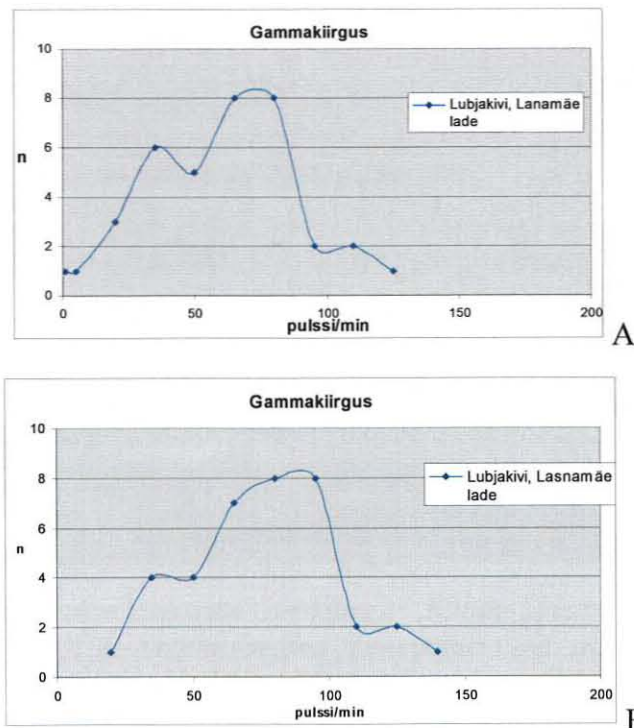
Kõige nooremateks aluspõhja kivimiteks Pakri poolsaarel on Uhaku lademe Kõrgekalda kihistusavikad lubjakivid, kuid nad paljanduvad otse kaldajärsaku ülemises osas, kus nende mõõtmine ei olnud päris ohutu. Seepärast alustasime regulaarset mõõtmist Väo kihistu lubjakividest, mille ülemine osa kuulub Uhaku lademesse ja alumine osa Lasnamäe lademesse. Mõõdetud lubjakivid kuuluvad Lasnamäe lademesse.

Lasnamäe lade on esindatud hallide lubjakividega, õhukeste mergli vahekihtidega (joon.3.15). Nende radioaktiivsust mõõtsime Uuga panga alusel rannikul värsketes allakukkunud lahmakates (punkt 11 ja 15 kaardil, lisa 1) ja Pakri poolsaare tipus panga ülemise osa paljandites (punkt 41). Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse mõõtmisel olid kahes esimeses kohas tehtud mõõtmiste keskmised näidud võrdsed – 85pulssi/min; aga γ - kiirguse mõõtmisel mõnevõrra erinevad. Esimese punkti keskmine kiirgustase oli γ - režiimil mõõdetuna võrdne 60pulssile minutis ja teisel juhul – 76pulssi/min, kuigi graafikutel olid maksimaalse sagedusega näidud vastavalt 72 ja 90pulssi/min (joon.3.16A, B). Lasnamäe lademe lubjakivis Väo karjääril on määratud kaaliumi sisalduseks 0,51%, uraani sisalduseks 2,6% ja tooriumi sisalduseks 2,3% (Kiipli et al., 2000). See on küllaldane, et mõjutada summaarset ja α - kiirgust meie poolt mõõdetud intervallides.



Joonis 3.15. Uuga pank Pakri poolsaare läänerannikul. Järsaku ülemine osa on esindatud Vão kihistu lubjakividega. Kõige all paljanduvad Hunnebergi lademe rohekad glaukoniit-liivakivid, nende peal Billingeni lademe lubjakad glaukoniitliivakivid ja Volhovi lademe glaukoniitlubjakivid. Hunnebergi ja Lasnamäe lademe vahel jääb kirju koostisega Aseri, Kunda ja Volhovi lade. Ü. Sõstra foto.

Punktis 41 tegime mõõtmisi kolmes kohas, täppisrežiimil mõõtsime ka summaarse β – ja γ – kiirgust (seade kilekotis) kahes kohas eraldi. Tulemused jäid praktiliselt loodusliku fooni piiridesse, summaarse α –, β – ja γ – kiirguse mõõtmisel olid keskmised näidud 86, 72 ja 70 pulssi/min, β – ja γ – kiirguse mõõtmisel – 70 ja 107 pulssi/min ja γ – kiirguse mõõtmisel – 67, 60 ja 61 pulssi/min, mis on võrdne 0,08-0,09 $\mu\text{Sv/h}$. See näitab, et Vão kihistu lubjakivi on ideaalne ehituskivi ja absoluutselt radiatsiooniohutu.



Joonis 3.16 Lasnamäe lademe γ -radioaktiivsus Pakri poolsaarel (Selgitus tekstis)

Aseri lade on Pakri poolsaarel õhuke ja esindatud pruunide või valgete ooididega lubjakividega. Nende radioaktiivsust me paljandis ei mõõtnud, sest see õhuke kiht ei olnud kergesti kättesaadav. Aseri lademe ooidlubjakivide radioaktiivsust hindasime laboris esindusliku pala järgi. Keskmise kiirgusvoo intensiivsus oli summaarse α -, β - ja γ - kiirguse mõõtmisel 122pulssi/min, β - ja γ - kiirguse mõõtmisel – 199pulssi/min ja γ - kiirguse mõõtmisel – 80pulssi/min, mis on veidi rohkem kui Lasnamäe lubjakivides. Üldiselt täheldatakse radioaktiivse kiirguse kasvu enam fosforit sisaldavas kivimis (joon.3.5).

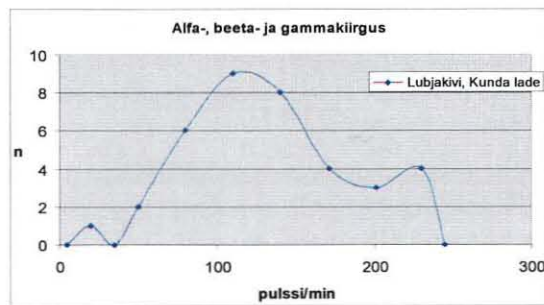
Kunda lademe liivakate lubjakivide radioaktiivsust mõõtsime 3 punktis, kahel juhul suurtes, enam kui 8x3x2m värskelt allakukkunud paelahmakates (joon.3.17) ja ühel juhul vertikaalses seinas. Kõigil juhtudel on tegemist liivakate lubjakividega, kohati esineb neis



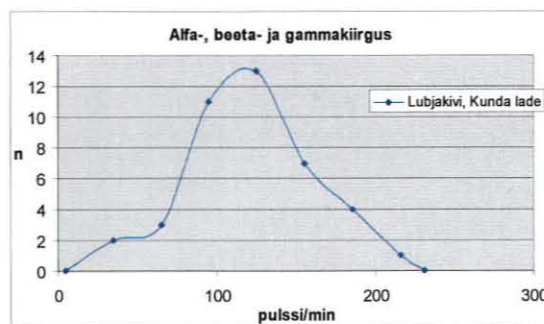
Joonis 3.17. Katkestuspinnad sügavate „taskutega” Kunda lademe liivakates lubjakivides Uuga panga seinas (A) ja settimisaegsed roomamisjäljed allakukkunud ja pooleks murdunud lubjakivide liivakas vahekihis (B). Pakri poolsaare läänerand, Uuga pank. Ü. Sõstra fotod.

õhukesti kukersiidi läätsi. Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse graafikud on põhimõtteliselt ühesugused kõigis kolmes mõõtmiskohas (joon.3.18A, B, C), ainult esimesel kahel juhul on kõige sagedasem näit väärtusega 110pulssi/min, need on suured allakukkunud kivimiplokid järsaku all (joon.3.18A, C) ja kolmandal juhul on radioaktiivsus mõõdetud vertikaalses seinas ja näidud on veidi väiksemad, maksimumile vastab näit 95pulssi/min (joon.3.18C). Üksikud näidud ulatuvad 201-230pulssini minutis, kuid kõigi näitude keskmine 127, 113 ja 92pulssi/min viitab sellele, et kivim sisaldab väga väikese hulga radioaktiivseid isotoope. Täppisrežiimil tehtud mõõtmised andsid praktiliselt sama keskmise tulemuse, ehk 89pulssi/min.

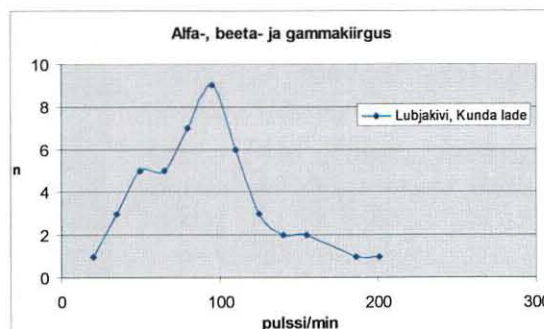
Ainult γ - kiirguse mõõtmisel jääb kõigil kolmel juhul kiirguse intensiivsus madalamaks, esimeses ja teises kohas on kõige sagedasem näit 65pulssi/min (joon.3.18D,E) ja kolmandas, kus ka esialgne summaarne näit oli väiksem, on maksimaalne sagedus näidul 35pulssi/min (joon.3.18F). See viitab asjaolule, et ka liivakas lubjakivis on teatud kogus radionukliide, mis emiteerivad α - ja β - kiirgust. See kogus on siiski ääretult väike, sest summaarsel režiimil ületab pulsside sagedus vähem kui 30% keskmist looduslikku fooni ja ainult γ - kiirguse mõõtmisel jääb loodusliku fooni ülemisest piirist isegi madalamale.



