

EESTI GEOLOOGIAKESKUS
Geofüüsika, meregeoloogia ja keskkonnageoloogia osakond

Riiklik reg. nr
GL- 06–27

KINNITAN
Eesti Geoloogiakeskuse direktor

Vello Klein
" " mai 2006

Valter Petersell
Voldemar Möttus
Krista Täht

ASTANGU MAA-ALA KESKKONNAREOSTUSE UURINGU

ARUANNE

Teadusdirektor

Jaan Kivisilla

Tallinn, 2006

ANNOTATSIOON

Valter Petersell, Voldemar Möttus, Krista Täht. "ASTANGU MAA-ALA KESKKONNAREOSTUSE UURINGU ARUANNE", 2006. Tekst 20 lk, 5 tekstilisa, 4 graafilist lisa, OÜ Eesti Geoloogiakeskus, geofüüsika, meregeoloogia ja keskkonnageoloogia osakond, Kadaka tee 82, Tallinn (EGF).

Käesoleval ajal toimub Astangu piirkonna arenguplaani korrastamine ja detailisatsioon. Ala pindala on ligi 113,9 ha. Nende tööde keskkonnamõjusid arvestava planeeringu teostamiseks selgitas Eesti Geoloogiakeskus Tallinna Linnaplaneerimise Ameti tellimusel ajavahemikus oktoober 2005 kuni juuni 2006 maa-ala radooniriski ja looduskiirguse taset, pinnases ja pinnasevees keskkonnaohtlikeks tunnistatud elementide sisaldust ning maa-ala tehnogeenset saastekoormust, samuti ka klindilt rajatud maa-aluste tunnelite olukorda.

Kogutud andmed näitavad, et Astangu maa-ala pinnaseõhus on Rn sisaldus väga varieeruv, valdavalt kõrge või väga kõrge ja ületab Eestis kehtestatud piiranguteta ehitustegevuseks lubatud piirväärtuse (50 kBq/m^3) kuni 10 korda 81% vaatluspunktidest. Need normaalse, kõrge ja eriti kõrge Rn-riskiga alad on eraldatud kaardil (gr lisa 1).

Eriti kõrge Rn-riskiga ala pinnas on laiguti kõrgendatud looduskiirgusega, mis on kõrgem elurajoonis soovitatust. Ala on samuti saastunud keskkonnaohtlike elementidega. Pinnases esineb kohti, kus As, Mo, V ja F sisaldus ületab kuni 2 korda elurajoonide pinnases piiri, millest alates need ohustavad inimese tervist. Pb ja Ni sisaldus ületab kohati elurajoonide pinnases soovitatud piiri.

Väga kõrge Rn-riskiga, looduskiirgusega ning keskkonnaohtlike elementide rikas pinnas on tehnogeense päritoluga. Selle moodustab purustatud ja suures enamuses kaootiliselt ümberpaigutatud diktüoneemakilt ja fosforiit ning selle ümbriskivimid. Kujunenud massis võib kilda sisaldus ületada 50% piiri. Selle maht on mõõdetav tuhandetes m^3 -tes ning selle kõrvaldamine pole reaalne. Kõrvaldamisega võib kaasneda väga diktüoneemakilda rikaste kohtade avamise ning isesüttimisnähte teke.

Maa-ala pinnase naftaproduktide ja fenoolide sisaldus on rahuldav ning nende sisaldus pinnasevees ei ületa vees lubatud piiri. Erandi moodustab I tunneli sissekäikude piirkond. Selle lähedane allikavesi on intensiivselt saastunud naftaproduktidega (1.72 mg/l).

Astangu maa-alal on laialdaselt varemeid ja maa-alale on viimastel aastatel veetud suures koguses tööstuse- ja olmejäätmeid. Nende kõrvaldamine ei tekita probleeme. Probleemid on seotud klindi nõlvaaluste tiikidega. Nendesse veetud jäätmete hulga ja sortimendi kohta puuduvad ka ligikaudsed andmed.

Kuigi astangusse rajatud tunnelitest saasteaineid ei leitud, on need keskkonnaohtlikud. Kindlustamata tunnelite (II, IV ja V) suue, seinad ja laed on varinguohtlikud ning nendesse sisenemine eluohtlik. Tõsist ohtu kujutavad tunnelite kohale maapinnale kujunenud ja tõenäoliselt kujunemise staadiumis olevad langatused.

Märksõnad: pinnas, tiigid, tunnelid, pinnaseõhk, radoon, looduskiirgus, keskkonnaohtlikud elemendid, jäätmed.

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Maa-ala reljeef	5
2. Geoloogilise ehituse põhijooned	6
2.1. Aluspõhi	6
2.2. Pinnakate	7
2.3. Rn allikad	7
2.4. Hüdrogeoloogia	8
3. Metoodika	8
4. Maa-ala radooniriski tase ja looduskiirus	10
4.1. Radoon (Rn-222)	10
4.2. Radooniohtlik pinnas	11
4.3. Radooni sisaldus maa-ala pinnaseõhus ja pinnasevees	12
4.4. Looduskiirus	13
5. Keskkonnaohtlikud elemendid	13
6. Maa-aluste tunnelite keskkonnaseisund	14
7. Maa-ala tehnogeenne saaste	18
Kokkuvõtte	19
Kirjandus	21
Tekstilisad:	
1. Lähteülesanne	23
2. Vaatluspunktide pinnase elementide sisaldus, pinnaseõhu radoonisisaldus ja looduskiirguse tase	25
3. Radioaktiivsuse analüüsi tulemused Nr. 4-2006	26
4. Pinnasevee analüüsi tulemused	27
5. Astangu maa-ala iseloomustavad fotod (26 fotot 13 lehel)	29
Graafilised lisad	
1. Astangu maa-ala radooniriski kaart	
2. Astangu maa-ala pinnase looduskiirguse taseme kaart	
3. Astangu maa-ala pinnase keskkonnaohtlike elementide sisalduse kaart	
4. Astangu maa-ala tehnogeense saaste kaart	

Sissejuhatus

Astangu piirkonna riigile ja elanikele kuuluv maa-ala kui tuleviku võimalik elamurajoon on asustamata. Selle piirid on kehtestatud Astangu ehitusmäärusega ja pindala on ligi 113,9 ha. Maa-ala on valdavalt kaetud metsa või võsaga ja kuulub radooniohtliku pinnasega võõndisse (Raudsep, Samuel, 1999). Selle keskkonna tingimuste omapära ja taseme määravad kohati pinnakatte all paljanduvad kõrge U-sisaldusega diktüoneemakilt ja oobolusliivakivi (fosforiit)

ning nende peenese sisaldus pinnakattes. Kõrge U sisaldusega kaasneb kõrge Rn-risk, mis on elukeskkonna alale kõige tõsisem keskkonnaprobleem. Pinnases lisanduvad Rn-riskile diktüoneemakildale ja fosforiidile omaste mikroelementide (Mo, U, V, As, Pb, F, Tl, Sr jt) kõrgendatud või kõrge sisaldus. Lisaks mainitule, oli maa-ala endise Nõukogude Armee üksuste pikaajaline asupaik. Armee tegevuse tulemusel olid maa-alale rajatud eriotstarbelised ehitised ja rajatised, mille varemed või tunnused on kõikjal säilinud.

Käesoleval ajal toimub Astangu piirkonna arenguplaani korrastamine ja detailisatsioon. Nende tööde keskkonnamõjusid arvestav planeering eeldab reaalselt teavet ala keskkonnaseisundi erinevatest tahkudest, võimalike kõrge radooniriski ja saastetasemega alade kontuurimist ning viimaste piires Rn sisalduse, looduskiirguse taseme ja keskkonnakahjulikeks tunnistatud elementide sisalduse selgitamist, samuti ka maa-alal tehnogeense saaste hindamist.

Mainitud probleemide lahendamiseks tellis Tallinna Linnaplaneerimise Amet sihtotstarbelise keskkonnaseisundi uuringu, mille teostas Eesti Geoloogiakeskus ajavahemikus oktoober 2005 kuni juuni 2006.

Uuringutega kaetud Astangu maa-ala pindala on ligi 103 ha. See piirneb edelast Põhja-Eesti klindiga ja kagust klindialuse lauge nõlvaga, lõunast – korterelamute rajooniga.

Vastavuses kooskõlastatud programmile (lisa 1), oli Astangu maa-ala keskkonnaseisundi uuring mitmetahuline. Selgitati maa-ala radooniriski ja looduskiirguse taset, pinnases ja pinnasevees keskkonnohtlikeks tunnistatud elementide sisaldust ning maa-ala tehnogeenset saastekoormust, samuti ka klindilt rajatud maa-aluste tunnelite olukorda.

Väliuuringud teostati 34 pinnase vaatluspunktis. 6 vaatluspunktist koguti pinnasevee proovid. Nende tööde käigus hinnati ka vaatluspunktide vahelisel alal saaste ulatust ja iseloomu ning selgitati klindist algava 10 maa-aluse rajatise (tunneli) iseloom ja keskkonnaseisund.

Koostatud keskkonnavaline hinnang baseerub väli- ja laboratoorsete tööde käigus kogutud faktilisele materjalile, Eesti Geoloogiafondis ja arhiivis olevatele geoloogilistele andmetele, samuti AS Maves ja teistele uuringutele.

Väli- ja kammeraaltöödel radooni ja looduskiirguse ning keskkonnasaaste alase info kogumisel, töötlemisel ja andmete interpreteerimisel tugineti Rootsis ja teistes Põhjamaades kasutatavale (Clavensjö, Åkerblom, 1994; Naturally ..., 2000) ja Eesti radooniriski kaardi koostamisel kasutatud (Petersell jt., 2004) metoodikale ja soovitudele ning Eesti Standardile (EVS 840:2003), samuti Eestis kehtivatele normatiividele ja seadustele (Looduskiirgusest ..., 1998; Kiirgustöötaja ..., 2004; Pinnases ..., 2004).

Uuringud teostas tiitellehel toodud geoloogide kollektiiv. Tööde vastutavaks täitjaks oli Valter Petersell.

Laboratoorsed analüüsid, välja arvatus Rn sisalduse määramine vees, tehti Eesti Geoloogiakeskuse laboratooriumis, laboratooriumi juhataja Mare Kalkuni juhendamisel.

Rn sisaldus vees määrati Eesti Kiirguskeskuse laboratooriumis selle juhataja Eia Jakobsoni juhendamisel.

Autorid on tänulikud Eesti Kiirguskeskuse töötajatele, esmajärjekorras selle juhatajale dr. Merle Lustile, kes võimaldas uuringuteks kasutada emanomeetrit Markus 10.

1. Maa-ala reljeef

Astangu maa-ala asub Põhja-Eesti klindivööndis. Selle edelaserva ääristab astang koos kitsa astangupealse ribaga. Loodusliku astangu kõrgus varieerus 10–16 m piirides. Kitsa klindipealse osa absoluutne kõrgus jääb 29–31 m vahemikku. Maa-ala valdava osa moodustab klindialune lainjas tasandik, mille üldine kallakus on põhjasuunaline, Harku järve suunas. Selle looduslik absoluutne kõrgus jääb 5–17 m piiridesse. Kogu vaadeldav maa-ala, kaasa arvatud endised puisniidud, on kaetud metsaga või võsastunud. Klindi ja selle jalami piires levib vana lehtpuumets. Maa-ala põhjapoolse osa laugete lohkude piires on pinnas sageli liigniiske, sademeterikastel perioodidel moodustuvad ajutised tõusuallikad ja toimub soostumine (fotod 1, 2, 3, 4).

Maa-ala keskset osa läbib lõuna–põhjasuunaline oja. See toitub lõunapiiri taga levivast soostunud alast, lõikub astangu pudedatesse setetesse ja suubub Harku järve.

Inimtegevuse tulemusel on maa-ala reljeef tundmatuseni muudetud. Vahetult astangunõlva ja klindieelse tasandiku piirile on kaevatud suhteliselt kitsas, 10–20 m laiune kuni 5–7 m sügavune katkematu tiikide rida (fotod 5, 6). Tiigid on üksteistest eraldatud 6–12 m laiuste vahekäikudega, mille alla rajatud truubid ühendavad tiikide vee ühtseks tervikuks. See vesi on omakorda ühendatud eelpoolmainitud ojaga. Tiigi kaldad on varisenud ja võsastunud. Tuginedes tiikidest väljatud materjali vaatlustele on need tiigid rajatud oobolusliivakivisse ja ala keskosas samuti liivakive katvasse diktüoneemakilta.

Astangusse siseneb 10 (5 paari) maa-alust horisontaalset tunnelit. Maa-ala edelaossa, kirde poole tiike, ligikaudu paralleelselt klindiga on ehitatud 2 rida kivist laomaju (ruume) (fotod 7, 8).

Klindinõlva alustest tiikidest ja tunnelitest väljastatud kaevis on paigaldatud tiikidest kirdesse jäävale maa-alale, esmajärjekorras tiikide ja lõunapoolsema laoruumide rea vahelisele alale. Kujundatud looduslikku pinda katva tehnopinnase kihi pealne pind on väga ebatasane ja kihi paksus ületab sageli 3–4 m piiri. See tehnogeenne kiht ümbritseb lõunapoolse laoruumide rea laoruume (fotod 9, 10).

Majade varemeid esineb täiendavalt nii astangu jalamil, tiikide rea ja astangu vahelisel alal kui ka maa-ala idaosas. Nende ehitiste ümber kaitsevallid puuduvad.

Uuringute alal saavad klindilt alguse 5 paari horisontaalseid maa-aluseid tunneleid (gr lisa 4). Nagu näitasid uuringud, on need rajatud Alam-Ordoviitsiumi lubjakividesse, glaukoniitliivakivisse ja diktüoneemakilta. Tegemist on 2 maa-aluse U-kujulise laoruumiga, millede mõlemad otsad avanevad klindil (gr lisa 4, I ja III, fotod 11, 12 ja 13, 14). Need laoruumid on olnud kasutusel. Nende vahel asub II (foto 15) ning III tunnelist (teisest laoruumist) loode suunas veel 2 alustatud tunnelit, tõenäoliselt samatüübiliste laoruumide tarbeks. Need tunnelid on jäänud lõpetamata (foto 16).

