

Tallinna Tehnikakõrgkool

„Väljastpoolt Euroopa Liitu pärinevate ja Eesti turul olevate ehitusmaterjalide kaardistamine ning vastavate materjalide kiirgusohtlikkuse tuvastamine“

Keskkonnainvesteeringute Keskuse

projekti nr 16329, aruanne.

(1.10.2019–30.10.2020)

Tallinn 2020

Projekti nimetus	Väljastpoolt Euroopa Liitu pärinevate ja Eesti turul olevate ehitusmaterjalide kaardistamine ning vastavate materjalide kiirgusohhtlikkuse tuvastamine
Kuupäev	30.10.2020
Uuringu täitjad	Rein Koch , Siiri Suursoo, Taavi Vaasma, Marilyn Jaska
Aruande koostajad	Rein Koch , Siiri Suursoo, Taavi Vaasma, Marilyn Jaska
Link veebisaidile, kus aruanne on avaldatud	https://www.ttkk.ee/wp-content/uploads/Aruanne_radoon_R.Koch_.pdf

Aruande koostamist rahastas:



1. SISUKORD

Sissejuhatus	4
1. Uurimuse lähtekohad.....	4
1.1 Töö kirjeldus.....	5
2. Turuülevaate koostamine.....	6
2.1 Valimi koostamine.....	6
2.2 Andmete töötlemine ja teise valimi koostamine.....	10
2.3 Päringu koostamine valitud ettevõtetele ning saadud andmete töötlemine.....	15
2.4 Kokkuvõtte valimi moodustamisest.....	16
2.4.1 Väljastpoolt Euroopa Liitu tarnitud ehitusmaterjalide liigid, tarnemahud ning peamised tarneriigid.....	16
2.4.2 Suurimatelt tarnijatelt saadud info tootomaduste, tarnemahtude varieeruvuse ning äripartnerite vahetamise kohta	18
3. Gammaspektrometriliste analüüside kokkuvõtte.....	20
3.1 Metoodika.....	20
3.1.1 Valim.....	20
3.1.2 Proovide ettevalmistus.....	20
3.2 Gammaspektrometriline analüüs.....	21
3.2.1 Omaneeldumise korrigeerimine.....	21
3.2.2 I-indeksi arvutamine.....	22
3.3 Tulemused.....	24
3.3.1 Radionukliidid.....	24
3.3.2 Aktiivsuskontsentratsiooni indeks I.....	25
4. Massekshalatsiooni kiiruse leidmine.....	26
4.1. Metoodika.....	27
4.2 Massekshalatsiooni kiiruse arvutamine.....	29
4.3 Tulemused.....	29
5. Ettevõtete esitatud sertifikaatide analüüs.....	32
5.1 Üldised järeldused.....	35
KOKKUVÕTE	36
Lisa 1. Uraan-238 ja toorium-232 lagunemisread.....	40
Viited.....	41

Sissejuhatus.

Kiirgusomadused ei ole Eestisse imporditava kauba puhul deklareeritavate omaduste loetelus ning üldist kohustust kõigi Eestis turustavate ehitusmaterjalide kiirgusohutuse hindamiseks ei ole. See teeb keeruliseks nii ehitusmaterjalide maaletoojate otsustusprotsessi kui ka järelevalve teostamise – ühest küljest ei ole määratud ehitusmaterjalide liigid, mille puhul võib esineda kiirgusohu, teiselt poolt ei ole ka otstarbekas nõuda või teostada lausmõõtmisi kõigi sisseveetavate ehitusmaterjalide puhul. Käesolevat uurimust ajendaski teostama tõik, et riigil pole täielikku ülevaadet väljastpoolt Euroopa Liitu imporditavate ehitusmaterjalide mahtude, liikide ega nende kiirgusomaduste kohta. Samas on Eestil Euroopa Liidu liikmesriigina kohustus tagada, et turule ja kasutusse ei jõuaks ehitusmaterjalid, mis võivad tulenevalt kiirguslikest omadustest inimese tervisele potentsiaalset ohtu kujutada. Põhilisteks kiirgusdoosi tekitajateks ehitusmaterjalide korral on neis leiduvad gamma-aktiivsed radionukliidid, mille summaarse mõju hindamiseks kasutatakse nn. i-indeksit ning ehitusmaterjalidest õhku eralduv radoon. I-indeksi mõõtmine on üldlevinud ning reguleeritud aga ehitusmaterjalidest pärineva radooni ekshalatsiooni mõõtmist nõutakse teadaolevalt, (2018. aasta seisuga) vaid kuues riigis (Bosnia ja Hertsegoviina, Tšehhi, Moldova, Rumeenia, Usbekistan ja Valgevene). [1]

1. Uurimuse lähtekohad.

Töö alustamise eelduseks oli tõdemus, et momendil puudub riigi tasandil ülevaade, millisel hulgal ning millise kiirgusohutusega väljastpoolt Euroopa Liitu pärinevaid ehitusmaterjale on saadaval Eesti ehitusmaterjalide turul. Tehtud töö eesmärgiks oligi ülevaate saamine väljastpoolt Euroopa Liitu tarnitavate kiirgusohutuse seisukohalt oluliste omadustega ehitusmaterjalidest, nende mahtudest, mahtude varieeruvusest aastate lõikes ning suurimatest tarnijatest, samuti ka hinnata nendest olulisemate materjalide kiirgusomadusi. Vastavalt Euroopa Nõukogu direktiivile **2013/59/EURATOM** (edaspidi, direktiiv)[2] ja Vabariigi Valitsuse määrusele „Kiirgustöötaja ja elaniku efektiivdoosi ning silmaläätse, naha ja jäsemete ekvivalentdoosi piirmäärad“ [3] kehtestatudle ei tohi ehitusmaterjalidest eralduvast gammakiirgusest tulenev täiendav elanike efektiivdoosi piirmäär ületada 1 mSv/a. Seetõttu on vajalik elanike kiirgusohutuse tagamiseks kontrollida turul oleva materjali vastavust kiirgusohutusnõuetele. Direktiiv, millega kehtestatakse põhilised ohutusstandardid kaitseks ioniseeriva kiirgusega kiiritamise ohtude eest, võrdsustab loodusliku radioaktiivsuse allikad ja neile rakenduvad nõuded kõigi teiste kiirgusallikatega. Direktiiv põhineb Rahvusvahelise kiirguskaitsekomisjoni ICRP väljaandes Nr. 103 toodud uutel soovitusel ja kohustab EL liikmesriike üle võtma selle järgimiseks vajalikud õigus- ja haldusnormid. Direktiivi üheks oluliseks osaks on nõuete ning juhiste seadmine kaitsmaks inimesi ka looduslikest allikatest pärineva kiirguse eest, millest suurima osa moodustavad siseõhu radoon ning gammakiirgus ehitusmaterjalidest. Nii ehitusmaterjalide radionukliidide sisalduse kui ka vastavatest materjalidest siseõhku leviva radooni mõõtmine on oluline osa elaniku aastase efektiivdoosi hindamisest, sest meie kliimavöötmes veedab inimene hinnanguliselt 80% oma ajast siseruumides. Siseruumide õhus oleva radooni kontsentratsiooni väärtus, mis ületab 100 Bq/m³, kujutab juba endast terviseriski (direktiiv, preambul, lõige 22). Põhiline risk on siin seotud pikaajalise radoonisisaldusega atmosfääris viibimisega, millega suureneb kopsuvähi tekkimise tõenäosus. Enam kui 50% elanikkonna kiirgusdoosist on seotud radooni ja tema tütarisotoopidega. Radoon-222 ise on väärigaas, mis tekitab uraan-238 lagunemisreas radium-226 alfa-lagunemisel (vt. Lisa 1) ja mis sissehingatuna suuremas osas, tänu oma suhteliselt pikale poolestusajale (3,8 päeva), ka välja hingatakse. Radooni tütarisotoobid on samuti alfa-aktiivsed ning oma keemiliselt omaduselt metallid, mis sissehingatult kinnituvad bronhide ja kopsu seintele ning lagunedes kiirgavad nad alfa osakese, mis kahjustab rakke kutsudes neis esile mutatsioone. Põhilised radionukliidid, mis ehitusmaterjalides sisaldudes elanikele täiendavat kiirgusohu tekitavad, on looduslikku päritolu K-40 ja looduslikes U-