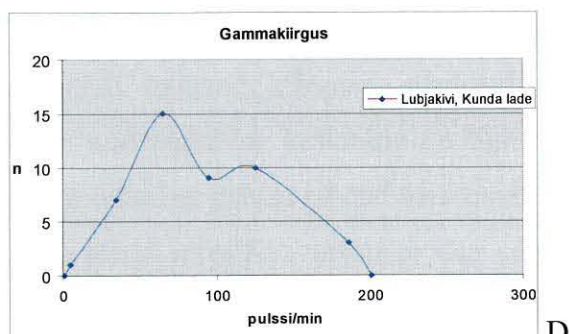
A



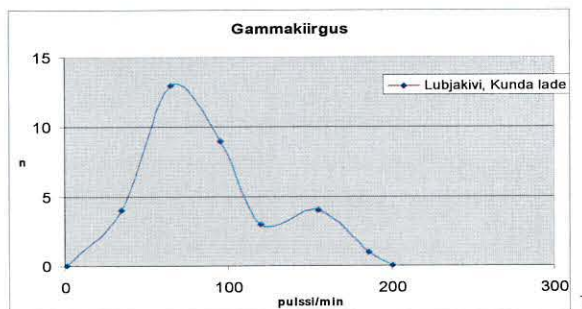
B



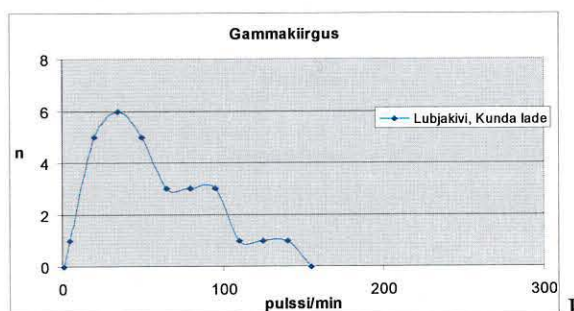
C



D



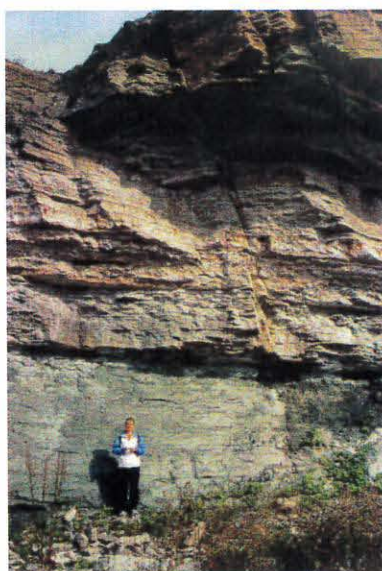
E



F

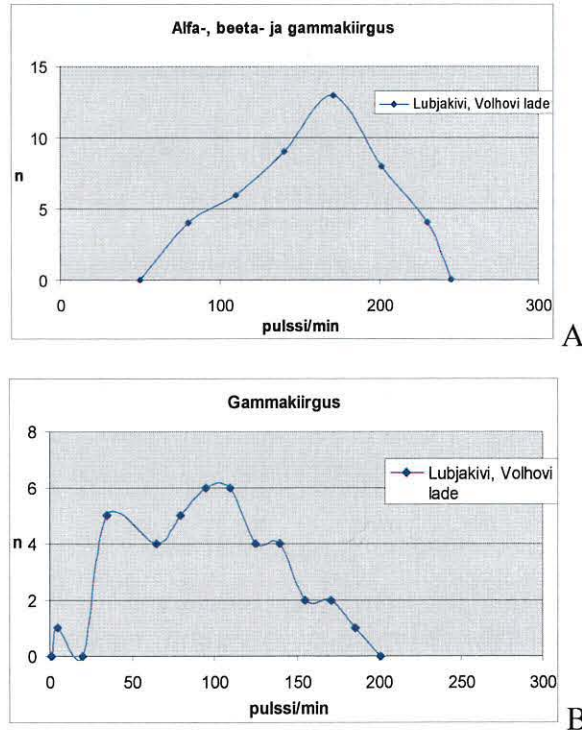
Joonis 3.18. Kunda lademe liivakate lubjakivide radioaktiivsuse graafikud

Volhovi lade on esindatud rohekate glaukoniitlubjakividega. Ka Volhovi lademe mergli vahekihtidega lubjakivid on mõnevõrra suurema radioaktiivsusega, kui Lasnamäe lademe lubjakivid.



Joonis 3.19. Volhovi lademe lubjakivid on Ordoviitsiumi läbilõike kõige vanemateks karbonaatseteks kivimiteks, sisaldavad rohkesti glaukoniiti. Fotol on nad otse roheliste Hunnebergi glaukoniitliivakivide peal. Nende vahele jääb õhuke, lubiainesega ja pisut heledam paarikümne cm paksune Billingeni lade. Ü. Sõstra foto, 2004.a

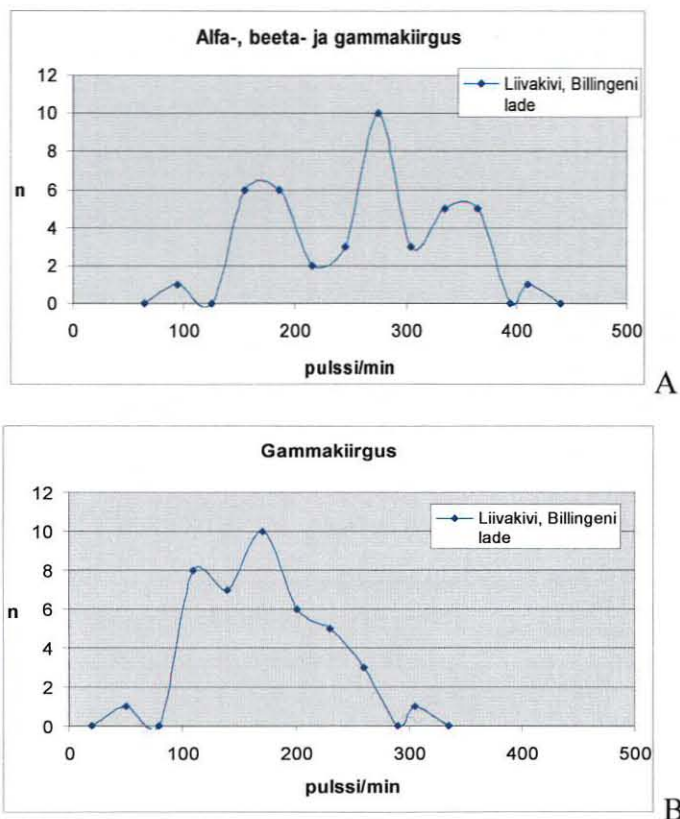
Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse graafikul moodustub üks maksimum väärtusel 163pulssi/min ja kõik näidud hajuvad kiirguse intensiivsuste 65 ja 230pulssi/min (joon.3.20A). Kõigi näitude matemaatiline keskmine on ligilähedaselt sama, 153 pulssi minutis. Ainult γ - kiirguse mõõtmisel jäävad näidud väiksemaks ja hajuvad vahemikus 35 ja 186pulssi/min, seejuures tuleb arvestada, et suure osa sellest kiirgusest moodustab kosmiline kiirgus. Peamine maksimum jääb näitude 95 ja 110pulssi/min vahele (joon. 3.20B), keskmine näit vastab kiirgusvoole 100pulssi/min. Kivim sisaldab vähesel hulgal radioaktiivseid isotoope, mis eraldavad α - ja β - kiirgust. Need võivad olla U, Th ja K.



Joonis 3.20. Volhovi lademe mergeliliste glaukoniitlubjakivide radioaktiivsuse graafikud.

Billingeni lade on Pakri poolsaarel ka väga õhuke, vaevalt 20cm. Tegelikult on see roheliste glaukoniitliivakivide kõige ülemine savi ja lubjarikas kiht (joon.19). Nende kivimite radioaktiivse kiirguse intensiivsus on peaaegu kolm korda kõrgem, kui nende peal lasuvatel lubjakividel. Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse graafikul peamisele maksimumile vastab väärtus 275pulssi minutis ning sümmeetriliselt mõlemal pool veel väiksemad maksimumid kiirguse intensiivsusel 155-186pulssi/min ja 335-365pulssi/min (joon.3.21A). Ainult γ - kiirguse mõõtmisel väheneb peamine maksimum kuni 171pulsini minutis ja jääb vaid üks väiksem maksimum väärtusel 110pulssi/min, üldine hajumine toimub vahemikus 5 ja 305pulssi (joon.3.21B). Matemaatilised keskmised on lähedased graafikult saadud väärtustele, summaarse α -, β - ja γ - kiirguse puhul 271 ja veel teises

kohas 253pulssi/min ja γ – kiirguse mõõtmisel – 165pulssi/min. Ümberarvestatult $\mu\text{Sv/h}$ saame summaarse kiirguse jaoks 0,36 ja 0,38 $\mu\text{Sv/h}$ ja ainult γ – kiirguse jaoks 0,23 $\mu\text{Sv/h}$. Suur osa sellest kiirgusest tuleneb ilmselt kaaliumi radioaktiivsest isotoobist, glaukoniit on üks kaaliumi mineraalidest.



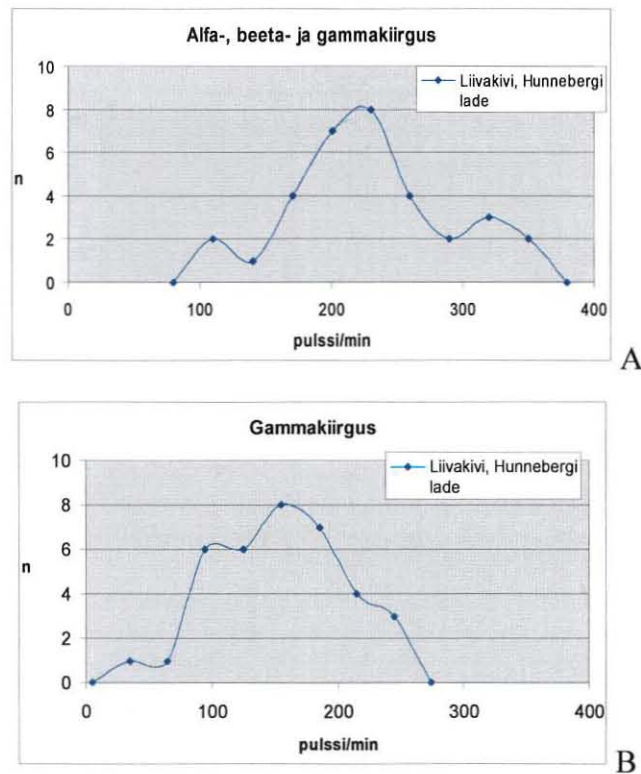
Joonis 3.21. Billingeni lademe lubjakate glaukoniitliivakivide radioaktiivse kiirguse graafikud. Pakri poolsaar, Uuga pank.

Hunnebergi lade on esindatud roheliste glaukoniitliivakividega, mis veega küllumisel võivad hakata isegi voolama. Kohati on kivim kihiline ja isegi peenekihiline, selles leidub ka püriidi konkretsioone. Kivimile on iseloomulik roheline värvus, mis tuleneb kivimi ühest mineraalist – glaukoniidist. Pakril on Hunnebergi lademe paksus kuni 4,0m, see kiht on jälgitav Pakri poolsaarel alates 200m Põhjasadama muulist põhja poole kuni Pakri neeme tipuni (joon.3.22).

Lademe kivimite radioaktiivsust me mõõtsime seitsmes kohas, kuuel juhul summaarse α –, β – ja γ – kiirgust ja γ – kiirgust, ühel juhul lisaks ka summaarset β – ja γ – kiirgust. Esinduslikust kohast (punkt 16) on mõõteandmete järgi koostatud kiirguse graafikud. Summaarse α –, β – ja γ – kiirguse mõõtmisel näidud jagunevad küllalt kompaktselt väärtuste vahemikkudes 110 ja 350pulssi/min, moodustades maksimumi väärtuste 201 ja 230pulssi/min vahel ning keskmise väärtusega 223pulssi/min (joon.3.23A).



Joonis 3.22. Hunnebergi lademe glaukoniitliivakivi muutub kohati voolavaks veega küllastumisel. Pakri poolsaar, Uuga pank.