Maa-aluste tunnelite suudmed on kindlustatud betoonist või lubjakivist laotud seinaga. Esimese tunneli edelapoolse sissekäigu juures esinevatest varisenud kohtadest selgub, et

glaukoniitliivakivi ja lubjakivi kontakt asub tunneli põrandast ligi 1,5–1,8 m ning glaukoniitliivakivi ja diktüoneemakilda kontakt – ligi 0,2–0,7 m kõrgusel. Seega võib eeldada, et I tunnel on rajatud ligi 1–1,5 m ulatuses ja III tunnel 1,5–2,5 m ulatuses diktüoneemakilta.

Nende kahe lõpetatud tunneli vahele oli rajamisel uus, joonisel 4 II tunnel. Selle kindlustamata sissekäigu kagupoolne suue on osaliselt, loodepoolne suue pea täielikult kinni varisenud. Nende vahekaugus on 50–60 m. Tunneli seinad on betoneeritud, tunneli põhja katab 0,3–0,6 m sügavune veekiht. Tõenäoliselt on tunneli alumine osa rajatud glaukoniitliivakivisse ja diktüoneemakilta.

Teisest lõpetatud tunnelist (laoruumist) loodesse jääva IV tunneli (gr lisa 4) rajamine on algstaadiumis. Ka nende sissekäikude vaheline kaugus on 50–60 m. Tunneli sissekäigud on pea täielikult kinni varisenud, lagi väga varinguohtlik ja nendesse sisenemine ohtlik. Tunnel on sisse varisenud ka astangu peal.

Sellest pooleliolevast tunnelist edasi loode suunas oli rajamisel V tunnel (gr lisa 4). Selle sissekäikude vahekaugus on sama, ligi 50 m ja sissekäigud pea kinni varisenud. Sissepääs on võimalik tunneli kagupoolsesse harru. Selle kagupoolsemas seinas paljandub (alt üles): diktüoneemakilda ülemine 2 m paksune osa, sellel lasuv 1,2–1,4 m paksune glaukoniitliivakivi kiht ning kõrgemal ligi 3 m ulatuses karbonaatsed kivimid.

Kindlustamata tunneli laes olevate lõhede kaudu toimub pinna- ja pinnasevee valgumine käiku. Selle põhja rajatud rakistel olid vaatluste ajal veel säilinud kuni meetri kõrgused jääst stalaktiidid.

Edasi loode suunas on tehtud ettevalmistusi ka järgneva (VI) tunneli rajamiseks, kuid maa-aluste käikude rajamist pole tõenäoliselt alustatud (või on alustatud suudmed maetud varingu alla).

2. Geoloogilise ehituse põhijooned

Maa-ala geoloogilise uurituse tase on madal. Ala põhjaosa jääb Harkust Kakumäe lahte suubuva ürgoru edelanõlvale, kus pinnakatte paksus ulatub 20–25 m-ni. Astangu suunas pinnakatte paksus väheneb 0,5–1 meetrini.

Maa-ala vahetus geoloogilises ehituses osalevad pudedad pinnakatte (Kvaternaari) setted ning nende all levivad aluspõhja moodustavad Kesk- ja Alam-Ordoviitsiumi ning Kambriumi settekivimid.

Põhja-Eesti klint jagab maa-ala põhjapoolseks klindieelseks madalamaks ja lõunapoolseks klindipealseks kõrgemaks alaks (gr lisa 1). Nende valdav kõrgus varieerb merepinnast vastavalt 6–15 m ja 29–31 m piirides.

2.1. Aluspõhi

Aluspõhja moodustavad klindil paljanduvad Kesk- ja Alam-Ordoviitsiumi lubjakivid ning Alam-Ordoviitsiumi glaukoniitliivakivi, diktüoneemakilt ja oobolusliivakivi. Viimane lamab Kambriumi peene- kuni keskmiseteraliste liivakivide erimitel, millised levivad juba kogu maa-alal. Need viimased ei paljandu ja nende avamused Kvaternaari setete all on jälgitavad ürgoru nõlval (Meriküll jt., 1993).

Aluspõhja kivimite kihid on nõrgalt kallutatud lõuna suunas, keskmiselt 0,3 m kuni 0,5 m 100 m kohta (AS Maves, 2003).

Lubjakivid levivad ainult klindist lõuna suunas. Nende paksus on väiksem ala edelanurgas (vp 25, 31), kus see jääb 8–11 m piiridesse. Lubjakivide paksus suureneb kagu suunas ja tuginedes klindil esinevatele paljanditele, ulatub vp 27 ja 36 piires 11–15 m. Edasi kirde suunas jääb klint juba vaadeldava ala kagupiiri taha 60–120 m kaugusele. Lubjakivide läbilõike ülemise osa moodustab ehituslubjakivina tuntud Kesk-Ordoviitsiumi Lasnamäe lademe paksukihiline lubjakivi, mida on ka ala kagupiiri taga laialdaselt kaevandatud. Lubjakivide läbilõike alumine osa, Alam-Ordoviitsiumi lubjakivid, on dolomiidistunud.

Klindil lubjakivide all paljanduva glaukoniitliivakivi paksus on 1–1,5 m, diktüoneemakilda paksus 4,5–5,5 m ja oobolusliivakivi paksus koos harvem esinevate ooboluskonglomeraadi vahekihtidega 4–5 m. Viimases esineb samuti kuni 20 cm paksuseid diktüoneemakilda vahekihte. Sügavamal leviva Kambriumi liivakivi ja aleuroliidi paksus on 20–25 m ning nende järgneva Lontova savikihi (nn. sinisavi) paksus ligi 60 m (Meriküll jt., 1993).

Keskkonnamiski seisukohalt on kõige olulisem diktüoneemakilt ja samuti fosforirikas oobolusliivakivi. Diktüoneemakilda kihindi ülemine piir on jälgitav klindil. Selle avamused esinevad vp 34 ja vp 36, V tunnelis ja I tunneli sissekäigu ees ning kohati tiikide kaldal. Kui ala edelanurgas paljandub diktüoneemakilt klindil kogu ulatuses, siis liikudes edela suunas, selle avamused sügavnevad ja jäävad järjest enam astangu rusukalde alla. Vaatluspunktis 20 levib diktüoneemakilt ka klindialusele tasandikule. Diktüoneemakilda all levib subparalleelse kihina oobolusliivakivi. Selle avamus jääb juba valdavalt klindieelsele tasandikule.

Maa-alal puuduvad puuraugud ja kaevud, samuti on aluspõhja reljeef väga ebatasane. Sellepärast on diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi leviku põhjapiir tinglik. Tuginedes öeldule ja olemasolevatele geoloogilistele kaartidele (Meriküll jt., 1993; AS Maves, 2003), levivad nende kivimite avamused pinnakatte all klindist kuni 100 (vp 26) – 250 m (vp 20) kaugusele põhja. Kaugemal põhjas on nad erodeeritud ja asendatud ürgorgu täitvate jääjärve setete ja moreeniga. Klindist lõuna suunas lasub diktüoneemakilt lõheliste lubjakivide ja glaukoniitliivakivi all maapinnast 8–20 m sügavusel.

Aluspõhja kivimid on kohati tektooniliste rikete ja glatsiotektoonilise tegevuse poolt purustatud

2.2. Pinnakate

Kitsal klindipealsel ribal on pinnakatte paksus oluliselt erinev. Valdav on õhuke, sageli alla 1 m paksune pinnakate. Ainult klinti lõikuva kraavi (oja) piires ületab see 1 m piiri.

Pinnakatte moodustab moreen, milles esineb nii diktüoneemakila kui ka fosforiidi tükikesi.

Klindieelne madalam ala paikneb Harkust Kakumäe lahte suubuva ürgoru edelanõlval, kus pinnakatte paksus ulatub 20–25 m-ni ja väheneb klindi suunas kuni 3–5 m-i., laiguti 0,5–1,5 m-ni

Selle klindieelse tasandiku, põhja suunas kallutatud lainja loodusliku reljeefiga ala pinnakatte moodustavad Litoriinaaegne rannikumere kruus, liiv ja aleuriit või nende mehaaniline segu. Nende summaarne paksus on tavaliselt enam kui 1 m ja ulatub kuni 4–6 meetrini (AS Maves, 2003). Need setendid lasuvad moreenil või klindiaärses vööndis osaliselt ka aluspõhja kivimitel. Ala põhjaosas katavad neid juba nooremad Limneamere liiv ja aleuriit.

Klindil paljanduvad ainult lubjakivid, diktüoneemakilta ja oobolusliivakivi katab moreen ning klindi varikalde moodustised.

Nagu mainitud, ääristavad klindieelset tasandikku klindi alumise nõlva ja tasandiku piirile kaevatud tiikide rida. Astangusse on rajatud 5 U-kujulist tunnelit. Nii tiikidest kui ka tunnelitest väljatud (veetud) materjal katab edelapoolsema laoruumide rea ja tiikide vahelist ala enam kui 4 m paksuse kihina. Selle materjali koostis on väga heterogeenne: peenestatud lubjakivi ja dolomiit, glaukoniit- ja oobolusliivakivi ning diktüoneemakilt. Mõnes kohas valdab diktüoneemakilt, mõnes lubjakivi jne.

2.3. Rn allikad

Astangu maa-alal levivatest kivimitest on U-rikkad ehk Rn allikad diktüoneemakilt (U sisaldus piirkonnas 30 kuni 110 g/t; Loog, Petersell, 1994) ja oobolusliivakivi (U sisaldus 3 kuni 20 g/t, ooboluskonglomeraadis kuni 40 g/t ja diktüoneemakilda vahekihtides kuni 100 g/t). Kuid ka glaukoniitliivakivis võib U sisaldus kohati ületada 4 g/t piiri. Nendele lisandub Kvaternaari setetes Soomest (Soome lahe põhjast) pärinev U-rikas (4 kuni 14 g/t) granitoidne materjal (The Geochemical ..., 1992).

Klindil paljanduvad U-rikkad kivimid allusid liustiku ja hiljem Litoriinamere (Antsülusjärve?) purustavale tegevusele. Liustik purustas neid ja kandis peenese moreeni koostisosana lõuna poole. Litoriinamere abrasiivse tegevuse tulemusel kandus U-rikaste kivimite peenes klindieelse tasandiku rannalähedastesse (kuni 200–500 m kaugusele astangust) setetesse. Nendele lisandusid klindi varikalda moodustised.

Hilisem, Limnea meri ei ulatunud enam klindini. Selle setetes esineb küll U-rikast materjali Litoriinamere setete kulutusproduktidena, kuid väheses koguses (U sisaldus varieerub 2,4–3,5 g/t piirides). Lubjakivide levilal võib täiendav Rn migreeruda pinnakattes ja sealt õhku lubjakivides olevate lõhede kaudu sügavamal lasuvatest Rn allikatest (U-rikastest kivimitest).

2.4. Hüdrogeoloogia

Maa-ala klindipealsel kitsal ribal levib Ordoviitsiumi veekompleks ja Ordoviitsiumi-Kambriumi veekiht. Nendevahelise veepideme moodustavad glaukoniitliivakivi (savi) ja diktüoneemakilt. Lubjakive katvad kvaternaarisetted on kuivad. Pinnasevee tase jääb karbonaatsetesse kivimitesse, maapinnast mitme meetri sügavusse.

Klindieelsel tasandikul esineb ainult Kvaternaari veekompleksi ja Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihi vesi. Nendevaheline veepide puudub ja need moodustavad ühise pinnasevee. Pinnasevee tase on erinev ja tuginedes veetaseme muutuste vaatlustele tiikides, varieerub see 2–3 m piirides. Tehnogeense alade piires jääb pinnasevee tase maapinnast tõenäoliselt kuni 3–4 m sügavusse. Samal ajal toimub ala põhjapoolses osas loodusliku pinnase lohkudes soostumine ja sademerikastel perioodidel tekkib ka ajutisi tõusuallikaid. Klindilt, diktüoneemakilda alt Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihist välja voolavad allika toidavad ka klindialuseid tiike.

3. Metoodika

Radooniriski, looduskiirguse ja keskkonnakahjulike elementide sisalduse uuringu vaatluspunktide asukoha valikul lähtuti maa-ala geoloogilise ehituse omapärast, varasemate uuringupunktide asukohast ja Tellija soovitustest (gr lisa 1). Vaatluspunktides tehtud

uuringud võimaldavad anda radooniriski, radioaktiivsuse ja keskkonnoahtlike elementide sisalduse hinnangu kogu maa-ala pinnasele. Üleminekul vaatluspunktist vaatluspunkti täpsustati ala geoloogilist ehitust, fikseeriti nähtav tehnogeenne saaste ning valiti vajalike täiendavate hüdrogeoloogiliste vaatluspunktide asukohad. Kuna lahendamist vajavad probleemid osutusid esialgu eeldatavatest komplitseeritumaks, rajati täiendavalt planeeritule 4 vaatluspunkti ning samuti kasutati kinnisvara arendajate poolt varem tellitud uuringu tulemused. Kokku rajati 34 vaatluspunkti, millele lisandusid 9 varasema uuringupunkti andmed.

Igas vaatluspunktis mõõdeti maapinnast 0,7–0,8 m sügavusel (ainult märjal alal madalamal) pinnases U (Ra) (g/t), Th (Th-232) (g/t) ja K (K-40) (%) sisaldus ning gammakiirguse intensiivsus ($\mu\text{R/h}$) (gr lisad 1 ja 2). Radiomeetriga kontrolliti pinnase gammakiirguse taset ka vaatluspunkti ümbruses ja vaatluspunktide vahelisel alal. Samade vaatluspunktide piires (kus veepind oli sügavamal kui 0,8–1 m) selgitati pinnaseõhus täiendavalt 0,8 m sügavusel Rn sisaldust otsemõõtmisel (kBq/m^3). Tulenevalt vaatluspunkti asukohast ja pinnases mõõdetud U (Ra) sisaldusest, valiti vaatluspunktid, milledest koguti pinnaseproovid pinnases keskkonnoahtlike elementide sisalduse määramiseks (gr lisa 3).

Vaatluspunktide asukohad märgiti Tellija poolt antud topograafilisele plaanile mõõtkavas 1:6000. Vaatluspunktide koordinaadid määrati Garmin GPS 76-ga süsteemis WGS-84. Kuna aga mets ja klint segasid WGS-84 määranguid, pole saadud tulemused alati nõutava täpsusega ($< \pm 10$ m).

Uuringud teostati Eesti Geoloogiakeskuse gamma-spektromeetri (Portable gamma ray spectrometer, Detector model GPS-21) ja radiomeetriga (CPII-88H) ning Eesti Kiirguskeskuse radoonimõõture (emanomeeter Markus 10) abil.

U (Ra) sisalduse järgi arvutati Ra-st tekkiva ja pinnaseõhku kontsentreeruva (eralduva) Rn sisaldus.