238 ning Th-232 lagunemisriidades leiduvad (Lisa 1). Sellest lähtuvalt sätestab direktiiv (artikkel 75, lõiked 2 ja 3) ehitusmaterjalide osas järgnevat: „Ehitusmaterjalide puhul, mille liikmesriik on tunnistanud kiirguskaitse seisukohalt probleemseks, võttes arvesse XIII lisas esitatud mittetäielikku loendit materjalide kohta seoses neist eralduva gammakiirgusega, tagab liikmesriik, et enne selliste materjalide turulelaskmist: a) määratakse VIII lisa kohaselt kindlaks radionukliidide aktiivsuskontsentratsioon ja b) esitatakse asjakohase taotluse korral pädevale asutusele teavet mõõtmistulemuste ning VIII lisas määratletud vastavate aktiivsuskontsentratsiooni indeksite ja muude asjakohaste tegurite kohta. 3. Lõike 2 kohaselt tuvastatud ehitusmaterjalitüübi puhul, millest saadavad doosid ületavad tõenäoliselt viitetaseme, määrab liikmesriik asjakohased meetmed, mis võivad muu hulgas olla konkreetsed ehitusnõuded või piirangud selliste materjalide kavandatavale kasutamisele.

Eestis reguleerivad radionukliidide sisaldust ehitusmaterjalides kaks määrust. Esimene on 2013. aastal majandus- ja kommunikatsiooniministri poolt vastu võetud määrus nr 49 „Ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord“. Selle määrusega on kehtestatud nõuded ehitusmaterjalitest pärinevale gammakiirgusele. Keskkonnaamet võib lubada kõrgema kiirgustasemega materjali kasutamist tulenevalt kavandatud kasutusotstarbest, kuid muidu nõuab määrus, et ehitustoote aktiivsuskontsentratsiooni indeks peab olema väiksem kui 1. [4]

Teine on 2014. aastal vastu võetud määrus nr 74 „Tee-ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord“. Määrusega kehtestatakse tee ehitusmaterjalide kohustuslikule deklareerimisele kuuluvad materjaliomadused, seal hulgas ka radioaktiivne kiirgus [5]. Radooni ekshalatsiooni pole senini Eestis reguleeritud.

1.1 Töö kirjeldus

Töö koosneb kahest ajaliselt üksteisele järgnevast uurimuste plokist:

1) turuülevaate loomine Eesti turul pakutavatest EL'i välise päritoluga ehitusmaterjalidest ja -toodetest;

2) potentsiaalselt kiirgusohlike materjalide kiirgusomaduste mõõtmine (radooni ekshalatsiooni ja I-indeksi määramine).

Esimese plokki raames selgitatakse välja, milliseid EL'i välise päritoluga ehitusmaterjale ja -tooteid ning millistes kogustes Eesti turul üldse liigub. Selleks, et projekti tulemused toetaksid maksimaalselt KKI tööd kiirgusohutuse riikliku järelevalve teostamisel, lähtuti ülevaate koostamisel KKI huvidest - KKI infopäringutest Maksu- ja Tolliametile. Vastavad päringud koostati KKI ja projekti läbiviiva asutuse koostööna. KKI osales uuringus mitterahalise partnerina. Potentsiaalselt kiirgusohlikud materjalid ja -tooted defineeriti lähtudes direktiivist 2013/59/EURATOM, kohalikust seadusandlusest ning asjakohasest teaduskirjandusest. Koostatud päringutega koguti statistikat materjalide päritolu, kasutusvaldkondade ja -mahtude ning võimalike kiirgusohlikkust kajastavate omaduste kohta. Kogutud andmete analüüsi raames selgus, et paljude materjalide puhul oli kiirgusohutuse alane teave puudulik või kogunisti puudus. Analüüsitulemuste põhjal koostati kokkuvõtte, mille põhjal valiti välja 46 materjali, 12 suurima importija pakutust, millega planeeriti teostada mõõtmised nende I-indeksi ja radooni massiekshalatsiooni kiiruse määramiseks.

Teise tegevuse - materjalide kiirgusohlikkuse mõõtmise - teostamiseks soetati turuanalüüsi tulemusena välja valitud ehitusmaterjalide ja -toodete näidised. I-indeksi ja massiekshalatsiooni kiiruse määramiseks materjal purustati, jahvatati ning kuivatati ja suleti hermeetiliselt mõõtepurki või mõõtekambrisse. Pärast 30 päevast ooteaega, mis on vajalik Rn-222 lühiealiste tütar nukliidide sissekasvuks, teostati proovide gamm-spektrometriline mõõtmine. Ühe proovi mõõteae on umbes

üks ööpäev tagamaks piisavalt madalat määramispiiri. Spektraalanalüüsi tulemusena saadi Ra-226, Th-232, K-40 ja olemasolu korral ka Cs-137 kohta andmed. Uuringutulemused on otseselt kasutatavad Kiirgusohutuse Riiklikus Arengukavas (KORAK) 2018-2027 tõstatatud kiirgusohutusala küsimuste lahendamiseks [6]. KORAK'i 2018-2027 tööversioonis on välja toodud vajadus ehitusmaterjalide radioaktiivsust ja võimalikku kiirgusohtlikkust käsitlevaks uuringuks, vältimaks kõrgendatud radioaktiivsusega materjali kasutuselevõttu ja hilisemate NORM-jäätmete teket. Uuringu tulemused aitavad kaasa KORAK'is välja toodud tegevuste praktikas realiseerumisele ning kiirgusohutuse seisukohast problemaatiliste ehitusmaterjalide väljaselgitamisele. Looduslike radioaktiivseid materjale sisaldavate jäätmete ehk NORM jäätmete tekkemise vältimise alase uuringu vajalikkust käsitletakse ka radioaktiivsete jäätmete riiklikus tegevuskavas, mis on üks KORAK'i lisadest. Samuti toetavad uuringutulemused riikliku radooni tegevuskava rakendamist, mis jääb KKM ja Keskkonnaameti vastutusvaldkonda. Direktiivi artikkel 103 näeb ette, et EL'i liikmesriigid peavad looma riikliku radooni tegevuskava, mille eesmärk on ohjata radoonikiirguse pikaajalist riski seoses radooni sisseimbumisega siseõhku eri allikatest, milleks on pinnas, ehitusmaterjalid või tarbevesi. Käesoleva uuringu tulemused on vastava tegevuskava puhul otseselt rakendatavad:

1. aitavad tuvastada ja iseloomustada imporditavaid ehitusmaterjale, milledest võib toimuda olulisel määral radooni ekshalatsioon;
2. juurutada meetodeid, mida võtta aluseks radooni ekshalatsiooni tuvastamiseks ehitusmaterjalidest.