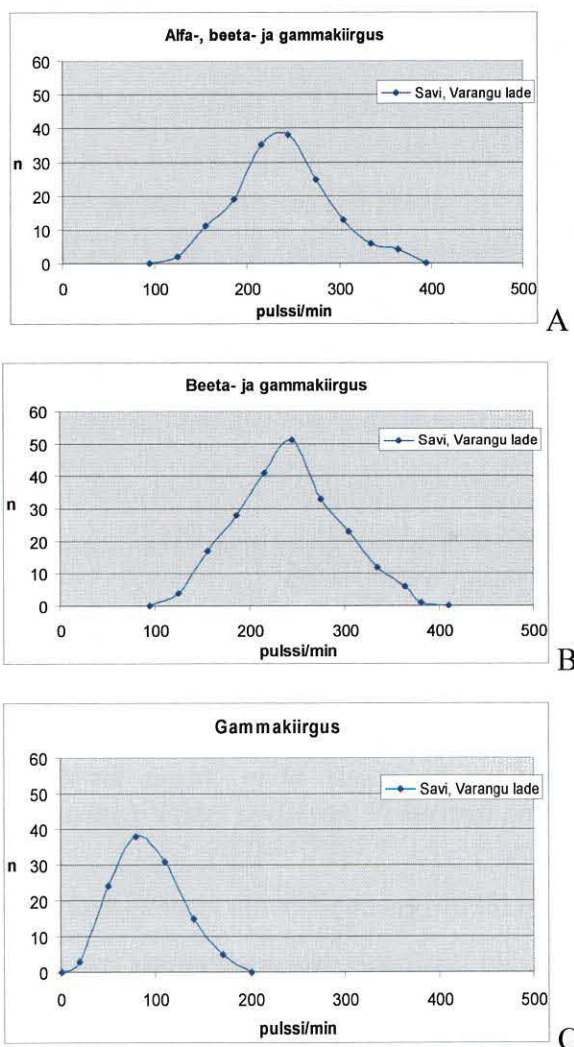
Joonis 3.23. Hunnebergi lademe glaukoniitliivakivi looduslik radioaktiivsus.

Ainult γ – graafikul on peamine maksimum väärtusega 155pulssi/min ja teine väiksem väärtusel 95pulssi minutis. Kõik näidud hajuvad vahemikus 35 ja 245pulssi/min (joon.3.23B). Summaarse α –, β – ja γ – kiirguse keskmised näidud 6-s mõõdetud kohas olid 126, 148, 220, 173. 223 (punkt 16) ja 183pulssi/min, γ – kiirgusel 148 (punkt 16) ja 104pulssi/min.

Täppismõõtmisel tehtud 7-ndas kohas (punkt 39) andis järgmised tulemused: summaarse α -, β - ja γ - kiirguse intensiivsus on 188pulssi/min, summaarse β - ja γ - kiirguse intensiivsus on 183pulssi/min ja γ - kiirguse intensiivsus – 120pulssi/min. Nende andmete põhjal võib teha järelduse, et ainult väike osa üldisest kiirgusvoost kuulub α - kiirgusele ja vähemalt üks kolmandik β - kiirgusele, mille allikaks glaukoniitliivakivis on kaaliumi radioaktiivne isotoop.

Varangu lade ei olnud Pakri poolsaarel kättesaadav glaukoniitliiva all, seepärast kasutasime selle lademe kivimite radioaktiivsuse hindamiseks Varangu lademe pala, mis oli võetud 2003.a kevadel KUMU süvendist. Seal on lademe paksus ja koostis sama, kui Pakri poolsaarel. summaarse α -, β - ja γ - kiirguse intensiivsus (joon.3.24A) on praktiliselt sama, kui summaarse β - ja γ - kiirguse intensiivsus (joon.3.24B) ja vastab ligilähedaselt 230pulssile minutis. See näitab, et olulist α - kiirgust pala ei emiteeri.

Gammakiirguse intensiivsus on oluliselt väiksem ja keskmiselt vastab 80 pulssile minutis, seega jääb loodusliku fooni tasemele. Nende andmete põhjal võib teha järelduse, et oluline osa kiirgusest kuulub β - kiirgusele, mille allikaks on kõrge kaaliumi sisaldusega savi.

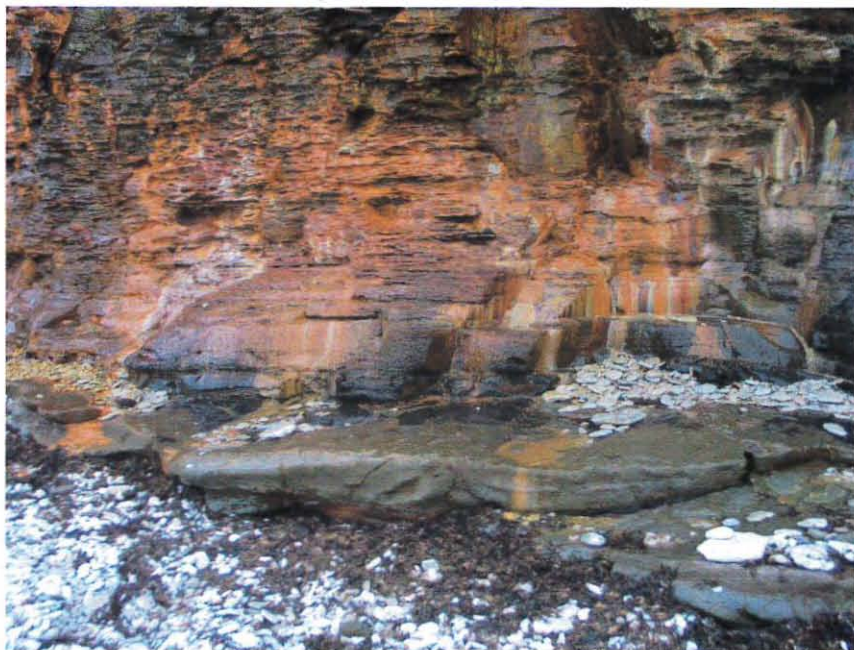


Joonis 3.24. Varangu lademe savi radioaktiivse kiirguse graafikud.

Pakerordi lade koosneb kahest kihistust, Türisalu kihistust üleval ja Kallavere kihistust all. Türisalu kihistu koosneb suhteliselt ühesugustest kildastunud ja enam massiivsetest



A



B

Joonis 3.25. Alam-Ordoviitsiumi Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeensed argilliidid ülemisel fotol ja samad kildad intensiivse põhjavee liikumise piirkonnas (all). Põhjavees oleva hapniku arvel püriit, mida kildas on rohkesti, oksüdeerub ja katab paljandi punakas-pruuni roostega. Pakri poolsaar, Pakerordi pank. 21.10.2007.a.

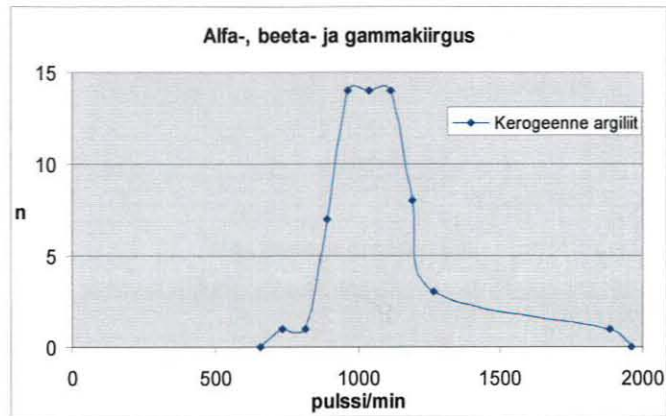
argilliitidest, mis sisaldavad kerogeenset ainet. Need argilliidid on kõrge uraani sisaldusega ja on pakkunud huvi isegi uraani kaevandamiseks, seepärast neile kivimitele me osutasime erilist tähelepanu.

Türisalu kihistu argilliidid olid kõige radioaktiivsemad kivimid Pakri poolsaarel, nad andsid ka maksimaalseid kiirguse näite kõigil kolmel režiimil mõõtmistel. Ootamatult olid kõige kõrge kiirgusega suhteliselt massiivsed kerogeensed argilliidid, mis olid otse vee piiril (punkt 21). Siin ületas keskmine näit 1000pulssi/min, seejuures mõnikord tõusis kiirguse intensiivsus kuni 1886pulssini minutis. Siin andsid 63 järjestikust näitu keskmiseks tulemuseks 1018pulssi/min ja graafikul ühe suhteliselt laia maksimumi kiirguse intensiivsuse 966 ja 1116pulssi/min vahel (joon.3.26A). Näitusid alla 650pulssi/min ei olnudki. Gammakiirgus oli oluliselt nõrgem. Näidud hajusid väärtuste 456 ja 906pulssi/min vahel ja ainus maksimum oli väärtusel 681pulssi/min (joon.3.26B). Üle arvestatuna mikrosiivertiteks tunnis ($\mu\text{Sv/h}$) annab see summaarse α -, β - ja γ - kiirguse intensiivsuseks 1,44 $\mu\text{Sv/h}$ ja γ - kiirguse jaoks 0,90 $\mu\text{Sv/h}$. Samas kohas järgmisel korral tehtud mõõtmistel saime $\mu\text{Sv/h}$ - režiimil näitudeks summaarse α -, β - ja γ - kiirguse jaoks 1,84 $\mu\text{Sv/h}$, β - ja γ - kiirguse jaoks 1,74 $\mu\text{Sv/h}$ ja γ - kiirguse jaoks 1,03 $\mu\text{Sv/h}$. See näitab, et kivimis on radionukliidid, mis emiteerivad kõiki kiirguse liike. Pakri kohta kerogeensete argilliitide kohta keemilised analüüsid ei olnud kättesaadavad, Maardust võetud analüüside järgi on argilliidis kuni 8% K_2O , 11,7g/t Th ja 39g/t uraani. Veelgi suuremad uraani sisaldused on saadud V. Peterelli publitseerimata andmete järgi Klooga puuraugu kerogeenses argilliidis. Puurauk asub meie mõõtmispunktist vaid mõne km kaugusel, seal ulatub uraani sisaldus kuni 171g/t. Seepärast on arusaadav, miks argilliidi radioaktiivne kiirgus on nii tugev.

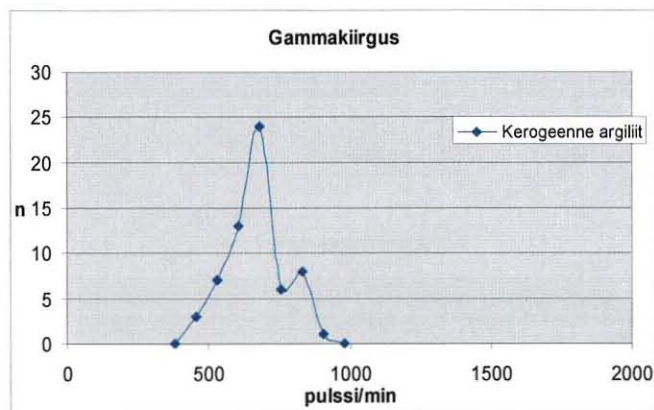
Mõni meeter eemal sellest kohast eemal tugevasti kildastunud ja märgades argilliitides saime mõnevõrra teised tulemused. Peamine maksimum summaarse α -, β - ja γ - kiirguse režiimil andis keskmise väärtuse 831pulssi/min (joon.3.26C) ja 501pulssi/min gammakiirguse mõõtmisel (joon.3.26D). Kohas 21 järgmine kord mõõtmisel saime peaaegu samasugused tulemused, kui esimene kord: Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse intensiivsus jääb 1026 ja 1176pulssi/min vahele (joon.3.26E), aga gammakiirguse keskmine väärtus graafikul vastab 576pulssile minutis (joon.3.26F).