Mõõtmise sügavuse, pinnase tüübi ja radooni difusiooni vahelise sõltuvuse graafikut kasutades (Clavensjö, Åkerblom, 1994, lk. 24) arvutati kõik radooni otsemõõtmise sisalduse määrangud 1 m sügavusele.

Vaba pinnaga pinnaseõhus on otsemõõtmisel saadud Rn tulemused otseses sõltuvuses pinnase aeratsiooni iseloomust. Mida parem on pinnase aeratsioon, seda madalamaks jääb pinnaseõhus Rn sisaldus, see lendub õhku. Kuna ehitised moodustavad maapinnale ekraani, mis muudavad aeratsiooni tingimused kuni nullilähedaseks, kasutatakse maaüksuse Rn-riski hindamisel U (Ra) sisalduse järgi arvutatud Rn sisaldusi. Kui tulemused on vastukäivad, kasutatakse suuremaid sisaldusi. Sellised juhud näitavad tavaliselt, et täiendav Rn juurdekanne toimub pinnase sügavamatest (> 2 m) kihtidest.

Pinnase looduskiirguse tase arvutati pinnases määratud U (Ra) (g/t), Th (Th-232) (g/t) ja K (K-40) (%) sisaldusele tuginedes Keskkonnaministri 24. augusti 1998. a määruses nr 55 soovitatud meetodika järgi (Looduskiirgusest ..., 1998). Looduskiirguse taseme hindamisel kasutati samuti gammakiirguse otsemõõtmise tulemusi ning lähtuti Vabariigi Valitsuse 17. mai 2004. a määruse nr 193 nõuetest (Kiirgustöötaja ..., 2004)

Keskkonnakahjulike elementide sisaldus määrati Eesti Geoloogiakeskuse laboratooriumis: As, Mo, Ni, Nb, Pb, Se, Sr, Y, Zr, Zn, Ba ja V sisaldus RFA meetodil, Cd, Cr, Co ja Cu sisaldus AAS meetodil, F sisaldus ioonselektiivse elektroodi meetodil ja P sisaldus kolorimeetrilisel meetodil. Tulemuste interpreteerimisel lähtuti Keskkonnaministri 2. aprilli 2004. a määrusest nr 12 (Pinnases ..., 2004)

4. Maa-ala radooniriski tase ja looduskiirgus

4.1. Radoon (Rn-222)

Looduses tekib Rn uraani-238 (^{238}U), uraani-235 (^{235}U) ning tooriumi-232 (^{232}Th) radioaktiivsel lagunemisel.

Meie vaatleme Rn all ainult U-238 radioaktiivse rea kõrgradioaktiivset laguprodukti Rn-222 (tabel 1). Selle ja tema tütarelementide (tabelis tume trükk) poolt põhjustatud radioaktiivne kiirgus moodustab kogu radooni päritoluga kiirgusdoosist üle 93% (UNSCEAR, 1993).

Rn on värvita ja lõhnata, õhust ligi 7,7 korda raskem väärisgaas. Ta on ainukene looduslikus olekus esinev kõrgradioaktiivne element, mis levib õhu koostises või vees gaasina ja tahkestub alles $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabel 1. Rn-222 radioaktiivse lagunemise rida kui osa U-238 radioaktiivse lagunemise reast (U-238 moodustab kogu maakoore U sisaldusest 99,27%)

Element, isotoop	Radioaktiivne poolestusaeg	Radiatsiooni (kiirguse) tüüp	Märkused
Uraan -238 (U)	4.5×10^9 aastat	α	Metall
Toorium -234 (Th)	24.1 päeva	β	Metall
Protaktiinium-234 (Pa)	1.17 minutit	β	Metall
Uraan-234 (U)	2.24×10^5 aastat	α	Metall
Toorium-230 (Th)	8.0×10^4 aastat	α	Metall
Raadium-226 (Ra)	1620 aastat	α	Metall
Radoon-222 (Rn)	3.82 päeva	α	Gaas
Poloonium-218 (Po)	3.05 minutit	α	Metall
Plii-214 (Pb)	26.8 minutit	β, γ	Metall
Vismut-214 (Bi)	19.7 minutit	β, γ	Metall
Poloonium-214 (Po)	1.6×10^{-4} sekundit	α	Metall
Plii-210 (Pb)	21.3 aastat	β	Metall
Vismut-210 (Bi)	5.01 päeva	β	Metall
Poloonium-210 (Po)	138.4 päeva	α	Metall
Plii-206 (Pb)	-	-	Metall

Pinnases ja ehitusmaterjalides eraldub pinnast (ehitusmaterjali) moodustavates tahketes osakestes oleva Ra radioaktiivsel lagunemisel tekkivast Rn osakestevahelisse pinnaseõhku üldjuhul 15 kuni 40%. Seda protsentuaalset arvu väljendatakse arvu “1” murdosadena ja tuntakse radooni emanatsioonikoefitsiendina (ϵ). Tihedates kivimites ja ehitusmaterjalides, näiteks diktüoneemakildas, betoonis jne sõltub koefitsiendi väärtus oluliselt lõhelisusest. Kui monoliitse kivimi korral jääb ϵ tavaliselt $<0,10$, siis lõhelistes

erimises võib see ületada 0,3 piiri. Ülejäänud Rn jääb pinnase tahketesse osakestesse või kivimisse, kus temast edasisel radioaktiivsel lagunemisel tekib stabiilne plii isotoop ^{206}Pb .

Rn radioaktiivse lagunemise poolestusaeg on küll ainult 3,82 ööpäeva, kuid ta laguneb järjestikku 7 kõrgradioaktiivseks tütarelementideks, millede poolestusaeg on sekundi murdosast kuni 21,3 a (tabel 1). Rn koos tütarelementidega on intensiivne α -, β - ja γ -kiirgusallikas. Kui Rn pääseb inimorganismi peamiselt hingamisel, siis tema tütarelementid – täiendavalt koos suitsu- ja tolmuosakestele kinnitunult, samuti toidu ja veega. Tekkivad organismisisesed erineva energiatasemega kiirguse liigid on organismi kahjustavad.

Rn on suitsetamise kõrval olulisim kopsuvähi põhjustaja. Eriti ohtlik on Rn ja suitsu koosmõju. Uuringud on näidanud, et kui elukeskkonna õhu aasta keskmine Rn sisaldus on 200 Bq/m^3 lähedane, on mitteduitsetajatel risk haigestuda eluaja jooksul kopsuvähki 1–3% ja suitsetajatel 10–15% (Essential ..., 2005). Rn sisalduse korral 1000 Bq/m^3 on need andmed vastavalt ligikaudu 2–4% ja 24–28% (Mjõnes, Falk, 2002). Erinevate Euroopa maade ja USA teadlaste poolt on selgitatud, et kopsuvähi haigestumistest on 10 kuni 30 % põhjustatud eluruumide siseõhu kõrgest, üle $150\text{--}200 \text{ Bq/m}^3$, Rn sisaldusest. Kirjanduse andmetel (Radoon, 1997) on Rn negatiivne mõju inimese tervisele märgatav juba 100 Bq/m^3 , suitsetajatel – alates 50 Bq/m^3 . Rn mõju minimeerimiseks inimeste tervisele on kehtestatud eluruumide siseõhus Rn sisalduse lubatud (soovitatud) piirsisaldused, USA-s 150 Bq/m^3 ja enamuses Euroopa maadest (Naturally, 2000), s.h. ka Eestis 200 Bq/m^3 (Radooniohutu..., 2003).

Normaalingimustes jääb täiskasvanud inimesele looduskiirguse ja tehnogeense kiirguse poolt põhjustatud kiirgusdoos aastas 2–2,5 mSv vahemikku (UNSCEAR, 1993). Sellest moodustab Rn koos tütarelementide poolt põhjustatuga keskmiselt 0,92 mSv.

Elukeskkonnas ei peaks inimestele mõjuv kiirgusdoos aastas ületama 4–6 mSv. Vastasel korral tuleks rakendada meetmeid looduskiirguse taseme vähendamiseks. Kuna iga 48 Bq/m^3 Rn aasta keskmise sisaldusena elukeskkonna siseõhus lisab aastas 0,8–1 kiirgusdoosi, ei peaks ka kiirgusdoosist lähtudes Rn sisaldus elumajade siseõhus ületama $150\text{--}200 \text{ Bq/m}^3$ piiri.

4.2. Radooniohtlik pinnas

Majade siseõhu Rn peamiseks allikaks on majade all ja vahetus ümbruses leviv pinnas. Rn sisalduse tase kujuneb maja siseõhus seda kõrgemaks, mida kõrgem on Rn-sisaldus maja-aluse ja lähiümbruse pinnase õhus.

Vastavalt Eestis kehtivatele piirnormidele (Radooniohutu..., 2003) kuulub hoonestusala pinnas (kivim):

- normaalse Rn-sisaldusega pinnaste kategooriasse, kui Rn sisaldus 1 m sügavusel pinnaseõhus otsemõõtmisel või U (Ra) järgi arvutatult jääb alla 50 kBq/m^3 piiri. Lubatust kõrgem ($>200 \text{ Bq/m}^3$) Rn sisaldus võib kujuneda üksikute majade siseõhus;
- kõrge Rn-sisaldusega pinnaste kategooriasse, kui Rn sisaldus 1 m sügavusel pinnaseõhus otsemõõtmisel või U (Ra) järgi arvutatult ületab 50 kBq/m^3 piiri, kuid jääb vahemikku 50 kuni 250 kBq/m^3 . Lubatust kõrgem ($>200 \text{ Bq/m}^3$) Rn sisaldus majade siseõhus võib kujuneda orienteeruvalt kuni 50 % majades, kui Rn vastaseid meetmeid pole kasutatud;
- eriti kõrge Rn-sisaldusega pinnaste kategooriasse, kui Rn sisaldus 1 m sügavusel pinnaseõhus otsemõõtmisel või U (Ra) järgi arvutatult ületab 250 kBq/m^3 . Lubatust kõrgem ($>200 \text{ Bq/m}^3$) Rn sisaldus majade siseõhus võib kujuneda enamuses majades, kui Rn vastaseid meetmeid pole kasutatud.

Pinnased, kus pinnaseõhus jääb Rn sisaldus alla 10 kBq/m³, kuuluvad madala Rn-sisaldusega pinnaste kategooriasse. Nende levilatel radoonirisk puudub.

Sõltuvalt pinnaseõhu Rn-sisalduse tasemest nähakse ehitiste projektides ette meetmed, mis takistavad Rn pääsu pinnasest maja siseõhku.

Ka Põhjamaade poolt soovitatud piirnormide (Naturally..., 2000) alusel loetakse Rn-ohtlikeks sellised looduslikud pinnased, kus Rn sisaldus maapinnast 1 m sügavusel pinnaseõhus võib ületada 50–60 kBq/m³ piiri. Radooniohtlikud on Eestis üldjuhul pinnased, milledes Ra ja U loodusliku tasakaalu korral ületab U sisaldus pinnases 40–55 Bq/kg ehk 3,5–4.5 mg/kg

4.3. Radooni sisaldus maa-ala pinnasõhus ja pinnasevees

Radooni sisaldus on Astangu maa-ala pinnases väga ebaühtlane, normaalsest kuni väga kõrge. See varieerub pinnaseõhus U (Ra) sisalduse järgi arvatult 18 kuni 491 kBq/m³ piirides ja pinnaseõhus otsemõõdetult 11 kuni 253 kBq/m³ piirides (gr lisa 1, lisa 2) ning ületab piiranguteta ehitustegevuseks lubatud piiri (50 kBq/m³) kuni 10 korda.

Eriti kõrge Rn-riskiga piirkonnana eraldub klindialune ala koos tiikide ja laoruumide astangupoolse reaga. See on ala, kus kõikide vaatluspunktide pinnaseõhus on Rn sisaldus kõrge ja enam kui 50% vaatluspunktidest väga kõrge (gr lisa 1). Selle põhjuseks on uraanirikas diktüoneemakilt ja fosforiit. Astangu jalamil esineb pinnases väga kõrge peenestatud diktüoneemakilda sisaldusega klindi varikalde setteid, pinnase all ka murenenud kilda avamusi. Laoruumide vööndis levivas pealeveetud tehнопinnases on diktüoneemakilda sisaldus samuti sageli väga kõrge. Selle jaotus on ettearvamatu. Esineb laiike, kus peenestatud diktüoneemakilda sisaldus tehнопinnases ületab 50% piiri (vp 6 ja vp 40). Sellistes vaatluspunktides ulatub Rn sisaldus mõõtmiste tulemusel 490 kBq/m³, kuid on tõenäoline, et detailsemate tööde käigus see suurus ületatakse. Uuringute tulemuste analüüs näitab, et ka tehнопinnase all leviv looduslik pinnas on Rn-ohtlik.

Kõrge Rn-riskiga ala võtab enda alla suurima osa klindieelsest tasandikust (gr lisa 1). Selle ala pinnaseõhus on Rn sisaldus küllalt üheilmeline ja varieerub valdavalt 50–102 kBq/m³ piirides. Pinnases U, Th ja K sisalduse omavahelised suhted lubavad järeldada, et valdav enamus Rn on seotud oobolusliivakivist (fosforiidist) pärineva U-ga.

Kõrge Rn-riskiga ala kategooriasse kuulub ka klindi pealne kitsas riba. Sellel alal lisandub pinnakattest eralduvale Rn-le täiendavalt sügavamal lasuvas diktüoneemakildas formeervast radoonist lubjakivides olevate lõhede kaudu gaasina migreeruv osa.

Normaalse Rn-riskiga ala esineb ainult üksikutes vaatluspunktides maa-ala põhjaosas. See on pindaladel, kus levivad Läänemere arengustaadiumide liiv ja aleuriit. Merevee lainetuse tulemusel on nendest diktüoneemakildast pärinev peenes välja pestud. Praegusel ajal on see ala väga märg ja Rn migratsioon sügavamatest kihtidest takistatud. Pole välistatud, et ka sellel alal esineb sügavamal (>1 m) Rn-ohtlikke setendeid.

Kogu maa-alal esineb vaatluspunkte, esmajärjekorras tehнопinnase leviala piires, milledes Rn sisaldus pinnaseõhus on oluliselt madalam kui pinnases U (Ra) sisalduse järgi arvutatud. Nendel aladel on huumushorisont nõrgalt arenenud ja pinnas on väga heade aeratsiooniomadustega. Samas esineb ka vaatluspunkte, kus Rn sisaldus pinnaseõhus on kõrgem kui pinnases U (Ra) sisalduse järgi arvutatud. See näitab, et pinnase sügavamates kihtides esineb U-rikkamaid erimeid.