2. Turuülevaate koostamine

2.1 Valimi koostamine

Impordiantmeid, s.t täielikku infot maksustatava kauba liikide, koguste ja importijate kohta, haldab Eestis Maksu- ja Tolliamet. Maksu- ja Tolliametile tehti KKI poolt 11.03.2019 ja 01.10.2019 päringud Eestisse imporditud ehitustoodete artiklite tarnijate ja koguste kohta perioodil 2017-2018, tuginedes maksukorralduse seaduse § 29 punktile 16, mille kohaselt võib maksusaladust sisaldavat teavet avaldada turujärelevalve asutusele toote ja teenuse ohutuse järelevalve korraldamiseks. [7,8]

Maksu- ja Tolliametile tehti 11.03.2019 esimene päring kaubakoodide alusel. Kauba sissetoomisel tuleb tollideklaratsioonil alati deklareerida kaubakood ning päringu tegemisel kasutatigi Harmoneeritud Süsteemi (HS), mis on rahvusvaheline kaupade kirjeldamise ja kodeerimise süsteem [9]. HS süsteemi 4-kohalise koodi 2 esimest numbrit viitavad üldisele rubriigile (nt grupp 25 – sool; väävel; mullad ja kivimid; krohvismaterjalid, lubi ja tsement) ning 2 viimast täpsustavad (nt 25 16 – graniit, porfäär, basalt, liivakivi jm raid-või ehituskivi) [10]. Kaubakoodide määramise aluseks võeti direktiivi 2013/59/EURATOM lisas XIII ning Majandus- ja kommunikatsiooniministri 29.01.2018 määruse nr 49 „Ehitusmaterjalidele ja –toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord“ seletuskirjas toodud loetelu ehitusmaterjalide tüüpidest, mille puhul tuleb arvesse võtta neist eralduvat gammakiirgust. Tähelepanu vajavate ehitusmaterjalidena on välja toodud: 1) vulkaanilise päritoluga looduslik ehitusmaterjal või lisaaaine, nagu granitoid, porfäär, tuff, putsolaan, laava või aluniit; 2) loodusliku radioaktiivse materjali tootmisjääkidest tulenev materjal nagu lendtuhk, fosfokips, fosforiräbu, tinaräbu, vaseräbu, punamuda, terasetootmise jäägid või leelis-muldmetallide tootmise jäägid [4]. Ehitusmaterjalide tüüpide valiku tegemiseks suheldi 15.02.2019 Eesti Ehitusmaterjalide Tootjate Liiduga (EETL). EETL on ehitusmaterjalide tootmise ja müügiga tegelevate ettevõtjate ühendus ning liitu kuulub 2019. aasta alguse seisuga 64 liiget [11]. EETL-i esindaja andis e-maili teel infot põhiliste ehitusmaterjalide impordiantide kohta [12] ning 11.03.2019 tehti päring Maksu- ja Tolliametile tabelis 3.1 kajastatud kaubaartiklite osas, keskendudes väljastpoolt

Euroopa Liitu Eestisse imporditud ehitustoodete artiklite tarnijatele ja kogustele 2017-2018. aasta lõikes [7].

Tabel 1. Maksu- ja Tolliametile edastatud kaubaartiklite päring [7]

NIMETUS	KOOD
Killustik	2517
Töödeldud looduslik kiltkivi, tooted sellest	6803
Ehituskivi, looduslikust kivist, töödeldud/Mosaiigikuubikud jms looduslikust kivist	6802
Graniit	2516
Tsement/ Räbutsement	2523
Tsement tulekindel	3815
Betoonisegud	3824
Tulekindel betoon	3816
Tulekindlad tellised	6902
Põranda- ja seinaviimistlusplaadid/Mosaiikkivid, glasuuritud keraamilised	6908
Keraamilised ehitustellised/Keraamilised põrandapaneelid	6904
Keraamilised plaadid, glasuurimata/Mosaiikkivid, glasuurimata keraamilised	6907
Kraanikausid, keraamilised	6910
Isoleerivad mineraalmaterjalid	6806

Maksu- ja Tolliamet edastas 06.05.2019 andmed Exceli tabeli kujul, tuues välja tarne aasta, rubriigi (4-kohaline kaubakood), kauba saaja äriregistri- või isikukoodi, kauba saaja nime ning kauba koguse (netokaal (kg), teatud artiklite osas lisaks kogus m²) [14]. Päringus nimetatud koodidest ei leidunud väljastpoolt EL Eestisse toodud kaupa koodiga 6908 (Põranda- ja seinaviimistlusplaadid/Mosaiikkivid, glasuuritud keraamilised). Teiste nimetatud kaubaartiklite impordiantmete põhjal koostati esimene valim maaletoojatest ja toodetest, kelle osas tehti Maksu –ja Tolliametile 01.10.2019 lisapäring täpsustatud kaubakoodi ning materjali päritoluriigi kohta [8].

Täpsustatud kaubakood on 10-kohaline täpsustav kood, mis lisaks 4 põhinumbrile, klassifitseerib kaubad töötlemisastme (nt töötlemata või jämedalt tahatud; saetud või muul viisil plokkideks või tahvliteks tükeldatud), omaduste (nt veeimendumise koefitsient) ja kasutusvaldkonna (nt katusekattematerjal, seinakattematerjal) alusel [15]. Väljastpoolt Euroopa Liitu imporditud

ehitusmaterjalide andmeid töödeldi Exceli tabelis. Kokku sisaldas Maksu –ja Tolliameti edastatud fail 567 kirjet [14].

Tarnijad ja tarnitavad kogused sorteeriti kaubakoodide alusel aastate lõikes. Andmete sorteerimise näide killustiku (kaubakood 2517) kohta on toodud tabelis 2. Kauba tarnijad on antud näites nummerdatud (1-16).

Tabel 2. Killustiku tarnijate ja tarnitavate koguste sorteerimine

KILLUSTIK 2517				Suurimad tarnijad		Osakaal
AASTA	rubriik	SAAJA	netokaal_kg	jr nr	kogus	%
				6	443331846 kg	
2017	2517	1	131312450	1	207936440 kg	
2017	2517	2	5000	7	145335560 kg	
2017	2517	3	42917768	4	128848390 kg	
2017	2517	4	65627868	5	111801940 kg	
2017	2517	5	66974710		1 037 254 t	92 %
2017	2517	6	241150528			
2017	2517	7	48681000			
2017	2517	8	263307			
2017	2517	9	114			
2017	2517	10	61546			
2017	2517	11	0			
2017 aasta tarne kokku – 596 994,3 tonni						

Tabel 2 järg

AASTA	rubriik	SAAJA	netokaal_kg			
2018	2517	13	38400			
2018	2517	14	24000			
2018	2517	1	76623990			
2018	2517	3	35644860			
2018	2517	4	63220522			
2018	2517	5	44827230			
2018	2517	6	202181318			
2018	2517	7	96654560			

2018	2517	15	13306			
2018	2517	16	8440000			
2018	2517	10	20108			
2018 aasta tarne kokku – 527 688,3 tonni						
2017.- 2018. aasta tarne kokku - 1 124 683 tonni						

Kokku arvutati mõlema aasta tarnemahud (2017. aastal 596994,3 tonni ning 2018. aastal 527688,3 tonni) ning kogu tarne (1124683 tonni). Killustiku erinevaid tarnijaid oli 2017. aastal 11 ja 2018. aastal 12. Ettevõtteid, kes tarnisid mõlemal aastal, oli 7. Edasi leiti kahe aasta jooksul summaarselt materjali enim tarninud ettevõtted (antud juhul ettevõtted nr 6, 1, 7, 4 ja 5) ning valimi koostamisel lähtuti sellest, et haaratud oleks võimalikult suur turuosa. Antud juhul on valimisse sattunud ettevõtted tarninud kokku 1037254 tonni killustikku, mis moodustab kogu 2017-2018. aastal väljastpoolt Euroopa Liitu Eestisse tarnitud killustikust 92,2 %. Eraldi töölehed tehti kõigi esitatud kaubaartiklite kohta (va kood 6908, mida väljastpoolt EL ei ole Eestisse 2017.-2018. aastal tarnitud).

Sama meetodikat kasutades leiti iga kaubaartikli suurimad tarnijad. Valimi koostamisel lähtuti sellest, et hõlmatud oleksid kogused, mis moodustavad enamuse. Üksikuid koguseid ei arvestatud ja selle järgi kujunes valimi piiriks 80% turuosast. Erandina joonistusid välja kaubad koodiga 6802 (ehituskivi, looduslikust kivist töödeldud kivi) ning koodiga 3824 (betoonisegud).