Punktis 31 tehtud mõõtmised tõestavad erakordselt kõrge radionukliidide sisalduse kerogeenses argilliidis. Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse mõõtmisel moodustus üks maksimum vahemikus 951-1176pulssi/min, näitude hajumine toimus vahemikus 726 ja 1401pulssi/min (joon.3.26H). Mõõtmine režiimil β - ja γ - kiirgus ei muutnud suurt midagi, maksimum jääb vahemikku 966-1041pulssi/min (joon.3.26G). Gammakiirguse intensiivsuse mõõtmisel üldine foon vähenes tunduvalt ja moodustab nüüd maksimumi näidul vaid 636pulssi/min (joon.3.26I). Kui kaaliumi ja uraani suur sisaldus ei peaks enam mõjuma üldisele kiirgusvoole, tuleb teha järeldus, et sellise kõrge kontsentratsiooni juures

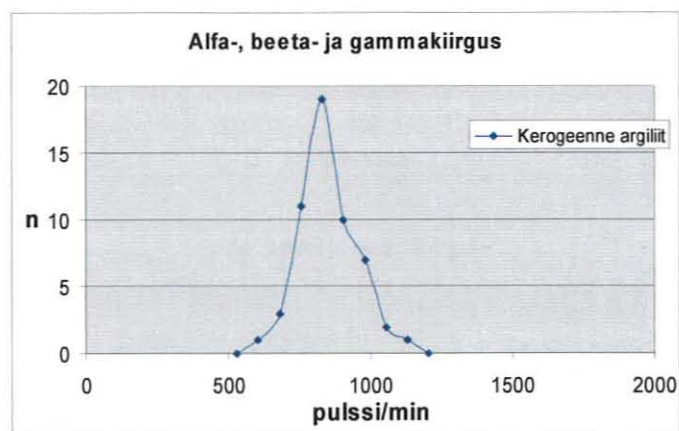
peab kivimis olema ka suurel hulgal lagunemise tütarprodukte, mis tõstavad γ – kiirguse intensiivsuse kõrgele. Põhjavee poolt läbiuhutud märgades kerogeensetes argilliitides võib summaarse α –, β – ja γ – kiirguse intensiivsus muutuda oluliselt madalamaks ja jääda alla 700 pulsi minutis (koht 33).



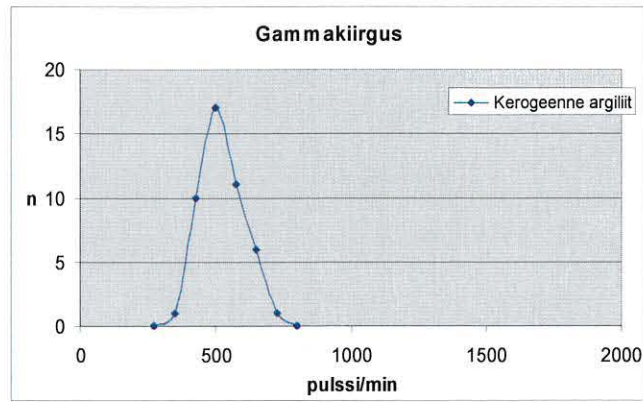
A



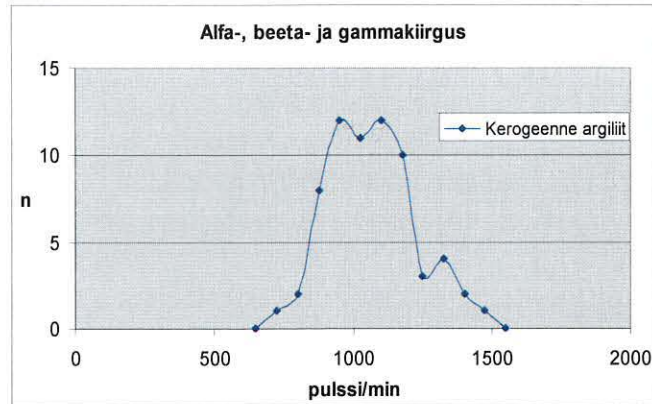
B



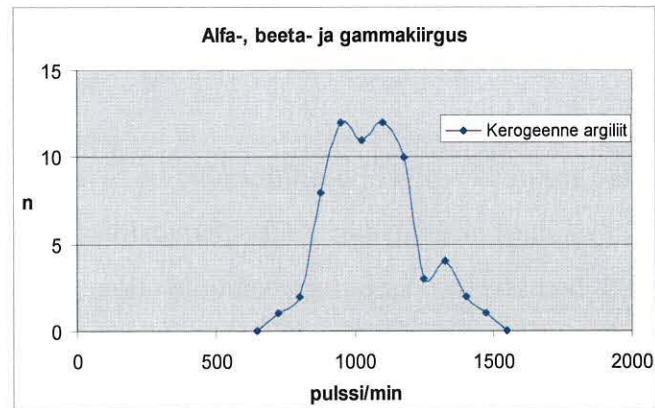
C



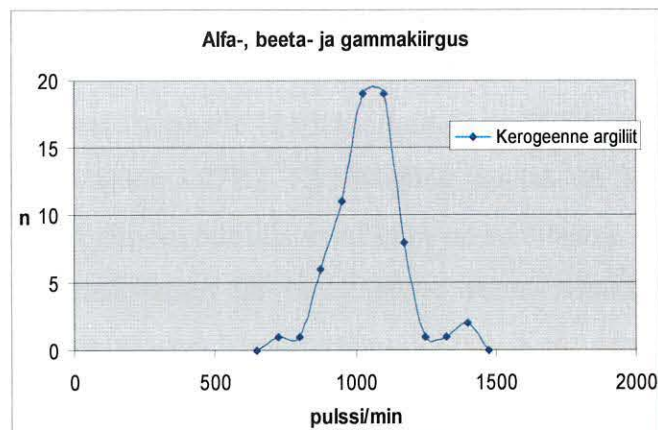
D



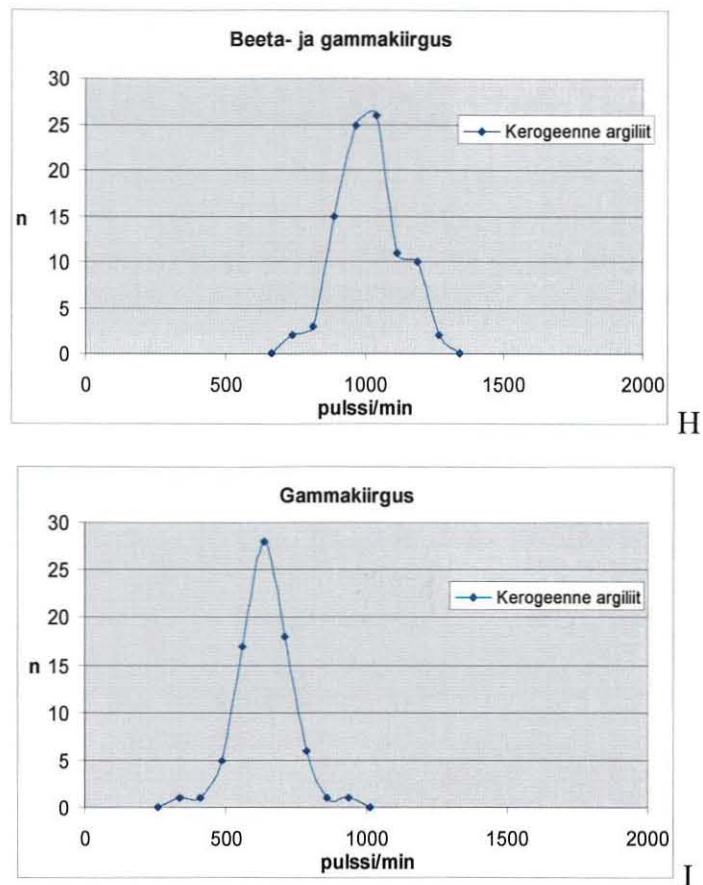
E



F



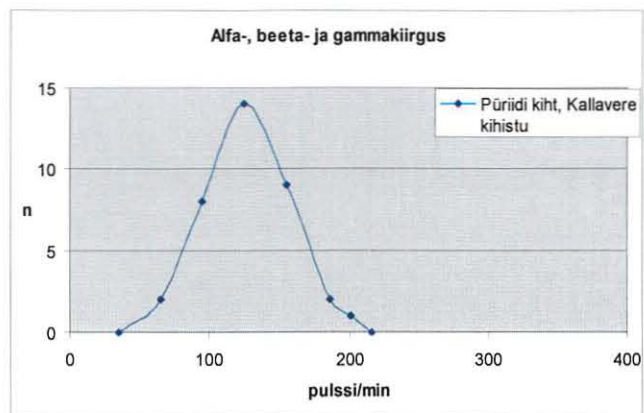
G



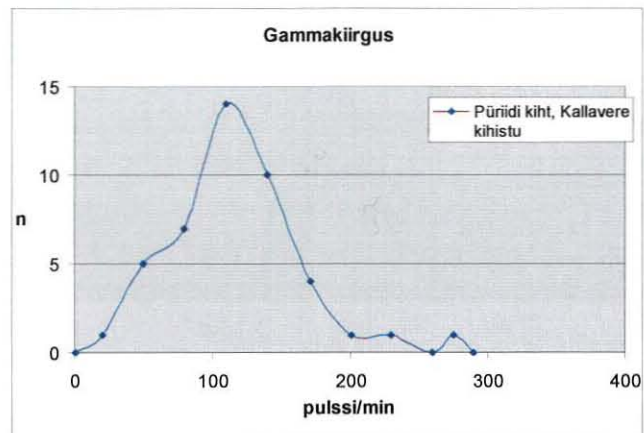
Joonis 3.26. Türisalu kihistu kerogeense argilliidi looduslik radioaktiivsus Pakri poolsaare Uuga ja Parkerordi pangal.

Kallavere kihistu liivakivid on põimkihilised ja kõige ülemises osas, vahetult kerogeense argilliidi all tugevasti püriidistunud, sageli nimetatakse seda ka püriidi kihiks, kuid selle hilisem teke on ilmne, sest püriidistunud osas on säilinud põimkihilisus. Kallavere kihistuks loeme Pakri poolsaarel liivakivisid kuni nende all olevate Ordoviitsiumi basaalsete konglomeraatideni.