Pinnasevees selgitati Rn sisaldust 4 vaatluspunktis (gr lisa 4): nr 1 (proov nr 32), nr 4 (pr nr 4), nr 5 (proov nr 34) ja nr 6 (proov nr 35). Veeproovid koguti talvel, proovid 4 ja 32 külmunud pinnase alt 1,4 m sügavuselt maapinnast, proov nr 34 tiigist 20 cm paksuse jää alt 1

m sügavuselt ja proov nr 35 tiiki toitvast allikast. Analüüsi tulemused tuuakse lisas nr 3. 1. ja 4. veeproovi Rn sisaldus on pinnasevee kohta kõrgendatud, 6. veeproovi Rn sisaldus lahtise allikavee suhtes kõrge. See allikavesi voolab vahetult diktüoneemakilda alt ja näitab, et klindivööndis võib Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihi vesi olla kohati kõrgendatud Rn sisaldusega.

4.4. Looduskiirgus

Pinnase looduskiirguse taseme määravad pinnases U(Ra), Th-232 ja K-40 sisaldus (Looduskiirgusest ..., 1998). Astangu maa-ala pinnases on U (Ra) sisaldus väga varieeruv ja ületab Eesti pinnase keskmist kuni 15 korda. Th-232 sisaldus jääb Eesti pinnases valdava sisalduse piiridesse ja K (K-40) sisaldus ületab Eesti keskmist kuni 3 korda (lisa 2).

Tulenevalt maa-ala pinnase U (Ra), Th-232 ja K (K-40) sisalduse jaotuse iseloomust ja tasemest on ka vaatluspunktides pinnase looduskiirguse tase erinev. Normaalse ja kõrge Rn-riskiga aladel ei ületa see ehitusmaterjalides lubatud taset, väga kõrge Rn-riskiga alal ületab see aga 50% vaatluspunktides ehitusmaterjalides lubatu kuni 1,5 korda ning läheneb isegi mänguväljakutel lubatud piirile (vp 39; gr lisa 2) (Looduskiirgusest ..., 1998).

Pinnase gammakiirguse tase on samuti varieeruv. Maapinnal jääb see 7 kuni 32 $\mu\text{R/h}$ ja vaatluspunktidesse rajatud kaevandite põhjas 9 kuni 98 $\mu\text{R/h}$ piiridesse. On teada, et pinnal mõõdetud gammakiirgus võib huumushorisondi kujunemisel oluliselt muutuda ja jääda madalamaks kui see oleks värske (mulla lähtekivimite) tasase pinnase korral. Kaevandites mõõdetud loodusliku pinnase gammakiirguse intensiivsus on aga kuni 1,54 korda suurem (täiendav kiirgus pärineb seintest) kui tasase pinna gammakiirgus. Tõenäolisemate tulemuste saamiseks on korrutatud kaevandites mõõdetud gammakiirguse intensiivsust koefitsiendiga kuni 0,65, sõltuvalt kaevandi sügavusest ja kujust. Selliselt saadud pinnase värske pinna gammakiirguse tase jääb 7 kuni 64 $\mu\text{R/h}$ vahemikku.

Tulenevalt kehtestatud normidest (Kiirgustöötajate ..., 2004), millede järgi elanike poolt saadav foonilisest tasemest kõrgem aastane kiirgusdoos ei peaks ületama 1 mSv/a, ei peaks elurajoonis maapinna gammakiirguse tase ületama 26 $\mu\text{Sv/h}$ ($12-3 \mu\text{R/h} = 0,12-0,13 \mu\text{Sv/h} = 1 \text{ mSv/a} + \text{foon } 13 \mu\text{R/h}$). Tulenevalt Rootsis soovitatust ei peaks elurajoonis maapinna gammakiirguse tase ületama 33 $\mu\text{Sv/h}$ ($20 \mu\text{R/h} = 0,20 \mu\text{Sv/h} = 1 \text{ mSv/a} + \text{foon } 13 \mu\text{R/h}$). Eestis on lähtutud, ei inimene viibib kõrgendatud gammakiirguse tingimustes kogu aja, Rootsis aga ainult 2/3 ajast (Åkerblom, G., 2006). Kuna Rootsi seisukoht on lähedane ka endisele NL kehtinud piirtasemele (33 $\mu\text{R/h}$), soovitame ka meie reaalselt orienteeruda 33 $\mu\text{R/h}$.

Vaadeldes Astangu maa-ala gammakiirguse mõõtmise tulemusi, on üheselt selge, et väga kõrge Rn-riski ala piires ületab ligi 50% vaatluspunktides gammakiirguse tase elurajoonides soovitatud piiri või on sellele lähedane. Need on vaatluspunktid, kus ka pinnase looduskiirguse tase ehitusmaterjalide seisukohalt ületab lubatud piiri (gr lisa 2).

Uuringute käigus ei tuvastatud maa-alal tehnogeense päritoluga radioaktiivse kiirguse allikaid..

5. Keskkonnaohtlikud elemendid

Diktüoneemakildas ja oobolusliivakivis (fosforiidis) on teada rida elemente, milliste sisaldused on kõrged (Loog, Petersell, 1990; 1994), ning millistest valdav enamus on kantud ka Eestis keskkonnaohtlike elementide nimistusse. Nende kõrge sisaldus elukeskkonnas

ohustab inimese tervist (Pinnases ..., 2004). Eeldati, et rea keskkonnaohtlike elementide sisaldus võib ka Astangu maa-ala pinnases ületada elurajoonides lubatud piiri. Sellest tulenevalt selgitati pinnases Tellija nõusolekul peale U (Ra) ka As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, F, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Se, Sr, V, Y, Zn ja Zr sisaldust 50 % vaatluspunktide pinnases. Vaatluspunktid, millistest maapinnast 70–90 cm sügavusest koguti pinnaseproovid, on toodud gr lisal 3 ning proovide analüüsi tulemused on koondatud tabelisse (tabel 2).

Toodud andmete analüüs näitab, et keskkonnaohtlike elementide levik on pinnases väga ebaühtlane ja sisalduste dispersioon väga kõrge. Analüüsitud 16 proovist ületab elurajooni pinnases lubatu: F 8 vaatluspunktis kuni 1,5 korda (gr lisa 3) ning As, Mo ja V 3–4 vaatluspunktis (vp-d 4, 6, 26 ja 42) kuni 1,5–2 korda (tabel 2). Kõik kõrged As, Mo ja V ning samuti valdavalt F sisaldused levivad ainult väga kõrge Rn-riski maa-ala vaatluspunktides, see on vaatluspunktides, kus U sisaldus pinnases on kõrge ja ületab tavaliselt 15 mg/kg piiri. Kõigi nende vaatluspunktide pinnas on rikastunud diktüoneemakilda ja fosforiidi peenesega ning pole kahtlust, et need keskkonnaohtlikud elemendid pärinevad nendest kivimitest. Sellest seosest lähtudes on väga tõenäoline, et ka teiste väga kõrge Rn-riski levila vaatluspunktide pinnases, kus U sisaldus ületab 12–15 mg/kg piiri (vp-d 34, 38, 39, 41, 43) ületab As, Mo ja V ning osaliselt ka F sisaldus elurajoonis lubatud piiri. Nende vaatluspunktide pinnases on, täiendavalt mainitutele, ka kõrge Pb ja Ni sisaldus, kuni 3–4 korda kõrgem Eesti pinnase keskmisest. Need sisaldused ületavad kohati ka elurajooni pinnases soovitud (sihtarvu) (vp-d 6, 7 ja 42).

Komplitseeritum on aga F käitumine. F on tüüpiline fosforiidi element. Eesti fosforiitides on F ja P keskmine suhe lähedane 0,19. F sisaldus on ka diktüoneemakildas kõrgendatud (900–1200 mg/kg). Nendest seostest tulenevalt sõltub maa-ala pinnases kõrge F sisaldus, analoogselt U omale, nii fosforiidi kui ka diktüoneemakilda peenese kontsentratsioonist pinnases. Mida kõrgem on pinnases fosforiidi sisaldus, seda kõrgem on pinnases ka F sisaldus.

6. Maa-aluste tunnelite keskkonnaseisund

Nagu oli mainitud, saavad uuringuteala klindilt alguse 5 paari horisontaalseid maa-aluseid käike ehk tunneleid (joonis 4). Need on rajatud Alam-Ordoviitsiumi lubjakividesse, glaukoniitliivakivisse ja diktüoneemakilta. Tegemist on 2 maa-aluse U-kujulise laoruumiga, millede mõlemad sissepääsud avanevad klindil (gr lisa 4, I ja III) ja 3 paari alustatud, tõenäoliselt samatüübiliste laoruumide tarbeks kavandatud, kuid lõpetamata jäänud tunnelitega

I U-kujulise tunneli harudesse (käikudesse) ehk esimesse laoruumi on sissepääs avatud mõlemast otsast (fotod 17, 18). U-kujuline laoruum on tühi, betoneeritud põrand ja kaarekujuline lagi-seinad on tasased. Põranda keskses osas on jälgitavad kitsarööpalise raudtee rööbaste asukohad, nende vahel esineb betoneeritud ristkülikukujulisi tühikud, milledesse suubuvad raudteesuunalised drenaažitorud põrandast ligi 40–60 cm sügavusel. Raudtee väljus ainult loodepoolsesse sissepääsu. Laoruumis esineb tühje roostes plekist nõusid (30–50 l). Põrandal on jälgitavad tumedamad laigud (tõenäoliselt naftaproduktid) ning mõned väikesed tuleasemed. Tundmatuid ega "kahtlasi" objekte ei leitud.

Tulenevalt geoloogilisest läbilõikest on põrand tõenäoliselt osaliselt valatud diktüoneemakildale. Põranda looduskiirguse ja Rn potentsiaali selgitati tunnelis, sissepääsust 20–30 m kaugusel, gammakiirguse taset kogu laoruumi ulatuses ning Rn sisaldust laoruumi õhus nii sissepääsude piirkonnas kui ka nendest kõige kaugemas kohas (sissepääsudest ca 50–

Tabel 2. Ohtlike elementide sisaldus Astangu maa-ala pinnases

Vp nr		Proovi nr	Elementide sisaldus, mg/kg																			
			As	Ba	Cd	Cr	Co	Cu	F	Mo	Nb	Ni	P	Pb	Se	Sr	V	Y	Zn	Zr		
1		05Rn-1279	9.4	364						430	<3	8.4	15.5			17.1	1.4	132	47	28	28	296
3		05Rn-1281	<4	165						580	<3	5.7	<5			9.3	<1	96	<20	29	4.8	259
4		05Rn-1282	13.3	327						1600	5.8	5.9	6.4			32.0	<1	205	67	41	11	85
6		05Rn-1284	35.9	242	0.34	49.1	8.2	54.8	34.8	11.8	56.0	3688	50.3	<1	107	292	33	152	121			
7		05Rn-1285	47.5	273	0.10	43.4	6.1	49.5	37.4	12.8	37.5	1420	63.5	1.4	77	386	16	53	121			
10		05Rn-1288	8.1	325					<3	10.4	11.6		18.7	<1	130	41	26	29	321			
20		05Rn-1298	12.3	335					7.3	7.1	26.2		36.4	<1	185	130	53	37	82			
22		05Rn-1300	4.0	137					3.5	6.3	6.4		22.3	<1	233	31	52	13	65			
24		05Rn-1302	12.7	257	0.07	29.5	<4	52.1	1300	5.9	8.6	12.6	4702	<1	150	136	50	20	149			
25		05Rn-1303	9.9	147	0.21	17.9	<4	5.1	1230	<3	7.5	13.4	4549	1.9	199	44	26	57	52			
26		05Rn-1304	18.2	315	0.26	40.5	<4	26.6	890	6.0	10.9	21.4	4374	<1	129	389	35	128	102			
30		05Rn-1331	10.0	241	0.10	21.4	<4	19.9	1350	4.2	6.2	17.9	5996	<1	182	129	42	23	88			
31		05Rn-1332	8.3						<3		17.2		43			41		40				
32		05Rn-1337	3.1						<3		<5		21			27		5.9				
33		05Rn-1338	4.8						<3		<5		24			<20		4.2				
42		04Rn-0955	38.7							28.6	40.8		100			378		91				
	Sihtarv*		20	500	1	100	20	100	450	10	50		50	1		50		200				
	Piirarv		30	750	5	300	50	150	1200	20	150		300	5		300		500				
	elutsoonis**																					
	Piirarv																					
	tööstussoonis***		50	2000	20	800	300	500	2000	200	500		600	20		1000		1500				
	Eesti pinnase keskmine****			376		42.6	7.7	11.8	287	0.94	6.2	20.7	450		113	40.4	26.8	37.5	227			

*Sisalduse sihtarv, millest väiksemate sisalduste puhul on pinnas inimesele ja keskkonnale ohutu (Pinnases ..., 2004)

**Sisalduse piirarv elutsoonis, millest suuremate sisalduste puhul on pinnas inimese tervisele ja keskkonnale ohtlik (Pinnases ..., 2004)

***Sisalduse piirarv tööstussoonis, millest suuremate sisalduste puhul on pinnas inimese tervisele ja keskkonnale ohtlik (Pinnases ..., 2004)

****Petersell jt., 2000.

70 m ?). Kõik need, gamma-spektromeetri, emanomeetri ja radiomeetri mõõtmise tulemused on koondatud tabelisse 3.

Tabel 3. Elementide sisaldus tunnelite ümbriskivimites ja vastav looduskiirguse tase

Tunneli nr	Sissepääs	K	U	Th	Rn _{Ra} *	Rn _{markus}	C	G ₁	G ₂
I	Kagupoolsem	1.7	2.4	5.7	23–46	<1	37	13	15
	Loodepoolsem	1.6	2.8	7.2	27–54	<1	38	12	15
	Laoruumi keskosa					<1		14	15
III	Kagupoolsem	1.5	3.3	5.7	32–64	<1	40	13	16
	Loodepoolsem	1.8	4.1	6.6	39–78	<1	49	13	18
	Laoruumi keskosa					<1		15	17
V	Kagupoolsem (10 m suudmest)								
	0.2 m dikt. ülem. kont..	6.6	33.2	15.4	270–810	<1	235	44	55
	2 m dilt. ülem. kontaktist	7.8	45.6	18.8	370–1110	<1	303	76	90
	20 m suudmest					1–2			

K – K (⁴⁰K) %; U – U(Ra) mg/kg; Th – Th (²³²Th) mg/kg; Rn_{Ra} – orienteeruv Rn sisaldus betoonisiseses õhus U(Ra) järgi arvutatult (kBq/m³); Rn_{markus} – Rn sisaldus tunnelite õhus Markusega otsemõõdetult; C – looduskiirguse tase ehitusmaterjalides lubatust, %; gammakiirgus: G₁ minimaalne (µR/h); G₂ maksimaalne (µR/h).