- Ehituskivi puhul oli erinevaid tarnijaid 2017. aastal 74 tk (tarne kogumaht 4269 tonni) ja 2018. aastal 70 tk (tarne kogumaht 3417 tonni). Antud kaubaartikli puhul oli arvuliselt palju tarnijaid, kuid koguseliselt ei eristunud suurimad. Seega jäi valimisse 16 ettevõtet, kattes 2017-2018. aastal väljastpoolt Euroopa Liitu tarnitud ehituskivist ja looduslikust kivist töödeldud kivist 64,5 %.
- Betoonisegude puhul oli erinevaid tarnijaid 2017. aastal 99 tk (tarne kogumaht 2719 tonni) ja 2018. aastal 83 tk (tarne kogumaht 2533 tonni) ning samuti ei eristunud suurimad tarnijad. Seega jäi valimisse 6 ettevõtet, kattes 2017.-2018 aastal turule toodud mahust 71,5 %.

Esimesse valimisse (koostatud Maksu – ja Tolliameti edastatud impordiandmete põhjal [41]) koondati seega iga kaubaartikli suurimad tarnijad, kelle osas tehti Maksu- ja Tolliametile täpsustav päring. Tarnemahud kaubakoodide lõikes 2017. ja 2018. aastal ning valimisse sattunud ettevõtete arv ja tarne turuosa, on esitatud tabelis 3.

Tabel 3. Esimene valim kaubakoodide, tarnemahtude ja valimi osakaalu alusel

Kauba kood	Kauba kirjeldus	2017 kogutarne (tonn)	2018 kogutarne (tonn)	Ettevõtete arv valimis	Valimi turuosa (%)
2516	Graniit	594	198	3	89,8
2517	Killustik	596994	527688	5	92,2
2523	Tsement	1421	2451	4	94,7
3815	Tulekindel tsement	13	35	1	95,5
3816	Tulekindel betoon	278	184	3	95,6
3824	Betoonisegud	2719	2533	6	71,5
6802	Ehituskivi, looduslikust kivist, töödeldud/Mosaiigikuubikud jms looduslikust kivist	4270	3417	16	64,5
6803	Töödeldud looduslik kiltkivi, tooted sellest	178	293	3	86,4
6806	Isoleerivad mineraalmaterjalid	5625	6025	5	99,5
6902	Tulekindlad tellised	2252	2126	3	98
6904	Keraamilised ehitustellised/Keraamilised põrandapaneelid	20	0	1	97,8
6907	Keraamilised plaadid, glasuurimata/Mosaiikkivid, glasuurimata keraamilised	3829	4336	8	90,7
6910	Kraanikausid, keraamilised	1071	1078	4	90,5

Maksu- ja Tolliametile esitati 01.10.2019 lisapäring 61 ettevõtte osas (üks ettevõtte sattus valimisse kahe tootartikli osas), paludes edastada täpsustatud kaubakood ning info materjali päritoluriigi kohta [8].

2.2 Andmete töötlemine ja teise valimi koostamine

Maksu –ja Tolliamet edastas 07.10.2019 Keskkonnainspektsiooni lisapäringule vastuseks 239 kirjet, tuues välja rubriigi (4-kohaline kaubakood), kauba saaja äriregistri- või isikukoodi, kauba saaja nime, tarne aasta, päritolu (maailma maade ISO 3166 standardi järgsed maakoodid), kaubakoodi (10-kohaline täpsustatud kaubakood) ning kauba netokaalu (kg). Osade kaupade kohta on välja toodud ka kogus ruutmeetrites või tükkides. [16]. Andmeid töödeldi Exceli tabelis, võttes aluseks ühelt poolt erinevate kaubakoodide tarnemahud ning teiselt poolt materjalide päritolumaa. Kaubakoodide tarnemahud arvutati iga täpsustatud koodi kohta eraldi. Andmete sorteerimise näide killustiku (kaubakood 2517) ja graniidi (kaubakood 2516) kohta on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Killustiku ja graniidi alamrubriikide tarnemahud 2017- 2018. aastal; NO – Norra, RU - Venemaa, ZW – Zimbabwe

Kood	Täpsustatud kood	Täpsustatud koodi selgitus	Tarnija	Päritoluriik	Kogus (t)	Alamrubriigi kogus kokku (t)
2517-Killustik	2517101000	veeris, kruus, killustik	1	NO/RU	207936	
			2	NO	128848	
			3	NO	111802	
			4	NO	443332	
			5	NO	145336	1037254
2516-Graniit	2516110000	töötlemata või klombitud graniit	1	ZW	157	157
	2516120000	ainult saetud või muul viisil ristkülikukujulisteks (sh ruudukujulisteks) plokkideks või tahvliteks tükeldatud graniit	1	NO	24	24
	2516900000	muu raid- või ehituskivi (graniit, porfüür, basalt, liivakivi jm raid- või ehituskivi)	2	RU	229	
			3	RU	302	531

Teise valimi koostamise eesmärgiks oli leida ettevõtted, kellele saata täpsustav küsimustik ning saadud andmete alusel hinnata kiirgusomaduste hindamise vajadust turule lastud materjalide otsese mõõtmise läbiviimise teel. Sarnaselt esimese valimi koostamisele, lähtuti ka teise valimi koostamisel sellest, et hõlmatud oleksid iga kaubakoodi suurimad tarnijad. Samas pöörati tähelepanu ka sellele, et valimisse oleksid haaratud sama kaubakoodi erinevad päritoluriigid.

Täpsustatud kaubakoodid, koodide seletused, materjalide päritoluriigid ning valimisse sattunud ettevõtted on kajastatud tabelis 5.

Tabel 5. Teine valim täpsustatud kaubakoodide, ehitusmaterjalide päritoluriikide ning ettevõtete alusel. AE-Araabia Ühendemiraadid, AU – Austraalia, BR – Brasiilia, BY – Valgevene, CN – Hiina, EG – Egiptus, ID – Indoneesia, IN – India, KR -Lõuna-Korea, NO – Norra, PE – Peruu, RU – Venemaa, ZW – Zimbabwe, TH – Tai, TR – Türgi, UA – Ukraina, VN - Vietnam

4-kohaline tootekood/ kirjeldus	10-kohaline tootekood/kirjeldus	Päritoluriik	Valimisse hõlmatud ettevõtete arv (tk)/ tarnekogus (tonni)	Valimisse hõlmatud kogus kogutarnest (%)
2516-Graniit	2516110000 Töötlemata või klombitud	ZW	1/157	100
	2516120000 Saetud või muul viisil tükeldatud	NO	1/24	100
	2516900000 Muu raid- või ehituskivi (graniit, porfäär, basalt, liivakivi)	RU	2/531	100
2517-Killustik	2517101000 Veeris, kruus, killustik	NO,RU	2/651268	63
2523- Tsement/Räbutsement	2523210000 Valge tsement, kunstlikult värvitud või värvimata	TR	1/1636	80
	2523290000 Muu (portland-tsement, aluminaat-tsement)	RU	1/161	100

Tabel 5. järg

4-kohaline tootekood/ kirjeldus	10-kohaline tootekood/ kirjeldus	Päritolu-riik	Valimisse hõlmatud ettevõtete arv (tk)/ tarnekogus (tonni)	Valimisse hõlmatud kogus (%) kogutarnest
	3816000000 Tulekindel tsement	RU, UA	3/443	100
3824-Betoonisegud	3824400000 Tsemendi, mördi ja betooni lisandid	NO	1/1665	92
	3824509000 Muud (mitte-tulekindlad mördid)	NO	1/23	100
	3824999699 Muud (Betooni-segud)	CN,VN, AU	2/1255	78
6802-Ehituskivi, looduslikust kivist, töödeldud /Mosaiigikuubikud jms looduslikust kivist	6802210000 Marmor, travertiin ja alabaster	PE	1/27	98
	6802230000 Graniit (Töödeldud kivi ehituse tarbeks)	ID,IN,CN	3/455	94
	6802290000 Muud (Töödeldud kivi ehituse tarbeks, tooted sellest)	IN,CN, BR	2/173	100
	6802931000 Poleeritud, viimistletud või muul viisil töödeldud	IN,CN, UA	3/1420	51
	6802939090 Muud (Töödeldud kivi (v.a kiltkivi))	CN,UA	4/261	76