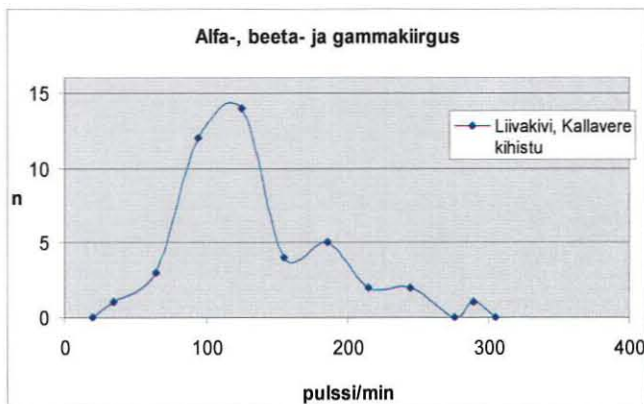
Püriidiga liivakivides, vaatamata nende vahetule kontaktile kerogeense argilliidiga on radioaktiivse kiirguse tase suhteliselt madal. Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse intensiivsus jääb keskmisele tasemele 125pulssi/min (joon.3.27A) ja γ - kiirgus keskmisele tasemele 110pulssi/min (joon.3.27B). Samasugune madal on kiirguse tase kihilistes liivakivides, paar meetrit allpool püriidistunud kihti on summaarse α -, β - ja γ - kiirguse intensiivsuse peamine maksimum 95 ja 125pulssi vahel minutis (joon.3.27C) ja γ - kiirguse taseme keskmine väärtus 95pulssi/min (3.27D). Kuid juba õhukesed kerogeense argilliidi kirmed ja soonekesed tõstavad kiirgustaset mitmekordselt. Sellistes liivakivides tõuseb summaarse α -, β - ja γ - kiirguse intensiivsus 230-260pulsini minutis (joon.3.27E) ja γ - kiirguse tase 140pulsini minutis (joon.3.27F).



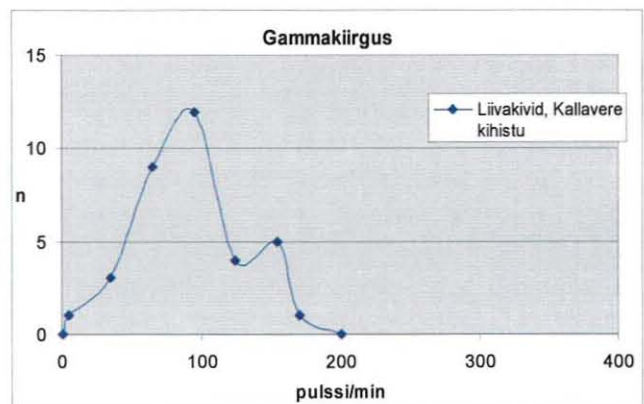
A



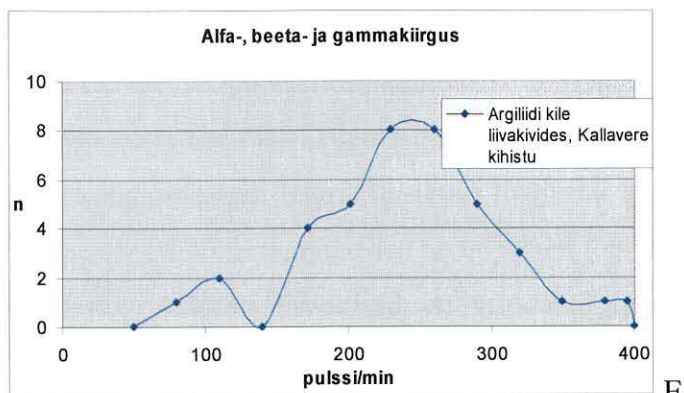
B



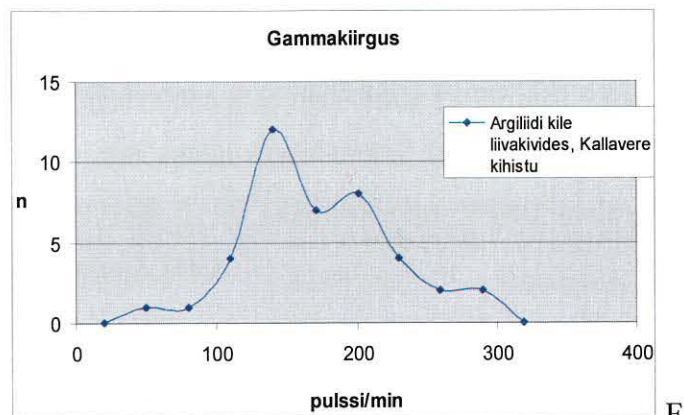
C



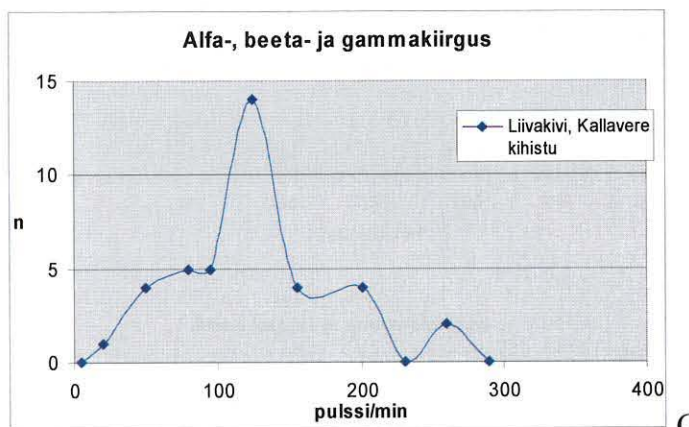
D



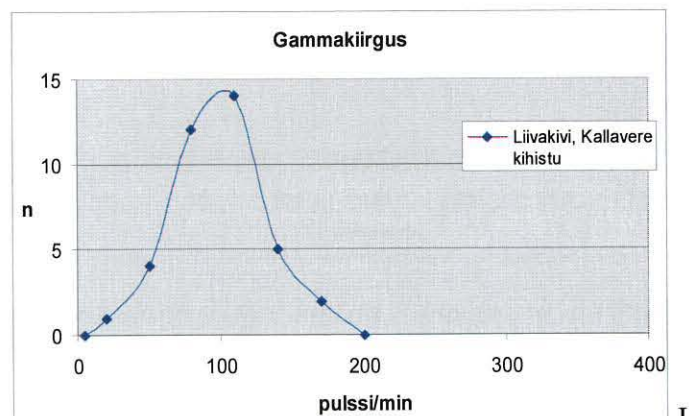
E



F



G



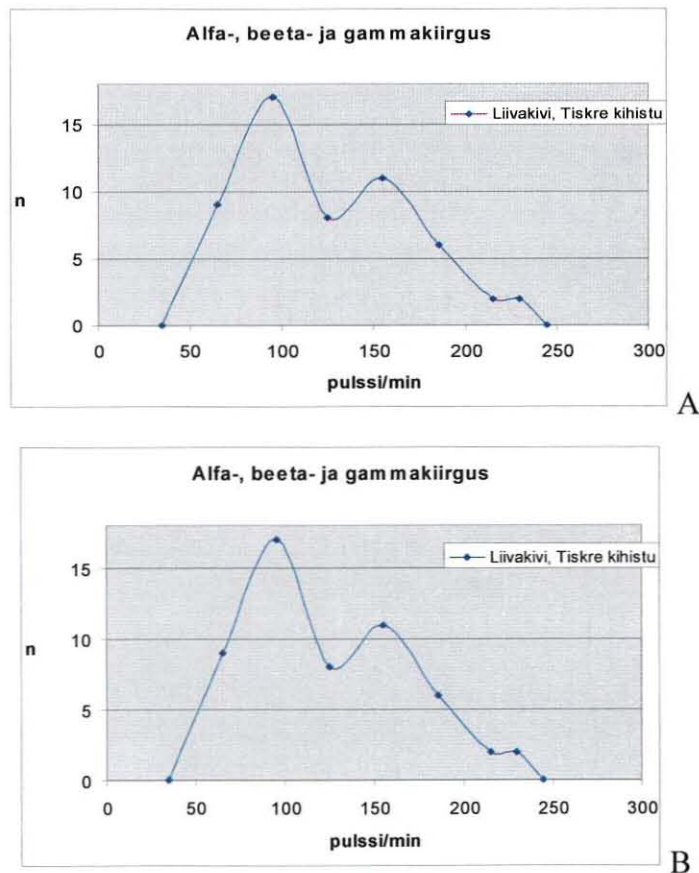
H

Joonis 3.27. Kallavere kihistu liivakivide radioaktiivse kiirguse graafikud

Ilma kerogeense argilliidi soonte ja vahekihtideta on liivakivi loodusliku kiirguse tase suhteliselt madal ega tõuse üle 125pulssi/min summaarse α -, β - ja γ - kiirguse jaoks (joon.3.27G) ja moodustab keskmiselt 80-110pulssi/min γ - kiirguse jaoks (joon.3.27H).

Ordoviitsiumi basaalses konglomeraadi leidub üksikuid fosforiidi läätsi, seega peaks selle radioaktiivse kiirguse tase olema kõrgem, nagu see on tavaliselt fosforiididel.

Kambriumi ladestu Tiskre kihistu liivakivid on esindatud helehallide Rannamõisa kihistiku peeneteraliste liivakividega. Neis ei ole komponente, mis võiksid kiirgust oluliselt lisada looduslikule foonile, seepärast jääb nende kiirgus peaaegu kõige madalamale kõigist liivakividest. Summaarse α -, β - ja γ - kiirguse intensiivsus jääb peamiselt intervallide 50 ja 230pulssi/min vahele, andes peamise maksimumi väärtusel 95pulssi/min (joon.3.28A), γ - kiirguse intensiivsus jääb veelgi madalamaks, kaovad kõige suurema intensiivsusega näidud, järelejäänud hajuvad 5 ja 171pulssi/min vahel, andes peamise maksimumi väärtusel 95pulssi/min (joon.3.28B).



Joonis 3.28. Kambriumi ladestu Tiskre kihistu Rannamõisa kihistiku heledate liivakivide radioaktiivse kiirguse graafikud

Kokkuvõtteks võib öelda, et kõik erinevad aluspõhja kivimid erinevad ka loodusliku radiatsiooni poolest vastavalt sellele, milliseid radioaktiivseid isotoope need kivimid oma koostises omavad. Kõigist kivimitest eristub tugeva radioaktiivsusega kerogeenne argilliid, mida kirjanduses nimetati varem diktüoneema kildaks. Selle radioaktiivsus ületab foonilise

sageli üle 10 korra, kuigi mitte alati ei ole võimalik määrata täpselt, kui kõrge radioaktiivsusega need kivimid algselt olid, sest osa radionukliide on vees lahustuvad ja kivimi pealmistest kihtidest välja kantud.

Üldine tulemuste analüüs antakse peatükis 4.