*Kuna puuduvad andmed betooni ning peaaegu murenemata diktüoneemakilda poorsuse ja emanatsiooni koefitsiendi kohta, on Rn_{Ra} tulemused orienteeruvad.

Uuringute tulemusel ei tuvastatud laoruumis ohtlikku kiirgust. Ka Rn sisaldus jäi ruumi siseõhus alla Markus 10 tundlikkuse piiri (1000 Bq/m³), mis on põhjustatud ruumi väga heast ventilatsioonist. Ventilatsiooni puudumisel peaks Rn sisaldus ruumi siseõhus ületama mõõtmisel saadud tulemused. U(Ra) sisaldus on põrandat moodustavas betoonis lähedane betooni koostise looduslike komponentide U(Ra) sisaldusele. Mõnevõrra kõrgendatud gammakiirguse (kuni 15 µR/h ehk 0.15 µSv/h) põhjustab diktüoneemakildast pärinev ja betooni läbiv kiirgus.

III U-kujulise tunneli harudesse (käikudesse) ehk teise laoruumi on sissepääs mõlemast otsast. U-kujuline laoruum on tühi, põrand ja kaarekujuline lagi-seinad betoneeritud, tasased (fotod 19, 20). Põranda keskses osas on jälgitavad kitsarööpalise raudtee rööbaste asukohad, nende vahel esineb betoneeritud ristkülikukujulisi tühikuid, milledesse suubuvad raudteesuunalised dreanažitorud põrandast ligi 40–60 cm sügavusel. Mõlemale poole raudteed on põrandale betoonist valatud umbes 2–3 meetriste vahedega 4 m x 1 m madalad (ca 0,2 m) alused. Raudtee väljus mõlemasse sissepääsu. Laoruumis esineb tühje roostes plekist nõusid (30–50 l). Suudmeala põrandal on jälgitavad tumedamad laigud (tõenäoliselt naftaproduktid) ning mõned väikesed tuleasemed. Tundmatuid ega "kahtlasi" objekte ei leitud.

Tulenevalt geoloogilisest läbilõikest peaks põrand olema valatud diktüoneemakildale. Kilt peaks avanema samuti betooni taga laoruumi alumises osas. Põranda looduskiirguse ja Rn potentsiaali selgitati kaevandis, sissepääsudest 20–30 m kaugusel, gammakiirguse taset kogu laoruumi ulatuses ning Rn sisaldust laoruumi õhus nii suudmepiirkonnas kui ka sissekäikudest kõige kaugemas kohas (sissekäigust ca 50–70 m ?). Kõik need, gamma-spektromeetri, emanomeetri ja radiomeetri mõõtmise tulemused on koondatud tabelisse 3.

Uuringute tulemusel ei tuvastatud laoruumis ohtlikku kiirgust. Ka Rn sisaldus jäi ruumi siseõhus alla Markus 10 tundlikkuse piiri (1000 Bq/m^3). Esmajärjekorras on see põhjustatud ruumi väga heast ventilatsioonist. Ventilatsiooni puudumisel peaks Rn sisaldus ruumi siseõhus kindlasti ületama mõõtmisel saadud tulemused. Kõrgendatud gammakiirguse (kuni $18 \mu\text{R/h}$ ehk $0.18 \mu\text{Sv/h}$) põhjustab diktüoneemakildast pärinev ja betooni läbiv kiirgus. Põrandas on kõrgendatud U (Ra) sisaldus ($3,3\text{--}4,1 \text{ mg/kg}$). Pole teada, kas betoonis esineb diktüoneemakilda tükikesi või betoonpõranda paksus on alla $30\text{--}40 \text{ cm}$ ning mõõtmistulemusele avaldab mõju põranda all avanev diktüoneemakilt.

II U-kujulise tunneli käikude paari rajamine on lõpetamata. Käikude sissepääsud on kindlustamata ning need suudmed on osaliselt kinni varisenud. Loodepoolsesse käiku sisenemine on ohtlik. Kagupoolse käigu põhja katab $0,3\text{--}0,6 \text{ m}$ sügavune veekiht, selle väljavoolu takistab suudmes olev varing. Laes on paljudes kohtades jälgitavad varisemise tunnused. Tunneli seinad on valdavalt betoneeritud (foto 21). Tõenäoliselt paljandub tunneli alumises osas betooni taga glaukoniitliivakivi ja diktüoneemakilt. Läbitud tunneli pikkus (ulatus) ületab kindlasti 30 m piiri (taskulambi valguse leviku kauguse) ning on jälgitav pöördumine loodepoolse haru suunas. Kas need tunneli harud jõuti ka omavahel ühendada, pole teada. Tunnelis takistas looduskiirguse mõõtmisi vesi. Geoloogilistele andmetele tuginedes võivad kiirgusprobleemid olla seotud ainult diktüoneemakildaga.

Tunnelisse sissepääs on raskendatud, kuid hea tahtmise korral võimalik. Kuna tunnelid on kõrge varinguohuga, on need ka väga keskkonnaohtlikud. Pole välistatud, et lähitulevikus tekkivad ka astangu pealsel alal varingute tulemusel lae mulgustused (langatused).

IV U-kujulise tunneli käikude paari rajamine on lõpetamata. Käikude sissepääsud on osaliselt kinni varisenud, sissepääs takistatud, varinguohtlik. Astangu pealsele tasasele alale on lae varingute tulemusel tekkinud maapinnale ulatuvad mulgustused (langatused) (fotod 23, 24). Tuginedes mulgustuskohtade vaatlustele, ületab käikude pikkus (kaugus astangust) 30 m piiri.

V U-kujulise tunneli käikude paari rajamine on lõpetamata. Kagupoolse sissekäigu suue on osaliselt kinni varisenud, sissepääs takistatud, varinguohtlik. Loodepoolsema käigu sissepääs on peaaegu täielikult kinni varisenud. Sisenemine ilma erivarustuseta lubamatu.

Kagupoolse käigu põhja katab sageli laest varisenud lubjakivi, mille vahel on säilinud puidust rakiste osad (foto 22).

Kagupoolsema käigu ulatus on ainult ligi 30 m ning edasi on läbindamine lõpetatud. Käigu seinad on kindlustamata. Seintes, suudmest ligi 10 m kaugusel, kus suudmeala varingu ulatus lõpeb, paljandub (alt üles): diktüoneemakilda ülemine 2 m paksune osa, sellel lasuv $1,2\text{--}1,4 \text{ m}$ paksune glaukoniitliivakivi kiht ja kõrgemal ligi 3 m ulatuses karbonaatsed kivimid. Selles kohas teostati ka tunneli kiirgusohtlikkuse uuring. Kõik need, gamma-spektromeetri, emanomeetri ja radiomeetri mõõtmise tulemused on koondatud tabelisse 3. Lisaks mainitule mõõdeti Rn sisaldust kaevandi õhus ka suudmest ligi 20 m kaugusel (kaugemale oli pääs takistatud).

Mõõtmistulemused kinnitavad diktüoneemakildaga kaasnevat radioaktiivsuse ja radooni ohtu. Vaadeldaval käigul puudub teine väljapääs, mille tulemusel on tunnel halvemini ventileeruv. See kajastub ka siseõhu Rn sisalduses, mis juba ligi 20 m kaugusel jäi 1 ja 2 kBq/m^3 vahemikku. Liikudes suudmest kaugemale Rn sisaldus siseõhus suureneb veelgi.

Kooskõla lähteülesandega, selgitati tunnelites täiendavalt lõhkeaine esinemise võimalusi. Tähelepanelikud sellisuunalised vaatlused ei avastanud lõhkeainete esinemise tunnuseid.

7. Maa-ala tehnogeenne saaste

Eelpool oli mainitud, et Astangu maa-ala lõunapoolse osa looduslik reljeef on inimtegevuse poolt tundmatuseni ümber kujundatud. On tekkinud tehismaastik, millele on ühelt poolt veetud tuhandetes tonnides peenestatud kõrgradioaktiivset ja keskkonnaohtlike elementide rikast diktüoneemakilt ja fosforiiti, teiselt poolt on kilda looduslik lasuvus paljudes kohtades rikutud ning tekitatud täiendavaid probleeme. Nagu oli mainitud, ulatub tehnokihi paksus 3–4 ja ka enama meetrini. Selles esineb väga diktüoneemakilda rikkaid (>50% kilt) kohti, millised teatavates tingimustes (õhuhapniku juurdepääs jalamilt ja õhu liikumine alt üles) võivad isesüttida.

Tehismaastiku madalamatesse kohtadesse on rajatud paekivist, silikaadist ja betoonist kapitaalsed laomajad. Neid ümbritseb pealeveetud pinnase kiht või kui viimane puudub, asendavad seda kõrged kaitsevallid. Käesolevaks ajaks laomajad muutunud varemeteks. (gr lisa 4, foto 5). Need laomajad olid ühendatud auto- ja raudteega. Autoteed on maastikuautoga sõidetavad ka käesoleval ajal, raudtee säilmeid (esialgses asendis või ülesvõetud puust liiprite näol) esineb sageli paralleelselt autoteega. Ka laomajade esised laadimisplatvormid on jälgitavad veel tänapäeval (foto 6). Laomajad on varustatud maa-aluse veevõtu võimalustega. Ligikaudu 1,5–2 m sügavusel paiknenud veetrassi reliktid on reas kohtades veel säilinud. Nende trasside asukoha kohta puuduvad andmed. Tõenäoliselt olid need paigaldatud paralleelselt teedega.

Maa-ala idapoolses osas esinevad majade varemed (gr lisa 4). Tõenäoliselt oli tegemist endiste staabi-, olme-, remondi-, valve jt. ruumidega. Nende ehitiste ümbruses kaitsevallid puudusid, kuid veetrasside reliktid on kohati jälgitavad.

Ehitiste varemeid esineb samuti astangu jalamil, tiikide rea ja astangu vahelisel alal ning maa-ala edelanurgas klindi vaheastangul.

35. vaatluspunktist põhja suunas on ligi 1 ha suurune ala kinnine. Sõiduteed on suletud värvavatega ja territooriumi valvab koer.

Vanade pindmiste saastekollete kohta puuduvad andmed. Ala on võssa kasvanud ja ka rohi (esmajärjekorras nõges, angervaks, naat, takjad jt.) on kõrge. Sellest tulenevalt on nähtavus väga halb. Kohati esineb värskeid laagriplatse (foto 2). Aeg on teinud oma töö ja kui saastekolled ka esinesid, siis tihe kulu varjab nende jäljed. Küll on tegemist aga hilisema saastega. Kõige sagedamini esinevad vanade autokummide ja ehitusprahi hunnikud (fotod 25, 26). Kuid ka olmejäätmekuhilad ei puudu. Sageli on tegemist nende 3 jäätmetüübi seguga. Jäätmekuhilad esinevad autodele läbitavate teede või radade ääres. Suuremad jäätmete kuhilad, kus tegemist on kuupmeetritega (valdavalt 2–10 piirides) on toodud joonisel 4. Ka kõikide tiikide teepoolne kallas on muudetud prügilaks. Pea katkematu reana on jälgitavad nii veepinnast kõrgemal kui ka veepinna all autokummid, ehitus- ja olmejäätmekuhilad. Nende tiikide põhjas pole välistatud ka lõhkekehade (lõhkeaine) olemasolu, esmajärjekorras lõpetamata tunnelite avauste vastas. Rajati ju tunnelid suur-lõhketööde abil.

Nähtavat naftaproduktide saastet ei tuvastatud. Küll aga leiti ala, kus tiigist väljatud diktüoneemakilt on ise süttinud (praegu kustunud). Sellel alal on näha ka kuumuse tulemusel kildast eraldunud toorõli jälgi (gr lisa 4).

Tihe rohi ja kulu ei võimaldanud naftasaaduste reostuse järgi selgitada pindmiste vaatluste abil. Selle puuduse likvideerimiseks otsustati maa-alal võimalike naftasaaduste ja fenoolide saaste hinnang selgitada veeproovidest saadava info kui oluliselt objektiivsema meetodi abil.

Eelpool oli mainitud, et maa-alal leviv Ordoviitsiumi-Kambriumi veekiht on vabapinnaline ja otseses ühenduses Kvaternaari veekompleksiga. Koos need moodustavad ühise pinnasevee, toituvad astangust dreneeruvast karbonaatse kompleksi ja Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihi ning sademeveest ja liiguvad Harku järve suunas. Seega iseloomustavad kogutud ja analüüsitud veeproovid pinnasevett laiemas mõistes, kuni sügavamal esineva lokaalse veepidemeni.

Pindmise saaste iseloomustamiseks koguti 6 veeproovi: nr 1 ja nr 3 vastavalt 1,4 ja 1,5 m sügavuselt külmunud pinnase alt, proov nr 2 maa-ala läbivast ojast, proov nr 4 tõusuallikast ning proovid nr 5 ja 6 tiikidest. Proov nr 5 võeti jää pealt tiigi põhja lähedalt ja proov nr 6 tiigi põhjas (vee all) olevast allikast. Proovid nr 1 ja nr 2 iseloomustavad Astangu maa-ala valdavalt osa. See on kõrge Rn-riskiga, kuid foonilise keskkonnaohtlike elementide sisaldusega ala. Proov nr 4 iseloomustab väga kõrge Rn-riski ja keskkonnaohtlike elementidega saastunud ala ning proovid nr 5 ja nr 6 klindi kivimitest tiikidesse dreneeruvat vett.

Veeproovide analüüsi tulemused on koondatud lissasse nr 3. Nende andmete analüüs näitab, et kõikjal on vesi saastunud lämmastikühenditega, veeproov nr 4 täiendavalt ka väga intensiivselt SO_4 -ga. Kõikide proovide vesi, kaasaarvatud oja vesi, on saastunud naftaproduktidega (gr lisa 4), sealjuures allikavee proovis nr 6 ulatub naftaproduktide sisaldus $1720 \mu\text{g/l}$, mis ületab vees maksimaalselt lubatud sisalduse pea 3 korda. Ka F sisaldus on vees kõrgendatud või kõrge, valdavalt üle $1500 \mu\text{g/l}$ ja veeproovis 4 ulatub $4680 \mu\text{g/l}$, mis ületab vees maksimaalselt lubatu. Raskmetallide sisaldus ületab vees küll inimese tervisele täiesti ohutu piiri, kuid ei ületa kindlalt tervist kahjustavat piiri.