Tabel 5. järg

4-kohaline tootekood/ kirjeldus	10-kohaline tootekood/kirjeldus	Päritoluriik	Valimisse hõlmatud ettevõtete arv (tk)/ tarnekogus (tonni)	Valimisse hõlmatud kogus (%) kogutarnest
	6802991000 poleeritud, viimistletud või muul viisil töödeldud (v.a kiltkivi)	RU,UA, TR, CN	6/592	75
	6802999090- Muud (Töödeldud kivi (v.a kiltkivi))	RU,UA, IN	5/111	100
6803-Töödeldud looduslik kiltkivi, tooted sellest	6803001000 Katuse ja seinakatteks	CN	1/310	86
	6803009000 Muud (Töödeldud looduslik kiltkivi)	CN	1/45	100
6806-Isoleerivad mineraalmaterjalid	6806100000 Räbuvatt, kivivill jms mineraalvatid	BY,RU	2/6956	60
6902-Tulekindlad tellised	6902209100 Alumiiniumoksiidi sisaldavad tulekindlad tellised	RU	2/2284	53
6907-Keraamilised plaadid, glasuurimata/Mosaikivid, glasuurimata keraamilised	6907210000 Keraamilised plaadid (vee-imendumise koefits. kuni 0,5 % massist)	TR,TH, BY,UA, AE	5/1724	72

Tabel 5 järg

4-kohaline tootekood/ kirjeldus	10-kohaline tootekood/kirjeldus	Päritolu -riik	Valimisse hõlmatud ettevõtete arv (tk)/ tarnekogus (tonni)	Valimisse hõlmatud kogus (%) kogutarnest
	6907220000 Keraamilised plaadid (veeimendumise koefits. 0,5 - 10 % massist)	TR,TH,BY, UA, AE	5/1834	80
	6907230000 Keraamilised plaadid (veeimendumise koefits. üle 10 %)	TR,TH,ID, BY, UA,AE	5/1958	90
	6907300000 Mosaiikkivid	TH,CN, UA	3/248	98
	6907400000 Viimistlus-keraamika	BY,UA, AE,TR	3/302	99

2.3 Päringu koostamine valitud ettevõtetele ning saadud andmete töötlemine

Esialgne valim oli 28 ettevõtet. Ettevõtte andmete ja tegevusvaldkondade täpsemal vaatlemisel äriregistri avalikust portaalist [17] ning ettevõtete kodulehekülgedel kajastatud info abil selgus, et 6 ettevõtet langes välja enne päringu saatmist (pankrott, tegevusvaldkonna eripära). Enne kirjaliku päringu saatmist võeti kõigi ettevõtetega ühendust telefoni teel, et selgitada projekti eesmärki ning välja selgitada ettevõtte kontaktisikud, kellele kiri adresseerida. Suurema valimi ja saadava infohulga eesmärgil, küsiti päringus infot kõigi antud ettevõtte poolt nimetatud perioodil tarnitud kaubaartiklite kohta, s.t kui nt ettevõtte sattus valimisse suure põranda- ja seinaviimistlusplaatide tarnemahu tõttu, kuid andmete analüüsimisel selgus, et ettevõtte on tarninud ka viimistluskeraamikat, kajastati päringus ka seda infot.

Ajavahemikul 27.11-29.11.2019 saatis Keskkonnainspeksioon välja päringud 22 ettevõttele [18]. Selle päringu eesmärk oli saada tarnitavate kaupade päritolu, tootemaduste, tarnemahtude ja nende muutumise osas täpsustavat informatsiooni.

Päringus esitati ettevõtetele järgmised küsimused [19] :

1. Palume esitada toote omadustega seotud dokumendid (nt sertifikaat, deklaratsioon, ohutuskaart, toote infoleht).
2. Juhul kui esitatud dokumentides ei ole kajastatud toote (valmistoodete puhul toormaterjali) täpsemat päritolu, palume võimalusel esitada sellekohane informatsioon (materjali päritolumaa, võimalusel täpsem piirkond).

3. Juhul kui toote puhul on eraldi hinnatud kiirusomadusi (nt radionukliidide kontsentratsioon), palume esitada sellekohane dokumentatsioon.
4. Kas nimetatud ehitustooted on maale toodud Eestis edasimüümiseks/kasutamiseks?
5. Palume täpsustada, millised materjalid on kasutuses ainult siseruumides (näiteks siseviimistlusmaterjalid), millised tooted on universaalse kasutusega (nii sees kui väljas).
6. Millises mahus nimetatud ehitustoodete tarnemaht aastate lõikes varieerub?
7. Kas ja kui tihti vahetate tootjaid, kelle käest ehitustooteid ostate?
8. Millised on antud hetkel laojäägid nimetatud ehitustoodete osas?
9. Kui eelpool nimetatud partiide osas laojääke ei ole, kas riigist X on toodud eelpool nimetatud koodidega ehitustooteid ka käesoleval aastal ning kas sellel aastal tarnitud materjalide puhul on materjalide näidised kättesaadavad?
10. Kas osaühing/aktsiaselts X valduses on tootenäidiseid või laojääke, mida oleks võimalik kasutada aktiivsuskontsentratsiooni indeksi määramiseks/analüüside tegemiseks? Analüüsitava materjali kogus peaks olema ca 1,5 kg, tükkmaterjali (nt plaatide) puhul tüki suurus minimaalselt 15x15 cm.

Ettevõtelt laekunud vastuskirjade põhjal [20], võttes arvesse esitatud dokumente, laojääkide olemasolu ning projekti „Väljastpoolt Euroopa Liitu pärinevate ja Eesti turul olevate ehitusmaterjalide kaardistamine ning vastavate materjalide kiirusohtlikkuse tuvastamine“ eesmärki, võeti materjalide proovid analüüsimiseks 12st ettevõttest. Proovid pakendati, märgistati ning anti analüüsimiseks üle Tallinna Tehnikakõrgkoolile. Tallinna Tehnikakõrgkooli laboris proovid registreeriti ning valmistati ette analüüsiks.

2.4 Kokkuvõtte valimi moodustamisest

Tulemusi vaadeldakse kahe eraldi teemapüstitusena:

- Väljastpoolt Euroopa Liitu tarnitavate potentsiaalselt kiirusohutuse seisukohalt oluliste omadustega ehitusmaterjalide liigid ja mahud 2017.-2018. aastal ning peamised päritoluriigid;
- Suurimatelt tarnijatelt saadud info tooteomaduste, tarnemahtude varieeruvuse ning äripartnerite vahetamise kohta.

2.4.1 Väljastpoolt Euroopa Liitu tarnitud ehitusmaterjalide liigid, tarnemahud ning peamised tarneriigid

Potentsiaalselt kiirusohutuse seisukohalt oluliste omadustega ehitusmaterjalide suurima massipõhise tarne moodustab killustik. Kogu töös käsitletavate materjalide tarnest (1 161 464 tonni) moodustab killustiku tarne 1 124 683 tonni, s.o 96,8%. Väikseim on keraamiliste ehitustelliste/põrandapaneelide kogus (20 tonni). Kiirusohutuse seisukohalt oluliste omadustega ehitusmaterjalide 2017.-2018. aasta kogutarne rubriikide kaupa on kajastatud tabelis 6.

Tabel 6. Väljastpoolt Euroopa Liitu 2017.-2018. aastal tarnitud ehitusmaterjalide kogused

Jrk nr	Rubriik	Kogus (t)
1	KILLUSTIK - 2517	1124683
2	ISOLEERIVAD MINERAALMATERJALID- 6806	11650
3	EHITUSKIVI, LOODUSLIKUST KIVIST TÖÖDELDUD KIVI- 6802	7687
4	BETONISEGUD- 3824	5252
5	TULEKINDLAD TELLISED -6902	4378
6	TSEMENT - 2523	3872
7	KERAAMILISED KRAANIKAUSID - 6910	2149
8	GRANIIT - 2516	792
9	TÖÖDELDUD LOODUSLIK KILTKIVI, TOOTED SELLEST - 6803	471
10	TULEKINDEL BETOON - 3816	463
11	TULEKINDEL TSEMENT - 3815	47
12	KERAAMILISED EHITUSTELLISED /PÕRANDPANEELID- 6904	20

Kasutusvaldkondi ja materjali töötlemise eripära arvestades, s.t täpsustatud kaubakoodide alusel, moodustab suurima tarne samuti veeris/kruus/killustik (kood 2517101000), järgnevad mineraalvatid (kood 6806100000), alumiiniumoksiidi sisaldavad tulekindlad tellised (kood 6902209100), poleeritud, viimistletud või muul viisil töödeldud kivi (kood 6802931000) ning erineva veeimendumise koefitsiendiga keraamilised põrand- ja seinaviimistlusplaadid (koodid 6907210000, 6907220000 ja 6907230000).