4. TULEMUSTE USALDUSVÄÄRTUSE KONTROLL JA MÕÕTEANDMETE ÜLDISTUS

Loodusobjektid on mitmekülgsed ja seepärast ei ole nad kirjeldatavad ega mõõdetavad lihtsal moel. Nad on paljude eriomadustega. Pakri poolsaare kivimite radioaktiivsuse mõõtmisel ja hindamisel on mõõdetavaks looduslikuks kivimite tunnuseks nende looduslik radioaktiivsus. Looduslik radioaktiivsus sõltub kosmilise kiirguse intensiivsusest, mis muutub aja jooksul, aga samuti kivimite keemilisest koostisest ja radioaktiivsete isotoopide sisalduseks. Maakoore peamisteks radioaktiivseteks elementideks on uraan, toorium ja kaalium.

Kivimite mõõtmistulemused on üksikud arvud, mis varieeruvad erinevates piirides sõltuvalt aluspõhja kivimitest ja kosmilise kiirguse intensiivsusest. Mõõtmistulemuste usaldusvääruse hinnanguks on vaja teha mõõtmisandmete täpsuse analüüs, milleks kasutatakse statistilise analüüsi teooriat ja meetodeid.

Statistika peamised matemaatilised mõisted on:

- Tunnus - geoloogilise objekti: maavara, kivimi, lasuvuse jne omadusi mõõtev arvväärus.
- Valim - on kogum mõõdetava objekti tunnuseid, näiteks mõõtmiskohtades, proovides, laborites jm saadud mõõtmistulemusi.

Peamised statistilised tunnused, mille abil tehakse andmete hindamine ja mõõtmiste täpsus, on järgmised:

- keskväärus: antud töös kasutatakse aritmeetilist keskmist
- muutlikkuse ja mõõtmistulemuste hajuvuse tunnusteks on **standardhälve** ja **variatsioonikordaja**.

Valimi suuruse määramisel peab olema teada tunnuse hajumist iseloomustav valimi standardhälve, aritmeetilise keskmise lubatav hälve, lubatava hälbe ületamise tõenäosus ehk aritmeetilise keskmise mõõtemääramatuse usaldatavus, lisaks viimasele võetakse arvesse, et keskväärus peab olema ette antud radades ehk antakse ette kahepoolsed usaldusrajad.

Valimi suurus määratakse valemiga

$$n = \left(\frac{t^* s_p}{p^* \rho} \right)^2 \quad (4.1)$$

kus:

t – Stjudenti kordaja. Vastavalt usaldustasemele 90% võetakse Stjudenti kordaja 0,8,

s_p – valimi standardhälve,

p – mõõdetava tunnuse keskvärtus,

ρ – ette antud suhteline viga võrdub 0,05 ehk 5%.

Variatsioonitegur arvutatakse valemiga: $v = s_p / p$. Laborikatsete ja välitööde andmete statistilise analüüsi tulemused on esitatud vastavalt tabelites 4.1 ja 4.2.

Tabelis 4.1. on toodud laboris 18.09.2007.a ja 23.11.2007.a TTÜ mäeinstituudi kabinetis VII-208 tehtud loodusliku fooni ja mõne kivimipala mõõtmise andmete usaldusväärsuse analüüs, andmed ise on toodud peatükis 3.2.

Tabel 4.1.

Laboritööde statistilise analüüsi tulemused

Kivimi nimetus	Kiirguse liig	keskmine	standardhälve	variatsiooni-kordaja	Vajalik mõõtmiste arv	tehtud mõõtmiste arv	Vahe
Lasnamäe lubjakivi;	α, β, γ	76.4	37.1	0.49	60	402	342
	β, γ	75.5	37.1	0.49	62	209	147
Väo kihistu	γ	62.1	33.9	0.55	76	181	105
Töölaud ilma palata 23.11.2007	α, β, γ	66.9	60.4	0.90	209	97	-112
	β, γ	72.6	40.7	0.56	80	121	41
	γ	64.8	32.4	0.50	64	104	40
Ooidlubjakivi Aseri lade	α, β, γ	121.6	41.5	0.34	30	118	88
	β, γ	119.2	45.7	0.38	38	118	80
	γ	66.0	38.4	0.58	87	101	14

Tabel 4.2. tehakse välitööde mõõtmisandmete usaldusväärsuse analüüs. Andmed ise on toodud peatükis 3.3.

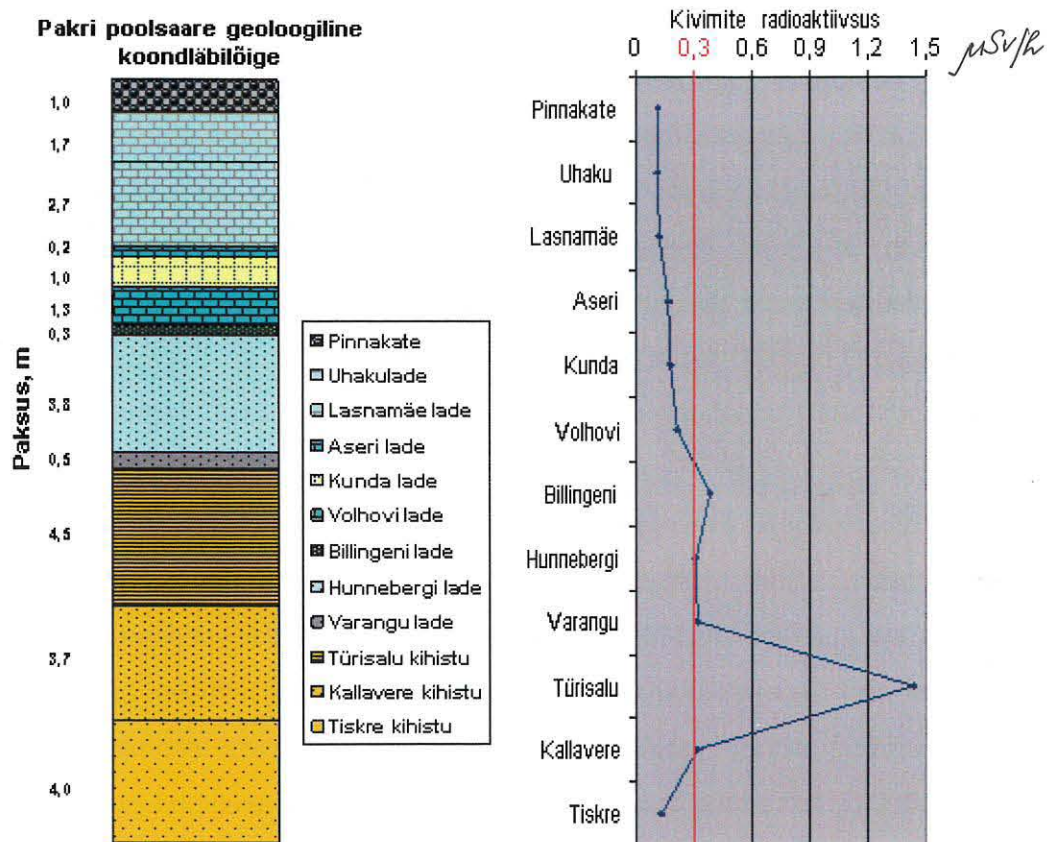
Välitööde andmete statistiline analüüs

N	Kivimi nimetus	Kiirguse liig	keskmine	standardhälve	variatsioonikordaja	Vajalik mõõtmiste arv	tehtud mõõtmised	Vahe
1	Muru	α, β, γ	74,5	40,7	0,55	77	39	-38
2	Graniidi rahn	α, β, γ	353,2	73,3	0,21	11	30	19
3	Gabro rahn	α, β, γ	79,0	35,9	0,45	53	60	7
4	Rannavall	α, β, γ	102,6	45,7	0,45	51	50	-1
		γ	69,1	35,5	0,51	68	71	3
5	Glaukoniitliivakivi	α, β, γ	125,6	49,9	0,40	40	81	41
6	Glaukoniitliivakivi	α, β, γ	147,7	54,4	0,37	35	38	3
7	Glaukoniitliivakivi	α, β, γ	253,0	77,0	0,30	24	42	18
		γ	165,1	53,1	0,32	26	41	15
8	Glaukoniitliivakivi	α, β, γ	219,7	54,0	0,25	15	60	45
9	Glaukoniitliivakivi	α, β, γ	271,0	63,4	0,23	14	58	44
10	Glaukoniitliivakivi	α, β, γ	172,5	56,3	0,33	27	42	15
11	Lubjakivi	α, β, γ	85,5	40,5	0,47	58	33	-25
		γ	60,0	29,2	0,49	60	37	-23
12	Lubjakivi mergli vahehtidega	α, β, γ	153,0	43,3	0,28	20	44	24
		γ	99,6	41,9	0,42	45	40	-5
13	Liivakas lubjakivi	α, β, γ	126,8	53,2	0,42	45	37	-8
		γ	78,0	38,1	0,49	61	45	-16
14	Liivakas lubjakivi	α, β, γ	112,9	40,2	0,36	32	41	9
		γ	76,3	42,0	0,55	77	38	-39
15	Lubjakivi mergli vahehtidega	α, β, γ	85,2	36,8	0,43	48	35	-13
		γ	76,4	27,7	0,36	34	37	3
16	Glaukoniitliivakivi	α, β, γ	222,5	60,5	0,27	19	33	14
		γ	147,7	52,5	0,36	32	36	4
17	Graniit	α, β, γ	213,8	51,7	0,24	15	57	42
		γ	130,1	49,3	0,38	37	40	3
19	Glaukoniitliivakivi	α, β, γ	182,7	63,4	0,35	31	46	15
		γ	104,4	46,7	0,45	51	44	-7
20	Rannavall	α, β, γ	531,2	87,1	0,16	7	56	49
		γ	200,5	62,8	0,31	25	45	20
21	Kerogeenne argiliit	α, β, γ	1018,0	184,1	0,18	8	68	60
		γ	633,7	95,7	0,15	6	59	53
22	Liivakivi argiliidiga	α, β, γ	665,9	130,4	0,20	10	48	38
44	Liivakivi argiliidi vahekihtidega	α, β, γ	763,2	95,6	0,13	4	59	55
		γ	435,4	83,0	0,19	9	42	33
23	Püriidi kiht liivakivides	α, β, γ	125,5	35,6	0,28	21	39	18
		γ	110,0	49,5	0,45	52	44	-8
24	Rannavall vähese argiliidiga	α, β, γ	196,7	52,6	0,27	18	39	21
		γ	145,3	50,3	0,35	31	64	33
25	Liivakivi; kihilised	α, β, γ	125,8	52,3	0,42	44	43	-1
		γ	87,7	38,8	0,44	50	35	-15
26	Must kile liivakivides	α, β, γ	233,6	68,3	0,29	22	39	17
		γ	160,8	51,5	0,32	26	39	13
27	Liivakivi; kihilised	α, β, γ	116,0	53,9	0,46	55	39	-16
		γ	92,7	33,2	0,36	33	38	5
28	Liivakivi argiliidi vahekihtidega	α, β, γ	373,3	78,0	0,21	11	47	36
		γ	164,8	42,4	0,26	17	40	23
29	Kerogeenne argiliit	α, β, γ	826,2	106,4	0,13	4	55	51
		γ	487,5	76,4	0,16	6	45	39

Järg. tabel 4.2.