Saadud tulemused näitavad, et kogu maa-alal esineb naftaproduktide saastekoldeid, neist maa-ala lõunapiiri keskses osas klindi piirkonnas (gr lisa 4, vp 6) oluline saastekolle. Maapinnal pole saastekolle jälgitav. Kuna seda läbivas vees ületab naftaproduktide sisaldus kolmekordselt maksimaalselt lubatu, vajab probleem täiendavat selgitust. Tehnopinnase kihist toimub intensiivne S, F ja raskmetallide väljakanne (gr lisa 4, vp 4; lisa 3).

Kokkuvõte

Astangu maa-ala lõunapoolse osa looduslik reljeef on inimtegevuse poolt tundmatuseni ümber kujundatud. Vahetult astangunõlva ja klindieelse tasandiku piirile on kaevatud suhteliselt kitsas, 10–20 m laiune kuni 5–7 m sügavune katkematu tiikide rida. Astangusse sisenevad tunnelid on osaliselt kaevatud diktüoneemalita. On tekkinud tehismaastik, millele on ühelt poolt veetud tuhandetes tonnides peenestatud kõrgradioaktiivset ja keskkonnaohtlike elementide rikast diktüoneemakilta ja fosforiiti nii tunnelitest kui tiikidest, teiselt poolt on kilda looduslik lasuvus paljudes kohtades rikutud ning tekitatud täiendavaid probleeme. Kildarikka tehnokihi paksus ulatub 3–4 ja enama meetrini. Selles esinevad diktüoneemakilda rikkaid (>50% kilta) kohad võivad isesüttida.

Inimtegevuse tulemusel on maa-ala lõunaosa reljeef tundmatuseni muudetud. Vahetult astangunõlva ja klindieelse tasandiku piirile on kaevatud suhteliselt kitsas, 10–20 m laiune kuni 5–7 m sügavune katkematu tiikide rida. Tuginedes tiikidest väljatud materjali

vaatlustele on need rajatud oobolusliivakivisse ja ala keskosas samuti liivakive katvasse diktüoneemakilt.

Astangusse siseneb 10 (5 paari) maa-alust horisontaalset tunnelit, mis on osaliselt kaevatud diktüoneemalita. Klindinõlva alustest tiikidest ja tunnelitest väljastatud diktüoneemakilt ja fosforiidirikas kaevis on paigaldatud tiikidest kirdesse jäävale maa-alale, esmajärjekorras tiikide ja lõunapoolsema laoruumide rea vahelisele alale. Kujundatud looduslikku pinda katva tehnopeinnase kihi paksus ületab sageli 3–4 m piiri. See tehnogeenne kiht on kohati väga ümbritseb lõunapoolse laoruumide rea laoruumi (fotod 9, 10).

Kogutud andmed näitavad, et Astangu maa-ala peinnaseõhus on Rn sisaldus väga varieeruv, valdavalt kõrge või väga kõrge ja ületab Eestis kehtestatud piiranguteta ehitustegevuseks lubatud piirväärtuse (50 kBq/m^3) kuni 2 korda 25 % vaatluspunktidest, 2–5 korda 35 % vaatluspunktidest ja 5 kuni 10 korda 21% vaatluspunktidest, kokku 81% vaatluspunktidest. Need normaalse, kõrge ja eriti kõrge Rn-riskiga alad on eraldatud kaardil (gr lisa 1).

Eriti kõrge Rn-riskiga ala pinnas on laiguti kõrgendatud looduskiirgusega, mis on ka kõrgem elurajoonis soovitatust. Looduskiirguseohtlik ala on eraldatud kaardil (gr lisa 2).

Eriti kõrge Rn-riskiga ala pinnas on saastunud keskkonnoahtlike elementidega. Pinnases esineb kohti, kus As, Mo, V ja F sisaldus ületab kuni 2 korda elurajoonide pinnases lubatud sisalduse ehk sisalduse piiri, millest alates need ohustavad inimese tervist. Pb ja Ni sisaldus ületab kohati elurajoonide pinnases soovitatud piiri (gr lisa 3).

Väga kõrge Rn-riskiga, looduskiirgusega ning keskkonnoahtlike elementide rikas pinnas on tehnogeenne päritoluga. Selle moodustab purustatud ja suures enamuses kaootiliselt ümberpaigutatud diktüoneemakilt (fosforiit) ning selle ümbriskivimid. Kujunenud massis võib kilda sisaldus ületada 50% piiri. Selle maht on mõõdetav tuhandetes m^3 ning selle kõrvaldamine pole reaalne. Kõrvaldamisega võib kaasneda väga diktüoneemakilt rikaste kohtade avamine ning isesüttimisnähte teke.

Maa-ala peinnase naftaproduktide ja fenoolide sisaldus on rahuldav ning nende sisaldus peinnasevees ei ületa vees lubatud piiri. Erandi moodustab I tunneli sissekäikude piirkond. Selle lähedane allikavesi on intensiivselt saastunud naftaproduktidega ($1,72 \text{ mg/l}$), mis ületab pea 3 korda lubatud piiri. Nähtavad saasteallikad puuduvad. Samas on sissekäikude ümbruses tehtud suuri peinnase ümberpaigutusi. On tarvis selgitada, kas tegemist oli juhusliku saastega või pikaajalise, veel teadmata saastekoldega. Väärib tähelepanu, et ka oja vees, kuhu suubub allikavesi, oli naftasaaduste sisaldus kõrgendatud ($0,23 \text{ mg/l}$).

Astangu maa-alal levivad erinevad varemed ja maa-alale on viimastel aastatel veetud suures koguses tööstus- ja olmejäätmeid (gr lisa 4). Nende hunnikud paiknevad autodega juurdepääsevates kohtades. Nende likvideerimine pole probleem. Probleemid on seotud klindi nõlvaaluste tiikidega. Nendesse veetud jäätmete hulga ja sortimendi kohta puuduvad ka ligikaudsed andmed. Tiigi põhjas pole välistatud lõhkeaine (lõhkekehade) olemasolu. Samuti võivad probleemid kujuneda maa-aluste veetrasside likvideerimisega.

Astangusse rajatud tunnelitega on seotud tõsised probleemid. Kindlustamata tunnelite (II, IV ja V) suue, seinad ja laed on varinguohtlikud ning nendesse tunnelitesse sisenemine on eluohtlik. Tõsist ohtu kujutavad tunnelite kohale maapinnale kujunenud ja tõenäoliselt kujunemise staadiumis olevad langatused. Kuna need esinevad tavaliselt rohtu kasvanud klindipealsel alal, on nad halvasti nähtavad. Nendesse kukkumine on eluohtlik (kukkumine 6–8 m lubjakivi pangastele). Lõhkeainete (kehade) jälgi tunnelites ei leitud.

I, II ja III tunnelite paar tuleks sulgeda seniks kuni selgub nende võimalik otstarve. IV ja V (samuti VI ?) tunnelite paar tuleb likvideerida.

Astangu maa-ala väga kõrge Rn- riski osa (gr lisa 1) pole sobiv elamurajooni rajamiseks. Seda põhjustavad:

- pinnases lubatust kõrgem As, V, Mo, F ja kõrgendatud Pb, Ni jt elementide sisaldus;
- väga kõrge Rn-risk, mille pääsu likvideerimine elamutesse (olmehoonetesse) on raskendatud;
- pole välistatud, et vaigse ilmaga tõuseb ka maapinna lähedases õhus Rn sisaldus looduslikust foonist ($5\text{--}20 \text{ Bq/m}^3$) oluliselt kõrgemaks;
- diktüoneemakilda rikkad kohad võivad hakata kuumenema kuni isesüttimiseni.
- pinnasevesi on saastunud ja pole kasutatav majandus-joogiveena.

Astangu maa-ala väga kõrge Rn- riski osal (gr lisa 1) pole tööstuslik tegevus keelustatud kuid pole soovitatav. Seda tingivad pinnase väga kõrge Rn-risk, mille pääs ehitistesse on raskesti teostatav ja diktüoneemakilda rikkad kohad võivad hakata kuumenema kuni isesüttimiseni.

Astangu maa-ala kõrge ja normaalse Rn-riski osadel (gr lisa 1) pole elamuehitus keelustatud. Kindlasti tuleb rakendada Rn-kaitse meetmeid ja teadvustada, et pinnasevesi pole majandus-joogiveena kasutamiseks sobiv.

Kirjandus

AS Maves, 2003. Tallinna Astangu piirkonna hüdrogeoloogiline iseloomustus. AS Maves.

Åkerblom, G., 2006. Natural Radiation and Radon an Introduction, Swedish Radiation Protection Authority, Stockholm.

Åkerblom, G., Pettersson, B., Rosen, B., 1988. "Markradon. Handbok för undersökning av markradonförhållanden". In the Series: "Radon I bostäder". The Swedish Council for Building Research. Report R85, Stockholm.

Clavensjö, B., Åkerblom, G., 1994. The Radon book. Measures against radon, Stockholm, 129 p.

Essentials of Medical Geology, 2005. Impacts of the Natural Environment on Public Health. ELSEVIER ACADEMIC PRESS, 811 p.

Kiirgustöötaja ja elaniku efektiivdoosi ning silmaläätse, naha ja jäsemete ekvivalendi piirmäärad. Vabariigi Valitsuse 17.mai 2004. a määrus nr 193. RTL, 2004, 45,321.

Loog, A., Petersell, V., 1990. Mikroelementide leviku seaduspärasused Eesti fosforiitides Vene keeles). Tartu Ülikooli Toimetised, 885, Töid geoloogia alalt XI, lk. 68–83.

Loog, A., Petersell, V., 1994. The distribution of microelements in Tremadoc graptolitic argillite of Estonia. Tartu Ülikooli Toimetised, 972, Töid geoloogia alalt XIV, lk. 57–75.

Looduskiirgusest, kiirgustegevusest, kiirgusallikatest ja avariidest elanikkonnale põhjustatud kiirgusdooside seire ja hindamise korra kindlustamine. Keskkonnaministri 24. augusti 1998. a määrus nr 55.

Meriküll, V., Jalakas, I., Morgen, E., Mardiste, A., Savitskaja, L., 1993. Tallinna ümbruse geoloogiline järelkaardistamine mõõtkavas 1:50 000, EGF.

Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations. The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, 2000, ISBN 91-89230-00, 73 p.

Pahapill, L., Rajamäe, R., Rulkov, A., 2004. Radoon majade siseõhus. Eesti Kiirguskeskus

Petersell, V., Möttus, V., Enel, M., Täht, K., Võsu, M., 2000. Eesti mulla lähtekivimite geokeemiline atlas. Seletuskiri, Tallinn, EGF, 91 lk.

Petersell, V., Åkerblom, G., Ek, B.-M., Enel, M., Möttus, V., Täht, K., 2004. Eesti radooniriski kaart, Tallinn-Stockholm.

Pinnases ja põhjavees ohtlike ainete sisalduse piirnormid. Keskkonnaministri 2. aprilli 2004. a määrus nr 12. RTL 2004, 40, 662.

Raudsep, R., Samuel, G., 1999. Radooniohu piiritlemine. Eesti projekteerimisnormid EPN 12.2., ET Eesti Ehitusteave.

Radooniohutu hoone projekteerimine, 2003. Eesti Standard. EVS 840:2003.

Radoon, 1997. Maailma Tervishoiuorganisatsiooni Euroopa regionaalbüroo, WHO, Kopenhaagen.

The Geochemical Atlas of Finland. Part 2; Till, 1992, 218 p.

UNSCEAR 1993. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York

Keskkonnaekspert:

Valter Petrsell

Litsents nr KMH0042, väljastatud 01.06.2001

Vanemgeoloog

Krista Täht

Geoloog

Voldemar Möttus

Vaatluspunktide pinnase elementide sisaldus, pinnaseõhu radoonisisaldus ja looduskiirguse tase

Jrk. nr.	Lt	Vp. nr.	K	U	Th	Rn _{lm}	Rn _{Ra}	C	G ₁	G ₂	G ₃
1	t	05Rn-1279	2,1	6,1	7,7	133	95	62	15	27	18
2	b	05Rn-1280	1,4	3,8	6,4	43	57	43	12	19	12
3	b	05Rn-1281	1,4	3,3	6,8	36	49	42	12	18	12
4	b	05Rn-1282	1,2	7,2	3,4	62	107	49	13	22	14
5	b	05Rn-1283	2,3	4,2	13,2		62	67	13	26	17
6	t	05Rn-1284	4,5	22,2	12,8	61	345	16	27	64	42
7	t	05Rn-1285	1,2	15,0	10,9	53	233	96	31	37	31
8	t	05Rn-1286	1,4	8,2	5,2	69	127	59	22	19	16
9	b	05Rn-1287	1,7	3,0	5,6	58	45	41	9	18	12
10	b	05Rn-1288	2,3	3,2	11,5	49	48	60	10	24	16
11	b	05Rn-1289	1,0	4,2	4,7	56	63	37	7	17	11
12	b	05Rn-1290	1,6	2,9	3,7	13	43	36	9	16	10
13	b	05Rn-1291	1,3	2,9	7,5		43	40	8	9	6
14	b	05Rn-1292	2,0	4,6	9,1	33	68	58	15	25	16
15	b	05Rn-1293	2,0	2,6	6,5	11	39	44	10	20	13
16	b	05Rn-1294	1,0	3,5	4,0	13	52	33	9	16	10
17	b	05Rn-1295	0,5	1,2	1,8		18	14	9	14	9
18	b	05Rn-1296	1,1	3,1	4,4		46	33	8	15	10
19	b	05Rn-1297	1,7	2,1	5,1	68	31	36	8	16	10
20	t	05Rn-1298	1,8	13,8	7,0	107	214	89	24	43	28
21	b	05Rn-1299	0,7	9,7	4,0	197	144	55	13	27	18
22	kla	05Rn-1300	0,8	7,0	3,6	38	103	44	13	22	14
23	b	05Rn-1301	1,3	9,6	5,6	52	143	64	13	30	20
24	kla	05Rn-1302	1,6	8,5	5,6	89	125	63	10	32	21
25	kla	05Rn-1303	1,4	8,9	8,1	41	131	67	15	23	19
26	t	05Rn-1304	3,3	16,1	10,3	253	250	13	15	54	35
27	b	05Rn-1328	0,6	7,6	4,7	46	113	47	12	18	15
28	kla	05Rn-1329	0,8	6,7	3,6	73	99	43	11	22	14
29	kla	05Rn-1330	2,0	4,9	8,1	94	72	57	12	24	16
30	b	05Rn-1331	2,5	17,4	7,7	166	259	113	16	52	34
31	mp	05Rn-1332	1,9	4,3	12,2	32	61	62	12	16	13
32	b	05Rn-1337	0,8	6,2	4,2	86	92	42	10	18	12
33	b	05Rn-1338	0,8	6,9	5,9	86	102	48	11	19	12
34	kla	05Rn-1357	4,2	19,3	11,0	59	284	62	38	49	41
35	b	04Rn-0938	1,6	4,8	9,5		72	55	12	22	18
36	kla	04Rn-0948	1,6	10,5	4,0	159	155	67	16	30	20
37	t	04Rn-0949	2,1	11,8	4,2	144	183	79	30	41	27
38	t	04Rn-0950	2,9	19,8	9,2	57	307	130	24	58	38
39	t	04Rn-0951	5,9	31,7	12,6	100	491	216	16	98	64
40	kla	04Rn-0952	2,5	15,2	6,4	169	224	101	24	47	31
41	kla	04Rn-0953	3,3	19,4	8,1	160	286	130	21	62	40
42	t	04Rn-0955	2,2	17,4	7,5	161	270	109	25	51	33
43	t	04Rn-0956	2,7	21,5	7,9	122	333	132	32	61	40