Päring ehitusmaterjalide päritoluriikide osas tehti teise valimi alusel, s.t päritoluriike vaadeldi ainult suurimate tarnijate puhul. Kuna suurimad tarnijad moodustasid turuosast valdavalt üle 80 %, (va kaubad koodiga 6802 (ehituskivi, looduslikust kivist töödeldud kivi) ning koodiga 3824 (betoonisegud), mille valimid moodustasid vastavalt 64,5 % ja 71,5 %), on kaardistatud ka olulisemad päritoluriigid.

Töös käsitletavatest ehitusmaterjalidest on tarneid väljastpoolt Euroopa Liitu tehtud 17-st erinevast riigist. Tarnesageduse (s.t erinevate partiide) alusel on suurimad partnerrigid Türgi (42), Ukraina (41) ja Hiina (41). Koguseliselt joonistub välja Norra, kuna sealt on tarnitud suurimad killustikukogused (Norrast 1 030 445 tonni killustikku, tabel 3.4). Tarnekogused päritoluriikide kaupa on kajastatud tabelis 7.

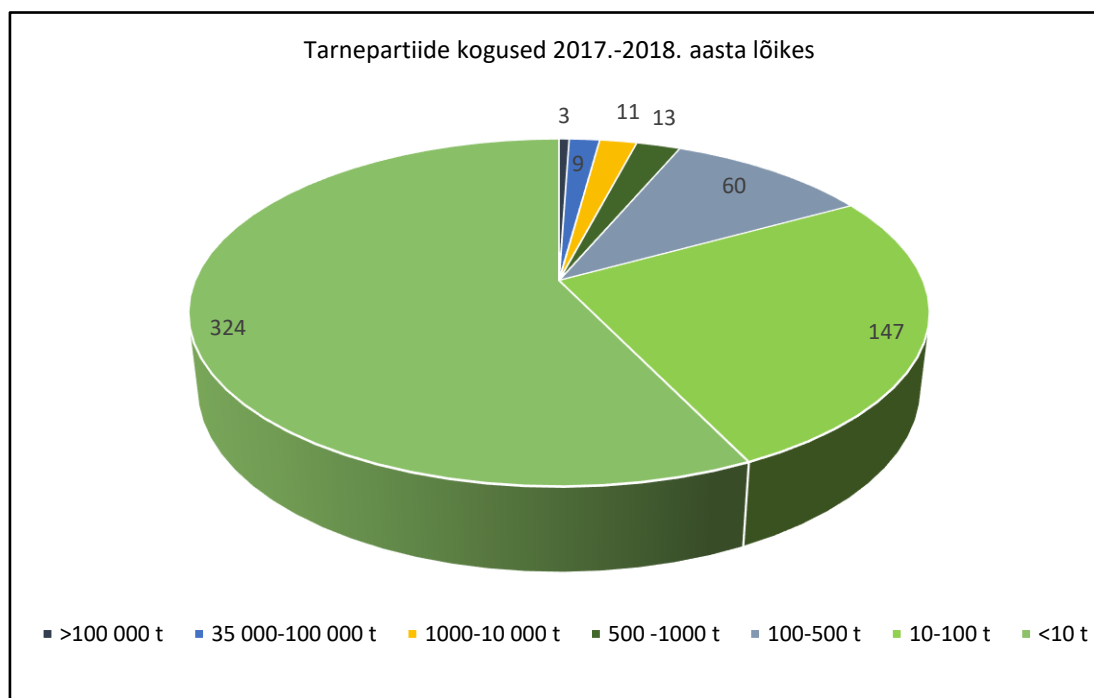
Tabel 7. Erinevate riikide tarnemahud

Riigi tähis	Riik	Partiide arv	Kogus (t)
AE	Araabia Ühendemiraadid	6	526
AU	Austraalia	2	674
BR	Brasiilia	1	9
BY	Valgevene	12	1886
CN	Hiina	41	3131
EG	Egiptus	4	178
ID	Indoneesia	4	269
IN	India	19	1802
KR	Lõuna-Korea	2	139
NO	Norra	17	1032211
PE	Peruu	1	27
RU	Venemaa	30	22232
ZW	Zimbabwe	1	157
TH	Tai	7	368
TR	Türgi	42	9394
UA	Ukraina	41	2634
VN	Vietnam	3	289

2.4.2 Suurimatelt tarnijatelt saadud info tootomaduste, tarnemahtude varieeruvuse ning äripartnerite vahetamise kohta

Vaadeldaval perioodil, s.o 2017.-2018. aastal, on erinevaid potentsiaalselt kiirgusohutuse seisukohalt oluliste omadustega looduslikku päritolu ehitusmaterjale väljastpoolt Euroopa Liitu imporditud (Maksu-ja Tolliametile deklareeritud) 567 korral, 358 erineva isiku (nii füüsilisest isikust ettevõtjad kui ettevõtted) poolt, kogumahas 1 169 628 tonni. Sealjuures moodustavad enamuse väiketarned, nt on alla 10 tonni suuruseid tarneid olnud 324 korral ning 10 - 100 tonni suuruseid tarneid 147 korral. Samuti joonistuvad selgelt välja suurimad tarnijad. Tarnepartiide arvud ja mahud on kajastatud joonisel 1.

Joonis1. Tarnemahud tarnepartiide kaupa



Ajavahemikul 27.11-29.11.2019 saatis Keskkonnainspeksioon välja päringud 22 ettevõttele [18], kes osutasid Maksu- ja Tolliametilt saadud tarnemahtude analüüsi tulemusena suurimateks tarnijateks. Tähtajaliselt vastasid kirjalikult 12 ettevõtet ning meeldetuletuse peale 2 ettevõtet [20]. Lisaks andsid üldised vastused telefoni teel veel 4 ettevõtet. 4 ettevõtet ei vastanud.

14 ettevõtet esitasid tootega kaasas olevad dokumendid – sertifikaadid, ohutuskaardid või saatelehed. Dokumentide kvaliteet oli väga erinev, seda nii loetavuse (skaneeritud dokumendid), keele (paljud dokumendid olid saateriigi keeles (nt Türgi, Vene, Hiina)) kui ka sisu osas (oli nii põhjalikke tootomaduste kirjeldusi kui ka dokumente, mis sisaldasid ainult tarneaadressi ja allkirja). Sertifikaadid olid kas ISO standardi vastavuse kinnitused (nt ISO 14001:2015) või toote omaduste katseprotokollid.

Kiirgusomaduste kohta esitasid andmed ainult kolm ettevõtet ning mõõdetud materjalideks olid killustik (Norra), looduslik kivi (Hiina) ja keraamiline plaat (Türgi). Kõigi materjalide puhul oli hinnatud aktiivsuskontsentratsiooni indeksit I, mille väärtus olid vahemikus 0,021-0,27, jäädes oluliselt alla lubatud maksimaalse väärtuse 1. Mitmed ettevõtted olid maininud, et looduskivi puhul kiirgusomadusi ei hinnata ning materjali päritoluriikides ei ole see nõutud. Viidatud oli ka materjali kaevandamisel antavatele lubadele ning selle raames teostatud kiirgusohutushinnangutele ning materjali transpordil läbitavatele tollipunktidele, mis on varustatud kiirgusvõravadega.