N	Kivimi nimetus	Kiirguse liig	keskmine	standardhälve	variatsioonikordaja	Vajalik mõõtmiste arv	Tehtud mõõtmised	
30	Kerogeenne argiliit	α, β, γ	1032,2	158,5	0,15	6	64	58
		β, γ	170,7	23,9	0,14	5	79	74
		γ	566,6	103,8	0,18	9	109	100
31	Kerogeenne argiliit	α, β, γ	983,6	115,4	0,12	4	84	80
		β, γ	1025,1	124,4	0,12	4	69	65
		γ	616,1	98,1	0,16	6	78	72
32	Kerogeenne argiliit, mikrosiverti/h	α, β, γ	1,8	0,2	0,10	3	44	41
		β, γ	1,7	0,2	0,13	4	54	50
		γ	1,0	0,2	0,16	7	61	54
33	Kerogeenne argiliit	α, β, γ	698,0	107,0	0,15	6	65	59
34	Liivakivi	α, β, γ	265,8	64,3	0,24	15	68	53
35	Liivakivi	α, β, γ	130,9	42,3	0,32	27	40	13
		α, β, γ norm	139,4	9,0	0,06	1	44	43
		α, β, γ norm	124,8	23,1	0,19	9	53	44
		β, γ	126,5	44,2	0,35	31	57	26
		γ	59,0	34,8	0,59	89	44	-45
		γ norm	53,7	12,6	0,23	14	29	15
37	Liivakivi	α, β, γ norm	115,1	13,9	0,12	4	51	47
		α, β, γ	117,7	47,9	0,41	42	55	13
		γ	81,1	38,5	0,47	58	40	-18
		γ norm	79,4	7,5	0,09	2	30	28
38	Liivakas lubjakivi	α, β, γ norm	88,9	11,0	0,12	4	38	34
		α, β, γ	91,7	39,0	0,43	46	45	-1
		γ	57,2	34,4	0,60	92	29	-63
		γ norm	61,2	6,9	0,11	3	34	31
39	Glaukoniitliivakivi	α, β, γ norm	188,5	20,3	0,11	3	55	52
		β, γ norm	183,2	19,5	0,11	3	44	41
		γ norm	119,8	16,2	0,14	5	44	39
40	Lubjakivi	α, β, γ norm	86,4	11,1	0,13	4	33	29
		γ norm	67,4	8,9	0,13	4	38	34
41	Lubjakivi	α, β, γ norm	71,5	10,2	0,14	5	40	35
		β, γ norm	70,0	9,2	0,13	4	45	41
		γ norm	59,6	10,6	0,18	8	52	44
42	Lubjakivi	α, β, γ norm	70,2	11,9	0,17	7	31	24
		β, γ norm	107,2	15,7	0,15	6	43	37
		γ norm	61,2	9,6	0,16	6	40	34
43	Põld	α, β, γ	70,3	33,5	0,48	58	17	-41
		γ	52,9	20,8	0,39	40	26	-14

Järeldused: Üle 75% andmetest vastab kõigele matemaatilise analüüsi ja statistika nõuetele. Statistika nõuetele ei vasta radioaktiivse kiirguse intensiivsuse mõõtmised foonilisel tasemel, kus loodusliku fooni kõikumised ületavad mitmekordselt mõõdetava objekti enda radioaktiivsuse. Niipea, kui objekti radioaktiivsus on 2-3 korda kõrgem looduslikust foonist, töötab statistiline analüüs ideaalselt.



Joonis 4.1. Eesti aluspõhja kivimite geoloogiline läbilõige ja nende radioaktiivsus.

Pakri poolsaare loodusliku radioaktiivsuse kohta võib teha järgmised üldised järeldused.

1. Poolsaare pinnased ei kanna radioaktiivse reostuse jälgi, välja arvatud tuumaobjekt Paldiski linna kõrval, kus siiani seisavad ladustatuna radioaktiivsed jäätmekäbid. Mõõtmisandmete järgi on maapinnal mõõdetud kiirguse foon loodusliku intensiivsusega.
2. Poolsaare lääneranniku rannavallid uuendatakse pärast iga suuremat tormi ja koosnevad kohalikest aluspõhja kivimite veeristest.
3. Lasnamäe lademe lubjakivide looduslik radioaktiivsus on madal ja jääb foonilisele tasemele (joonis 4.1).
4. Lisandid lubjakivis (glaukoniit, ooidid, liiv jne) tõstavad nende loodusliku radioaktiivsust kuni 2-3 korda.
5. Kõrgenenud radioaktiivsusega on kivimid, mis sisaldavad oma koostised radioaktiivseid isotoope, nagu kaalium, uraan või toorium. Suhteliselt nõrgalt radioaktiivsed on glaukoniitliivakivi, savi, rahnudest mikrokliin-graniidid ja migmatiidid.

6. Kõrge radioaktiivsusega on Pakerordi lademe Türisalu kihistu kerogeensed argilliidid, kus kiirgustase paljandites tõuseb kohati summaarse α -, β - ja μ - kiirguse mõõtmisel kuni $1,84\mu\text{Sv/h}$ (tabel 4.3). Kõige kõrgemad mõõdetud doosid iseloomustavad suhteliselt massiivseid argilliite, tugevasti kildastunud ja veega küllastunud argilliidid näitavad kuni 2-3 korda madalamat kiirguse taset.
7. Radioaktiivse kiirguse mõõdik (radiomeeter) Pakri -E on mugav käsitluses kaasaegne seade, mida saab kasutada suhteliselt nõrga radioaktiivse kiirgusega ja tugevasti radioaktiivsete objektide uurimisel, samuti keskkonna radiatsiooni ohutuse hindamisel, näiteks Maardu kaevandatud alade radioaktiivse kiirguse hindamisel.
8. Mitte ainult kivimid ise ei kujuta ohtu inimeste elule ja tervisele. Tallinna ümbruses on suurel alal levinud kerogeenne argilliit, mille uraani sisaldus Klooga puursüdamikus mõnes kihis ulatus 171g/t kohta, see laguneb pidevalt radioaktiivselt, emiteerides erakordselt ohtlikku radooni. Eriti radooniohtlikud alad Tallinna ümbruses on Tabasalu, Rannamõisa, Muraste jt. Siiani vastaval tasemel keskkonnauuringuid ei ole tehtud ka Pakri poolsaarel ja Paldiski linnas. Kuigi argilliidi kiht on eraldatud maapinnast kuni 10-15m paksuse lubjakivide kihiga, läbivad seda suured lõhed, mille kaudu radoon pääseb maapinnale.

N	Kivimi lühikirjeldus	Lade/Kihistu
1	Muru	Kvatemaar
2	Granidi rahn	Eelkambrium
3	Gabro rahn	Eelkambrium
4	Rannavall	Kvatemaar
5	Glaukonitliivakivi	Hunnebergi
6	Glaukonitliivakivi	Hunnebergi
7	Glaukonitliivakivi	Billingeni
8	Glaukonitliivakivi	Hunnebergi
9	Glaukonitliivakivi	Billingeni
10	Glaukonitliivakivi	Hunnebergi
11	Lubjakivi	Lasnamäe
12	Lubjakivi mergli vahekihtidega	Volhovi
13	Liivakas lubjakivi	Kunda
14	Liivakas lubjakivi	Kunda
15	Lubjakivi mergli vahekihtidega	Lasnamäe
16	Glaukonitliivakivi	Hunnebergi
17	Graniit	Eelkambrium
19	Glaukonitliivakivi	Hunnebergi
20	Rannavall	Kvatemaar
21	Kerogeenne argiliit	Türisalu
22	Liivakivi argillidiga	Kallavere
44	Liivakivi argillidi vahekihtiga	Kallavere
23	Püriidi kiht liivakivides	Kallavere
24	Rannavall vähese argillidiga	Kallavere
25	Liivakivid; kihilised	Kallavere
26	Must kile liivakivides	Kallavere
27	Liivakivid; kihilised	Kallavere
28	Liivakivi argilliiti vahekihtiga	Kallavere
29	Kerogeenne argiliit	Türisalu
30	Kerogeenne argiliit	Türisalu
31	Kerogeenne argiliit	Türisalu
32	Kerogeenne argiliit	Türisalu
33	Kerogeenne argiliit	Türisalu
34	Koglomeraat	Kallavere
35	Liivakivid	Tiskre
37	Liivakivid	Tiskre
38	Liivakas lubjakivi	Kunda
39	Glaukonitliivakivi	Hunnebergi
40	Lubjakivi	Lasnamäe
41	Lubjakivi	Lasnamäe
42	Lubjakivi	Lasnamäe
43	Põld	Kvatemaar