K – (K-K⁴⁰) %; U – U(Ra) g/t; Th – Th²³² g/t; Rn_{lm} – Rn sisaldus pinnaseõhus otsemõõdetult (kBq/m³); Rn_{Ra} – Rn sisaldus pinnaseõhus U(Ra) järgi arvutatult (kBq/m³); C – looduskiirguse tase ehitusmaterjalides lubatust, %; G₁ – gammakiirgus maapinnal (μR/h); G₂ – gammakiirgus kaevandi põhjas (μR/h); G₃ – värskele maapinnale arvutatud gammakiirguse tase (μR/h).

Lt – setete geneetilis-litoloogiline tüüp: b – Läänemere setted (liiv, aleuriit, harva kruus), kla – klindialused liustikuvee- ja meresetted ning nendega sageli segunenud klindi varikalde marerjal, t – ümberpaigutatud pinnas ja aluspõhja kivimid.

**EESTI GEOLOOGIAKESKUSE
LABOR**

EAK poolt akrediteeritud katselabor
registreerimisnumbriga L093

Kadaka tee 82, 12618, Tallinn
Tel. 6 720 074, 52 562 98

VEE ÜLDANALÜÜSI TULEMUSED

TELLIJA: geokeemia ja keskkonnageoloogia osakond
OBJEKT: 60-93 Astangu

Tellimus nr. V05-549
Kuupäev: 22.12.2005

Analüüsitava komponent
NH₄, Fe, SiO₂ NO₂, NO₃ SO₄, Kuivjääk Ca, Mg, CO₃, HCO₃, CO₂, karedus PHT, Cl K,Na pH värvus

Meetod
fotokolorimeetria fotokolorimeetria kaalanalüüs tiitrimine tiitrimine leek-fotomeetria elektrokeemia visuaalne

Standardi nr.
GOST 4192-82, GOST 4011-72.4, STV-1 ISO 6777, ISO 7890-3 ISO 9280, GOST 18164-72 ISO 9963-1, ISO 6058, ISO 6059 EVS-EN ISO 8467, ISO 9297 ISO 9964-3 ISO 10523 GOST 3351-74

Pr. nr.	Proovi võtu koht, Mõõtühik	Na	K	NH ₄	Ca	Mg	Fe ²⁺	Fe üld	Katioon. summa	Cl	SO ₄	NO ₃	NO ₂	CO ₃	HCO ₃	Anioon. summa	Üldkaredus	Üld- karedus	Karbon. karedus	Mittek. kared
1	kaevis 20.12.2005	mg/l mg-ekv	6,7 0,29	3,0 0,1	0,30 4,08	81,8 1,33	16,2	0,53	5,78	14,2 0,40	92,4 1,92	11,3 0,18	0,091	<6,0	213,6 3,50	6,00			5,41 3,50	1,91
2	oja	mg/l	18,9	3,8	0,15	75,8	14,9	0,38		44,0	75,1	4,8	0,026	<6,0	213,6					
	20.12.2005	mg-ekv	0,82	0,10		3,78	1,23		5,93	1,24	1,56	0,08			3,50	6,38			3,50	1,51
3	kaevis	mg/l	9,3	3,3	0,63	123	26,0	<0,06		17,7	214,8	19,5	0,033	<6,0	238,0					

4	20.12.2005	mg-ekv	0,40	0,1	0,03	6,13	2,14			8,78	0,50	4,47	0,31				9,18	3,90	8,27	3,90	4,57
	allikas	mg/l	4,3	5,1	<0,07	454	71,9		0,95		8,9	1148,9	<0,4	0,046	<6,0	292,9					
5	20.12.2005	mg-ekv	0,19	0,1		22,7	5,92			28,90	0,25	23,92				4,80	28,97	4,80	28,58	4,80	23,78
	tiik	mg/l	4,7	3,2	0,35	121,6	15,6		0,23		8,9	115,0	8,4	0,023	<6,0	311,2					
6	20.12.2005	mg-ekv	0,20	0,1		6,07	1,28			7,63	0,25	2,39	0,15			5,10	7,89	5,10	7,35	5,10	2,25
	allikas	mg/l	5,0	6,0	1,08	121	37,2		2,51		10,6	221,2	<0,4	<0,004	<6,0	311,2					
	20.12.2005	mg-ekv	0,22	0,2	0,06	6,02	3,06			9,51	0,30	4,61				5,10	10,01	5,10	9,08	5,10	3,98
	Analüüs tehtud																				
	21.12.2005																				
	Määram.al.piiir	mg/l	0,6	0,6	0,07	1,0	0,6	0,1	0,06		3,5	3,3	0,4	0,004		6			0,05		

Analüütik:

N.Balabina

Mare Kalkun
labori juhataja

Analüüs tehtud	06.01.06	23.12.	27.12.	28.12.	27.12.	23.12.	3.01.2006	12.12	22.12.	21-27.12.	27.12.
----------------	----------	--------	--------	--------	--------	--------	-----------	-------	--------	-----------	--------

Analüüsid on tehtud filtreeritud proovidest.

Analüütik: S.Safonova
V.Kalašnikova
N.Stepantšenko

Mare Kalkun
labori juhataja

Sihtarv	mg/l	0,005	0,0150	0,005	0,01	0,01	0,05	1,50	0,001	0,02000
Piirarv	mg/l	0,1	1,0000	0,07	0,2	0,2	5	4,00	0,1	0,60000

Astangu maa-ala iseloomustavad fotod (26 fotot 13 lehel)



Foto 1. Purustatud maja varemed (32. vaatluspunktist põhja suunas)



Foto 2. Üks paljudest laagripaikadest



Foto 3. Purustatud maja varemed lodumetsas (33. vaatluspunktist loodes)



Foto 4. Lodumets. Alal esineb ajutisi tõusuallikaid (10. vaatluspunktist põhja suunas)



Foto 5. Astangunõlva ja klindieelse tasandiku piiril olev tiik (I–II tunneli kohal)



Foto 6. Astangunõlva ja klindieelse tasandiku piiril olev loodepoolseim tiik



Foto 7. Laomaja varemed



Foto 8. Laadimisplatvorm laomaja ees



Foto 9. 24. vaatluspunktist kirdesse jääva tehno pinnase kihi piir



Foto 10. 4. vaatluspunktist edelasse jääva tehno pinnase kihi piir



Foto 11. I tunneli kagupoolsem sissekäik



Foto 12. I tunneli loodepoolsem sissekäik



Foto 13. III tunneli kagupoolsem sissekäik



Foto 14. III tunneli loodepoolsem sissekäik



Foto 15. II tunneli kagupoolsem sissekäik



Foto 16. V tunneli kagupoolsem sissekäik



Foto 17. Loodepoolsem sissepääs I tunnelisse (Ringikujuline raudteepöörang, tee pöördub paremale)



Foto 18. I tunneli betoonist põrand (Raudtee jälg ja betoneeritud drenaažitoru teeninduse kaeve)



Foto 19. Kagupoolsem
sissepääs III tunnelisse
(Ringikujuline raudtee-
pöörang, tee pöörduv
vasakule)



Foto 20. III U-kujulise tunneli betoonist põrand (Betonist alused ja vasakul raudtee jälg)



Foto 21. II U-kujulise tunneli kagupoolsem sissepääs (põhja katab vesi, seinad ja lagi betoneeritud)



Foto 22. V U-kujulise tunneli kagupoolsem sissepääs (põhjas vanad rakised; seinad ja lagi kindlustamata)



Foto 23. Langatuslehter IV U-kujulise tunneli kagupoolse haru kohal (klindi peal, järsakust ligi 10 m)



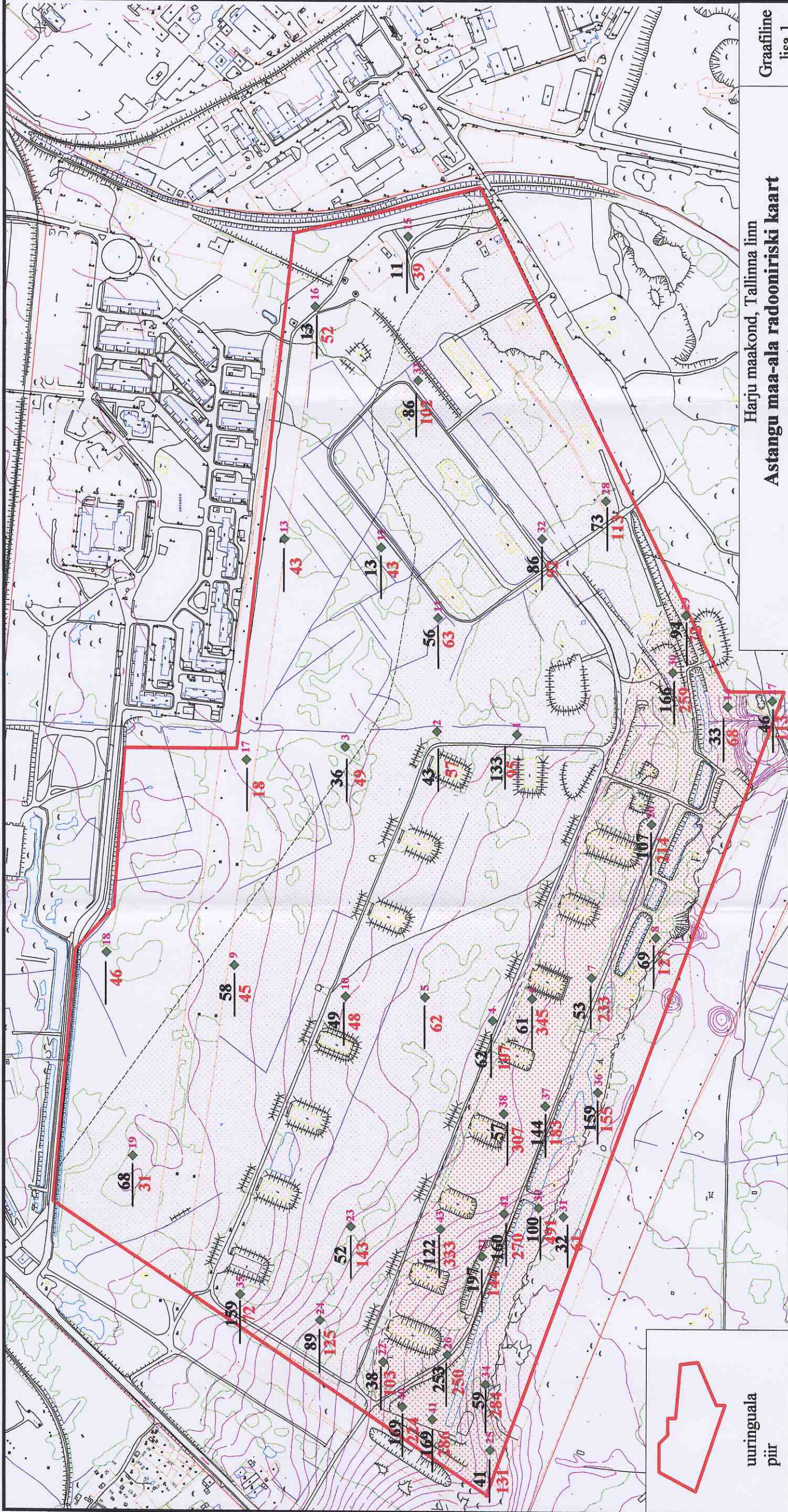
Foto 24. Langatuslehter IV U-kujulise tunneli loodepoolse haru kohal (klindi peal, järsakust ligi 30 m)



Foto 25. Vanade autokummide ja ehitusprahi kuhila (10. vaatluspunktist idas)