Kõik vastanud ettevõtted märkisid, et materjale tuakse Eestisse edasimüümiseks. Kaks ettevõtet kasutavad tarnitud materjali ka osaliselt enda tootmises (segu koostises) ning ühe ettevõtte puhul oli tegemist tootega, mida tarnitakse aastast-aastasse samale kliendile edasimüümiseks, s.t tegemist ei ole laiatarbekauba.

Materjali kasutusvaldkondadest oli kõige rohkem materjale, mis sobivad kasutamiseks nii sise- kui välitingimustesse, eelkõige erinevad keraamilised plaadid, looduslikust kivist töötasapinnad, trepid.

11 ettevõtte hinnangul ei ole tarnemahud viimastel aastatel väga muutunud ning suuremat muutust ei ole ka ette näha. Kolm ettevõtet nägid ette tarnemahtude kasvu (seda seoses Türgi turu elavnemisega ning üks ettevõtte seetõttu, et tegemist on alustava äriaga). Suurimaks tarnemahtude varieeruvuseks oli hinnatud 30-40 % aastas. Äripartnerite osas vastas 7 ettevõtet, et on ainult üks kindel tarnija, 4 ettevõtet hindasid, et koostööpartnereid vahetatakse pigem harva (ca 1 kord 3-7 aasta järel). Seda, et tarne sõltub otseselt parimast pakkumisest, mainis üks ettevõtte ning võimalust uute partnerite leidmiseks, kinnitas samuti üks. Laoseisu, seda küll erinevas mahu ning erinevate partiide osas, omasid kõik ettevõtted peale ühe (kaup konkreetsele kliendile). Samuti oli vastanud ettevõtetel valmidus anda materjale analüüsimiseks. Proovid võeti 12st ettevõttest, 46 erineva tooteartikli osas.

3. Gammaskpektrometria analüüside kokkuvõte

3.1 Metoodika

3.1.1 Valim

Kokku saadi maaletootajalt 46 erinevat ehitustoodet, gammaskpektrometria analüüs teostati neist 42 tootele. Neli proovi, mida ei analüüsitud, olid järgmised:

- EH07-05 (keraamiline plaat, Türgi), sest selle päritolumaaga keraamilisi plaate oli valimis väga palju (46 ehitustootest 21 olid keraamilised plaadid, neist omakorda 10 Türgist),
- EH09-03 (šamottkivi SA-5, Ukraina) – sama tootekategooria ja päritolumaaga nagu proovil EH09-03 (šamottkivi SA-6, Ukraina);
- EH09-05 (šamottsillus SA-94, Ukraina) – sarnane tootekategooria ja päritolumaaga nagu proovil EH09-03 (šamottkivi SA-6, Ukraina), võib eeldada prooviga EH09-03 sama keemilist koostist;
- EH09-06 (šamottsillus SA-96, Ukraina) – sarnane tootekategooria ja päritolumaaga nagu proovil EH09-03 (šamottkivi SA-6, Ukraina), võib eeldada prooviga EH09-03 sama keemilist koostist.

3.1.2 Proovide ettevalmistus

Massiekshalatsiooni ja gammaskpektrometria jaoks oli vaja ehitusmaterjal peenestada. Selleks materjal purustati kõigepealt haamriga ning siis kasutati lõugpurustit *Retsch BB100* (purustatud tera mõõt jäi alla 4 mm). Materjali purustati purustis kaks korda ja vajadusel isegi kolm korda kui proovi oli jäänud veel suuri teri. Ristsaastumise ohu vähendamiseks puhastati purustamiseseade iga proovi järel liivaga. Puhastamiseks kasutatud liiva radioloogilised näitajad on toodud tabelis 8.

Tabel 8. Purustamiseseadme puhastamiseks kasutatud liiva radioloogilised näitajad – Ra-226, Th-232 ja K-40 aktiivsuskontsentratsioonid ja I-indeks.

Materjal	Proovi ID	Ra-226		Th-232		K-40		I-indeks	
		A (Bq/kg)	U, k=2 (Bq/kg)	A (Bq/kg)	U, k=2 (Bq/kg)	A (Bq/kg)	U, k=2 (Bq/kg)	I	U(I), k=2
Liiv 1	20-009-g1	9.84	0.80	9.44	1.15	285.06	17.21	0.175	0.009
Liiv 2	20-014-g1	10.67	0.67	10.36	1.22	247.39	13.92	0.170	0.008

Proove kuivatati 105°C juures ligikaudu üks ööpäev. Seejärel pandi materjal eelnevalt kaalutud mõõtetopsi (nn „met2oz“ geomeetria, proovitopsi sisemõõdud: kõrgus 18,8 mm, diameeter 61,1 mm). Täidetud ja kaanega suletud tops kaaluti uuesti materjali kuivkaalu määramiseks. Seejärel suleti topsi kaas plastiliini ja isoleerteibiga.

3.2 Gammaspetspektrometriline analüüs

Radionukliidide aktiivsuskontsentratsioonide määramiseks kasutati Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi aparatuuri ja tarkvara. Mõõtmised teostati ülipuhtast germaaniumist kristalliga (HPGe) madalafoonilisel gammaspetspektrometril BEGe BE3830-P (tootja Canberra). Enne mõõtmist lasti proovidel vähemalt kuu aega seista, et Ra-226 ja selle lagunemisel tekkiv radoon-222 jõuaksid sekulaarsesse tasakaalu (lagunemisreas juurdetekkiva ja laguneva isotoobi hulk on tasakaalus). See tingimus on vajalik, et Ra-226 aktiivsuskontsentratsiooni saaks määrata Rn-222 tütar nukliidi Pb-214 gammajoonte kaudu.

Gammaspetspektrite analüüsiks kasutati tarkvara GammaVision-32 (versioon 6.07, tootja Ortec). Spektrite konvekterimiseks analüüsitarkvara jaoks sobilikku formaati kasutati vabavaralist tarkvara Cambio (versioon 20191022, tootja Sandia National Laboratories).

Ra-226 aktiivsuskontsentratsioon määrati tema tütar nukliidi Pb-214 gammajoonte (energiad 242, 295 ja 351 keV) kaudu eeldades sekulaarset tasakaalu ema- ja tütar nukliidi vahel. Analüüsi kalibreerimiseks kasutati Rahvusvahelise Aatomienergia Agentuuri (IAEA) sertifitseeritud referentsmaterjali IAEA/RGU-1 (sertifikaat IAEA/RL/148).

Th-232 aktiivsuskontsentratsioon leiti tema tütar nukliidi Ac-228 gammajoonte põhjal eeldades sekulaarset tasakaalu ema- ja tütar nukliidi vahel. Peamiselt võeti arvesse Ac-228 gammajooned energiatega 338, 911 ja 969, suurema aktiivsusega proovide puhul ka gammajooned 1588 ja 1630 keV. Analüüs kalibreeriti IAEA sertifitseeritud referentsmaterjaliga IAEA/RGTh-1 (sertifikaat IAEA/RL/148).

K-40 aktiivsuskontsentratsioon määrati K-40 1460,8 keV gammajoone kaudu. Analüüsi kalibreerimiseks kasutati IAEA sertifitseeritud referentsmaterjaliga IAEA/RGK-1 (sertifikaat IAEA/RL/148). Tehislikest radionukliididest jälgiti proovides ka Cs-137 sisaldust. Mõõtmistulemuste kalibreerimiseks kasutati kalibratsiooniallika RGU-1 abil konstrueeritud efektiivsuskõverat.

Kõik kasutatud kalibratsiooniallikad olid erinevast mõõtmisgeomeetriast tuleneva parandusteguri vältimiseks, proovidega identse geomeetriaga. Fooni mõju mahaarvestamiseks mõõdeti sama mõõtegeomeetria tühja proovitopsi.