Tabel 4.3

Kokkuvõtlik tabel Pakri poolsaarel teostatud radioaktiivsuse mõõtmistest

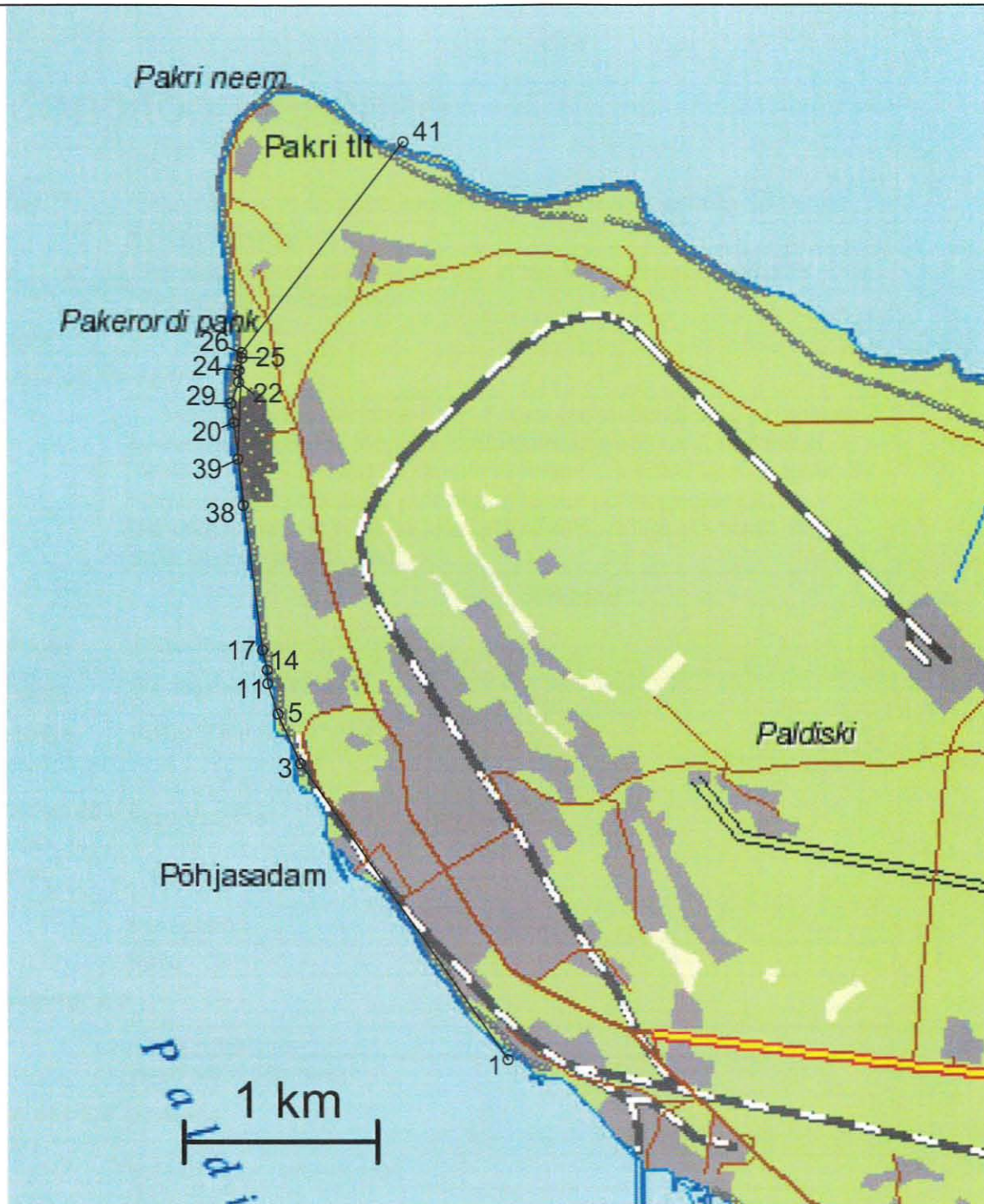
Koordinaadid		Mõõtmised, pulssi/min						Mõõtmised, $\mu\text{Sv/h}$					
		Normaalrežiim			Täppisrežiim			Normaalrežiim			Täppisrežiim		
		α, β, γ	β, γ	γ	α, β, γ	β, γ	γ	α, β, γ	β, γ	γ	α, β, γ	β, γ	γ
N 59°20,684	E 24°03,635	75						0,11					
N 59°20,684	E 24°03,635	353						0,50					
N 52°21,506	E 24°02,511	79						0,11					
		103		69				0,15		0,10			
N 59°21,644	E 24°02,388	126						0,18					
N 59°21,644	E 24°02,388	148						0,21					
		253		165				0,36		0,23			
		220						0,31					
		271						0,38					
		173						0,24					
N 59°21,728	E 24°02,332	85		60				0,12		0,08			
N 59°21,751	E 24°02,330	153		100				0,22		0,14			
		127		78				0,18		0,11			
N 59°21,766	E 24°02,329	113		76				0,16		0,11			
N 59°21,766	E 24°02,329	85		76				0,12		0,11			
		177		113				0,25		0,16			
N 59°21,848	E 24°02,304	214		130				0,30		0,18			
		183		104				0,26		0,15			
N 59°22,451	E 24°02,151	531		201				0,75		0,28			
N 59°22,504	E 24°02,136	1018		634				1,44		0,90			
N 59°22,563	E 24°02,178	666						0,94					
		763		435				1,08		0,61			
		126		110				0,18		0,16			
N 59°22,595	E 24°02,180	197		145				0,28		0,20			
N 59°22,629	E 24°02,196	126		88				0,18		0,12			
N 59°22,644	E 24°02,195	234		161				0,33		0,23			
		116		93				0,16		0,13			
		373		165				0,53		0,23			
N 59°22,504	E 24°02,136	826		488				1,17		0,69			
N 59°22,504	E 24°02,136	1032		567				1,46		0,80			
N 59°22,504	E 24°02,136	1025	984	616				1,45	1,39	0,87			
N 59°22,504	E 24°02,136							1,84	1,74	1,03			
		698						0,99					
		266						0,38					
		131	126	59	139	125	54	0,18	0,18	0,08	0,20	0,18	0,08
		118		81	115		79	0,17		0,11	0,16		0,11
N 59°22,223	E 24°02,201	92		57	89		61	0,13		0,08	0,13		0,09
N 59°22,350	E 24°02,173				188	183	120				0,27	0,26	0,17
					86		67				0,12		0,09
N 59°23,228	E 24°03,074				72	70	60				0,10	0,10	0,08
N 59°23,228	E 24°03,074				70	107	61				0,10	0,15	0,09
		70		53				0,10		0,07			

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Eesti standard. EVS 840:2003. Radooniohutu hoone projekteerimine
2. Einasto, R., Mens, K. 1996. Aluspõhi. – Rmt: H. Kink (koost.). Pakri poolsaar – loodus ja inimtegevus. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, lk. 16-30
3. Ioniseeriv kiirgus. Inimene kiirgusväljas. Käitumine kiirgushädaolukorras. 2004. Tallinn
4. Jõgioja, E. 2004. Radooniohutu elamu. OÜ Ehitusteave, Tallinn
5. Kiipli, T., jt. 2000 Seven sedimentary rock reference samples from Estonia „Oil Shale“
6. Kiirgusseadus, 2004
7. Kõiv, K., jt. 2006. Kiirgus, inimesed ja keskkond. Mixi Kirjastus OÜ
8. Lembra, J. 1990. Radioaktiivsus – metoodiline juhend. Tallin, 3-5 lk
9. Miidel, A. 2000. Pinnavormid. Paljandid. Rändrahnud. – Rmt: Loodusmälestised 5, Harjumaa: Paldiski, Pakri poolsaar ja saared. Teaduste akadeemia kirjandus, Tallinn, 11-17 lk (H. Kink)
10. Nestor, H., jt. 2006. Ordoviitsium Eestis ja Lõuna-Soomes. GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk
11. Petersell, V jt. 2005. Eesti geoloogia keskuse infoleht. Tallinn
12. Pirrus, E. 2001. Eesti geoloogia. TTÜ kirjastus, Tallinn. 1-
13. Pirrus, E., jt. 2006 Vend ja Kambrium Eestis ja Lõuna-Soomes. GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, 32 lk
14. Radioaktiivse kiirguse mõõdik PAKRI-E. Kasutamise juhend, Tallinn
15. Radoon – looduslik risk sinu tervisele. 2004, Tallinn
16. Suuroja, K. 1997. Eesti aluspõhja geoloogiline kaart mõõtkavas 1:400 000 ja seletuskiri. Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus, 60 lk
17. Большая советская энциклопедия. 1978. Москва, «Советская энциклопедия», т.27. Главный ред. А. Н. Прохоров
18. Иванов, В.В. 1994. Экологическая геохимия элементов. Книга 1: S-элементы. Москва: Недра. 305с.

Interneti viided:

1. <http://www.englo.ee/> 06.11.2007
2. www.kiirguskeskus.ee
3. www.maaamet.ee
4. <http://www.obs.ee/~jaak/loengud/teine/yksteist/kakskymmend1.html> -
loengukonspekt
5. www.scotese.com



Märkused:

1. Koordinaadid L-Est 97 süsteemis
2. Kaart on koostatud Maa-ameti kardiserveri väljavõtte alusel
3. AutoCad-is litsents 42600ACD_2004_0F

Magistri lõputöö		Pakri poolsaare kivimite radioaktiivsus ja selle keskkonnoahtlikkus		
Radioaktiivsuse mõõtmiskohtade plaan				Möötkava
Koostaja	Anna Kruglova		 TTÜ Mäeintituut Ehitajate tee 5, Tallinn, tel 6203850	Lisa 1
Juhendaja	Ülo Sõstra			
Konsultant	Valter Petersell			

Tudengitöö ülesanne

ID

Nimetus

Name

Nasvanie

Tapsustatud ülesanne


1. Selgitada välja seadme Pakri-E kasutamisevõimalused ja täpsus keskkonnaohtliku ja foonilise radioaktiivsuse kiirguse mõõtmisel. 2. Töötada välja parimad mõõtmise ja tulemuste analüüsi meetodid. 3. Hinnata Pakri poolsaare pinnakatte ja aluspõhja geoloogilise läbilõike erinevate kivimite looduslikku radioaktiivsuse taset ning selle keskkonnaohtlikkust.

Allkirjad

Üliõpilane Anna Kruglova 

Juhendaja Ülo Sõstra 

Konsultant Valter Petersell 

Mäeinstituudi nõukogu esimees Ingo Valgma 

Tüüp

Keel

Kontaktandmed

Nimi

E-mail

Töö on seotud teemaga

WWW

Kaitsmise aeg

Curriculum Vitae

Nimi: Anna Kruglova
Sünniaeg: 13. oktoober 1982, Narva
Aadress: Mahtra 21 – 33
Tallinn, 13811
Kontaktnumber: +3725223816
e-mail: anechka13@hotmail.ee
Perekonnaseis: vabaabiellus
Hariduskäik:
2005 - Tallinna Tehnikaülikool
Magistriõpe, geotehnoloogia
2002 – 2005 Tallinna Tehnikaülikool
Bakalaureuse kraad, rakendusgeoloogia
2000 – 2002 Tallinna Tehnikaülikool Viruma Kolledž
1997 – 2000 Narva Gumanitaar Gümnaasium
1988 – 1997 Narva Peetrikool

Täienduskoolitus:

Aprill 2006 Keskastme juhi pädevuskoolitus, Rain Studio Koolitus OÜ
November 2006 Sissejuhatus projektipõhisele töökorraldusele,
Koolituse Korralduskeskus OÜ
September 2007 „Eesti ärikeskus”, Addenda OÜ

Teenistuskäik:

Alates 10.2007... K-Projekt AS – Detailplaneeringute osakonna projektijuhi abi
Ettevõtte tegevusala:ehitus projektide ja detailplaneeringute koostamine.
Põhilised tööülesanded: detailplaneeringute lähtematerjalide hankimine, detailplaneeringute komplekteerimine, vormistamine ja kooskõlastamine
02.2007-08.2007 Projektibüroo Talone - arhitekt-planeerija
Ettevõtte tegevusala: ehituslik projekteerimine
Põhilised tööülesanded: projektide asendiplaanide ja detailplaneeringute jooniste koostamine.
07.2004 – 02.2007 AS Teede Tehnokeskus - spetsialist
Ettevõtte tegevusala: maanteede projekteerimine
Põhilised tööülesanded: teedealaste geoloogiliste uurimistööde teostamine ja aruannete koostamine, geoloogiliste pikiprofiilide joonestamine, tööjooniste koostamine, ajutise liikluskorralduse projekteerimine ja laboratoorsete katsete teostamine vajaduse korral.
03.-05.2004 TTÜ Geoloogia Instituut, praktikant

Võõrkeelteoskus: (Hinne 1 kuni 5)

Keel	Lugemine	Rääkimine	Kirjutamine
Eesti	5	3	4
Vene	emakeel		
Saksa	4	2	3
Inglise	algtasemel		

Arvutioskus: MS Office (hea tundmine), AutoCAD (kesktasemel), MapInfo (algtasemel), MicroStation ja Photoshop (algtasemel)

Huvialad: Sport (korvpall, võrkpall), õmblemine, fotograafia

Autojuhiload: B-kategooria (alates 2005)