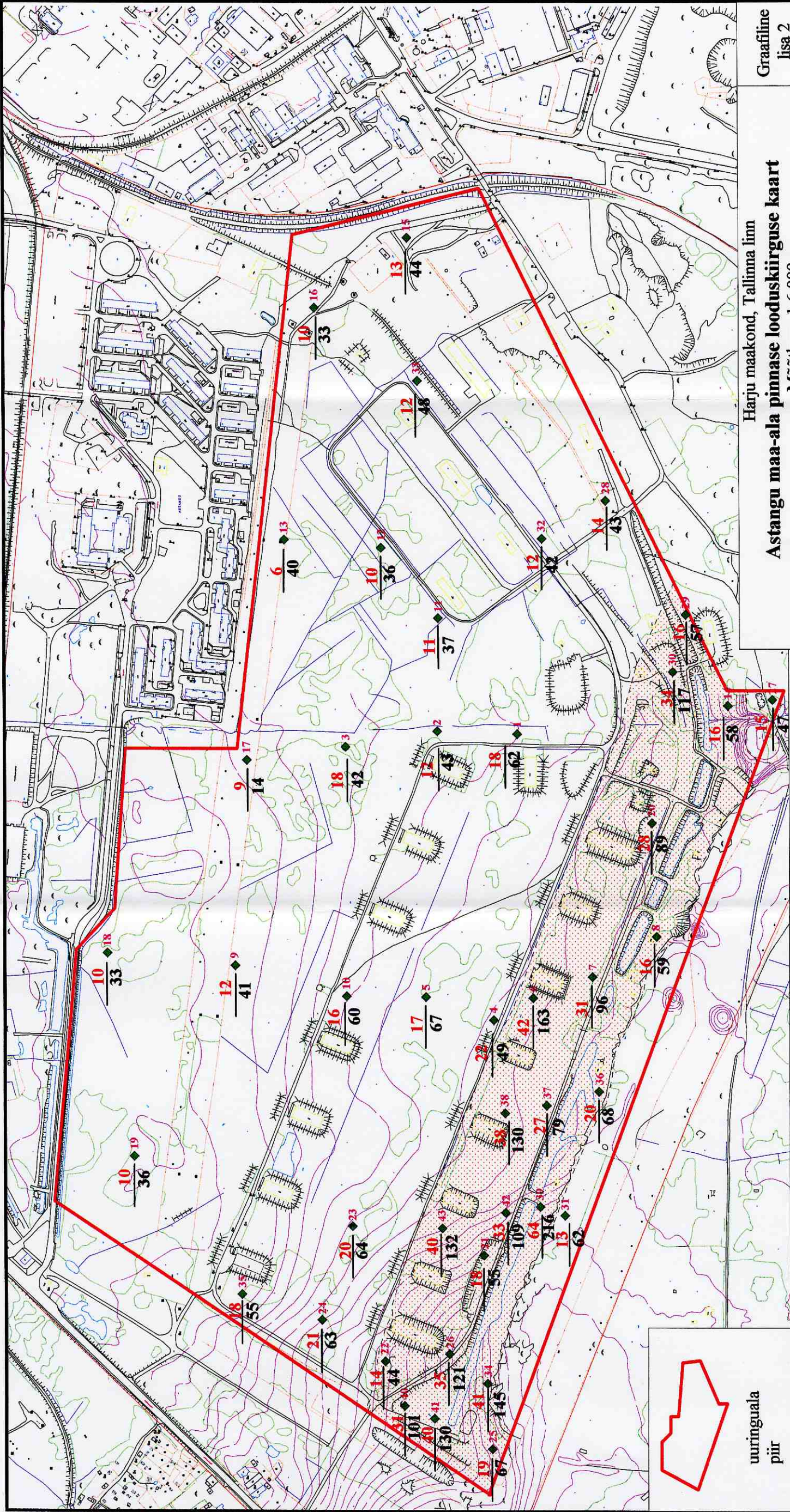
Foto 26. Olme- ja ehitusjätmete hunnikud (30. vaatluspunkti ümbruses)



1 - vaatluspunkt, selle nr. ja Rn sisaldus (kBq/m³) pinnaseõhus: otsemõõdetud (muru lugeja)
ja U (Ra) järgi arvutatud (muru nimetaja);

- 2 - Radooniriski tase:
a - normaalne
b - kõrge
c - väga kõrge

Harju maakond, Tallinn linn		Graafiline lisa 1
Astangu maa-ala radooniriski kaart		
Mõõtkava 1:6 000		
Tellija	Vabaduse väljak 7, 15198. tel. 6404375	
Tallinna Linnaplaneerimise Amet		
Teostaja	Kadaka tee 82, tel. 6720094	KKA000037
OÜ Eesti Geoloogiakeskus	12618, Tallinn fax 6720091	litsents 193 MA
Koostas projektijuht Valter Petersell, toimetas geoloog Voldemar Mõttus		25.05.06

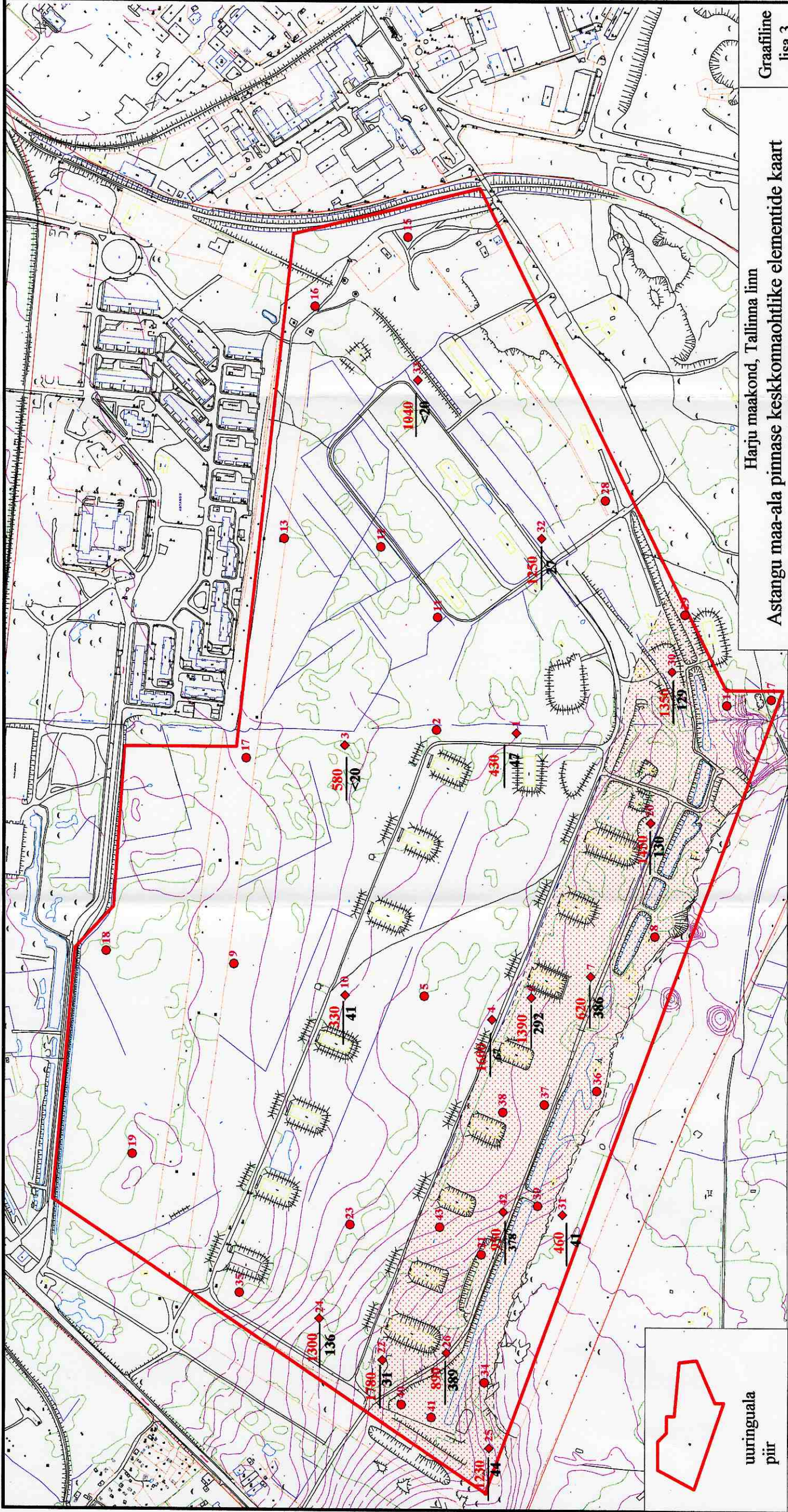


Harju maakond, Tallinna linn		Graafiline lisa 2
Astangu maa-ala pinnase looduskiirguse kaart		
Mõõtkava 1:6 000		
Tellija	Vabaduse väljak 7, 15198 tel. 6404375	
Tallinna Linnaplaneerimise Amet		
Teostaja	Kadaka tee 82, tel. 6720094	KKA000037
OÜ Eesti Geoloogiakeskus	12618, Tallinn fax 6720091	litsents 193 MA
Koostas projektijuht Valter Petersell, toimetas geoloog Voldemar Mõttus		25.05.06

1 - vaatluspunkt, selle nr. ja pinnase looduskiirguse tase: radiomeetriga mõõdetud (muru lugeja, $\mu R/h$) ja $U(Ra)$, Th (^{232}Th) ja K (^{40}K) sisalduse järgi arvutatud (muru nimetaja, ehitusmaterjalides lubatust, %); $1 \mu R/h = 0.01 \mu Sv/h$

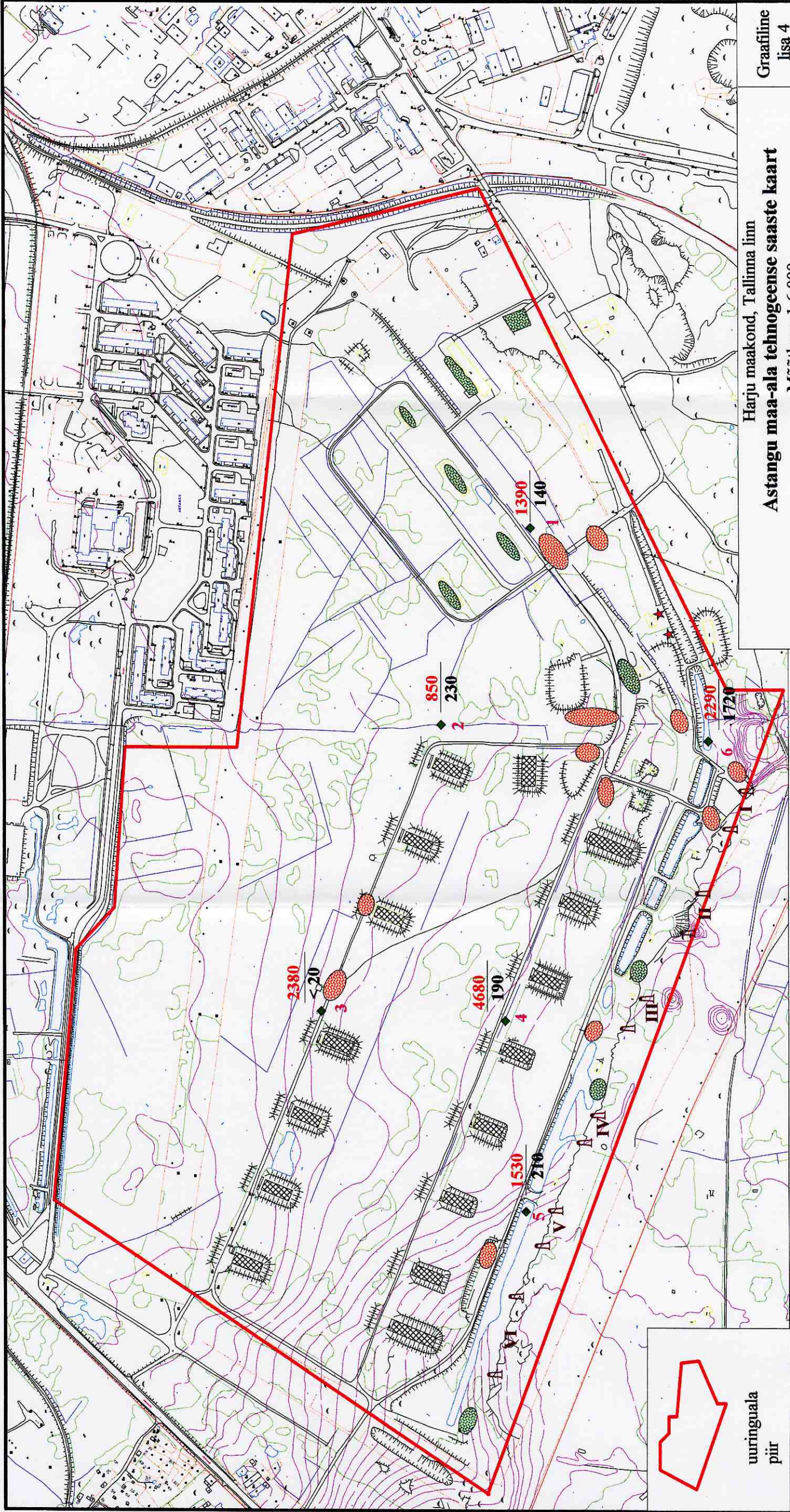
2 - Looduskiirguse tase C : a - normaalne; b - kõrge

Ehitusmaterjalides lubatud looduskiirguse tase, mis arvutatakse valemi $C = \frac{Ra}{300} + \frac{^{232}Th}{200} + \frac{^{40}K}{3000}$ järgi, ei tohi ületada 1 ja on väljendatud protsentides



Harju maakond, Tallinn linn		Graafiline lisa 3
Astangu maa-ala pinnase keskkonnaahtlike elementide kaart		
Mõõtkava 1:6 000		
Tellija		
Tallinna Linnaplaneerimise Amet		
Teostaja		
Kadaka tee 82, tel. 6720094		
OÜ Eesti Geoloogiakeskus		
12618, Tallinn fax 6720091		
KKA000037		
litsents 193 MA		
Koostas projektijuht Valter Petersell, toimetas geoloog Voldemar Möttus		
25.05.06		

- 1 - vaatluspunkt, selle nr. ja pinnase F sisaldus, mg/kg (muru lugeja), V sisaldus, mg/kg (muru nimetaja);
- 2 - keskkonnaahtlike elementide foonilise sisalduse levila (a), keskkonnaahtlike elementidega (F, V, As, Mo, Pb, U) rikastunud levila (b);
- 3 - vaatluspunkt, milles on ainult määratud pinnase U ja Th sisaldus.



Harju maakond, Tallinna linn		Graafiline lisa 4
Astangu maa-ala tehnogeense saaste kaart		
Mõõtkava 1:6 000		
Tellijä	Vabaduse väljak 7, 15198 tel. 6404375	
Tallinna Linnaplaneerimise Amet		
Teostaja	Kadaka tee 82, tel. 6720094	KKA000037
OÜ Eesti Geoloogiakeskus	12618, Tallinn fax 6720091	litsents 193 MA
Koostas projektijuht Valter Petersell, toimetas geoloog Voldemar Mõttus	25.05.06	

- laomaja varemed; - maja varemed; - autokummide, ehitus- ja olmejäätmete hunnik;
V - maa-aluse tunneli number ja klindi alt sellesse sissepääsu koht; - diktüoneemakilda põlengu koht;
6 - veeproovi asukoht ja selle number: F sisaldus µg/l
4680 190 (muru lugeja), naftaproduktide sisaldus µg/l (muru nimetaja)