3.2.1 Omaneeldumise korrigeerimine

Uuritud peenendatud proovide tihedused varieerusid vahemikus 0,804–2,338 g/cm³, kuid samas kalibratsiooniallikate tihedused jäid kitsamasse vahemikku (1,368–1,626 g/cm³, Tabel 9) Arvestamaks tiheduse erinevusest tingitud erinevusi gammakiirguse neeldumisel proovides ja kalibratsiooniallikates, arvutati kõigile proovidele omaneeldumise parandustegurid. Selleks kasutati vabavaralist tarkvara EFFTRAN (autor Tim Vidmar, SCKCEN). Proovide modelleerimiseks sisestati ligikaudsed andmed materjali keemilise koostise kohta ning proovi tihedus. Kuna uuritud materjalid koosnesid valdavalt kergetest keemilistest elementidest, on see lähendus piisav omaneeldumise hindamiseks [21].

Proovi EH05-01 (looduskivi plaat, Indla Paekm Kotah) puhul puudus maaletoojapoolne info looduskivi liigi kohta. Omaneeldumise korrektoori tehes eeldati, et tegu on kiltkivile vastava keemilise koostisega (proovi EH05-01 tihedus oli väga lähedane kiltkivi proovide tihedustele).

Modelleerimisel kasutatud kalibratsiooniallikate andmed olid järgmised:

- Ra-226 parandustegur – kalibratsiooniallikas RGU-1 „met2oz“ geometrias, omaneeldumise parandustegur leiti kolme gammajoone (242, 295 ja 351 keV) parandite keskmisena;
- Th-232 parandustegur – kalibratsiooniallikas RGTh-1 „met2oz“ geometrias, omaneeldumise parandustegur leiti kolme gammajoone (338, 911, 969 keV) parandite keskmisena;
- K-40 parandustegur – kalibratsiooniallikas RGK-1 „met2oz“ geometrias, omaneeldumise parandusteguriks on 1460,8 keV gammajoone parand.

Tabel 9. Proovide ja kalibratsiooniallikate tihedused.

<i>Proovide tihedused „met2oz“ topsis</i>		<i>Kalibratsiooniallikate tihedused „met2oz“ topsis</i>	
Max (g/cm ³)	2.338	<i>Kalibratsiooniallikas</i>	<i>Tihedus (g/cm³)</i>
Min (g/cm ³)	0.804	RGU-1	1.496
Keskmine (g/cm ³)	1.653	RGTh-1	1.368
mediaan(g/cm ³)	1.632	RGK-1	1.626

GammaVisioni abil arvatud aktiivsuskontsentratsioon (A) jagati vastava radionukliidi parandusteguriga (K) ning saadi aktiivsuskontsentratsiooni lõpptulemus (A_{korr}). Korrigeeritud aktiivsuskontsentratsiooni ja määramatuse leidmiseks kasutati valemeid (1) ja (2). Omaneeldumise parandusteguri K suhteliseks määramatuseks loeti 3,5%.

$$A_{korr} = \frac{A}{K} \tag{1}$$

$$U(A_{korr}) = A_{korr} \cdot \sqrt{[U_{rel}(A)]^2 + [U_{rel}(K)]^2} = A_{korr} \cdot \sqrt{\left[\frac{U(A)}{A}\right]^2 + [0.035]^2} \tag{2}$$

A_{korr} – korrigeeritud aktiivsuskontsentratsioon ehk aktiivsuskontsentratsiooni lõpptulemus (Bq/kg);

A – GammaVisioni abil arvatud aktiivsuskontsentratsioon (Bq/kg);

K – omaneeldumise parandustegur;

$U_{rel}(A)$ – GammaVisioni abil arvatud aktiivsuskontsentratsiooni suhteline määramatus ($k = 2$);

$U_{rel}(K)$ – omaneeldumise parandusteguri suhteline määramatus (3,5%, $k=2$);

$U(A)$ – GammaVisioni abil arvatud aktiivsuskontsentratsiooni määramatus (Bq/kg, $k = 2$).

3.2.2 I-indeksi arvutamine

Aktiivsuskontsentratsiooni indeks I arvutamisel võeti arvesse järgmiste määruste nõudeid:

- majandus- ja kommunikatsiooniministri määruse nr 49 „Ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord“ (vastu võetud 26.07.2013, redaktsioon 22.02.2019);[4]

- keskkonnaministri määrus nr 54 „Kiirgustöötaja ja elaniku efektiivdooside seire ja hindamise kord, radionukliidide sissevõtmist põhjustatud dooside doosikoefitsientide ning kiirgus- ja koefaktori väärtused ning nende mõõtmise kord“ (vastu võetud 18.11.2016, redaktsioon 25.11.2016).[22]

Aktiivsuskontsentratsiooni indeks I on defineeritud valemiga (3):

$$I = \sum_i \frac{A_i}{A_{REF i}} \quad (3)$$

A_i – radionukliidi i aktiivsuskontsentratsioon materjalis (Bq/kg);

$A_{REF i}$ – materjali kasutusala sõltuv radionukliidile i vastav võrdlusparameeter (Bq/kg).

Tabelis 3 on toodud võrdlusparameetri väärtused materjalide erinevate kasutusala järgi. Kõige konservatiivsemad väärtused esitatakse hoonete ehitusmaterjalidele. Nende puhul taandub valem (3) kujule (4) (Majandus- ja kommunikatsiooniminister, 2019):

$$I = \frac{A_{Ra}}{300} + \frac{A_{Th}}{200} + \frac{A_K}{3000} \quad (4)$$

A_{Ra} – Ra-226 aktiivsuskontsentratsioon (Bq/kg);

A_{Th} – Th-232 aktiivsuskontsentratsioon (Bq/kg);

A_K – K-40 aktiivsuskontsentratsioon (Bq/kg).

Kui I väärtus on väiksem kui 1, puuduvad radioloogilised piirangud ehitusmaterjali kasutamiseks. Käesolevas töös arvatati ehitusmaterjalide I -indeksid vastavalt valemile (4). I -indeksi määramatust hinnati valemi (5) abil:

$$U(I) = \sqrt{\left[\frac{\partial I}{\partial A_{Ra}} \cdot U(A_{Ra})\right]^2 + \left[\frac{\partial I}{\partial A_{Th}} \cdot U(A_{Th})\right]^2 + \left[\frac{\partial I}{\partial A_K} \cdot U(A_K)\right]^2} = \sqrt{\left[\frac{U(A_{Ra})}{300}\right]^2 + \left[\frac{U(A_{Th})}{200}\right]^2 + \left[\frac{U(A_K)}{3000}\right]^2} \quad (5)$$

$U(I)$ – I -indeksi liitlainedmääramatus $k = 2$ tasemel (vastab usaldusnivoole 95%);

$U(A_{Ra})$ – Ra-226 aktiivsuskontsentratsiooni määramatus (Bq/kg, $k = 2$);

$U(A_{Th})$ – Th-232 aktiivsuskontsentratsiooni määramatus (Bq/kg, $k = 2$);

$U(A_K)$ – K-40 aktiivsuskontsentratsiooni määramatus (Bq/kg, $k = 2$).

Tabel 10. I -indeksi arvutamisel kasutatava võrdlusparameetri väärtused sõltuvalt materjali kasutusvaldkonnast (Keskkonnaminister, 2016).[22]

Võrdlusparameeter $A_{REF i}$ (Bq/kg)	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Ehitusmaterjalid	300	200	3000	-
Tänavate ja mänguväljakute ehitusmaterjalid	700	500	8000	2000
Täitepinnas	2000	1500	20000	5000

3.3 Tulemused

Märkused:

Aktiivsuskontsentratsioonid on esitatud proovi kuivaine massiühiku kohta

Analüüsitulemuse määramatus $\pm U$, $k=2$ tähendab, et tõeline väärtus asub antud väärtuste vahemikus 95 % tõenäosusega.

3.3.1 Radionukliidid

Tabelis 4 on toodud Ra-226, Th-232 ja K-40 aktiivsuskontsentratsioonide üldstatistika – minimaalsed ja maksimaalsed väärtused, aritmeetiline keskmine ja mediaankeskmine. Nimetatud radionukliidide aktiivsuskontsentratsioonid olid alla määramispiiri ühes proovis - EH05-07 (Looduskivist plaat – travertiin, Peruu). Ülejäänud 41 proovi puhul olid mõõtmistulemused kvantifitseeritavad.

Tabel 11. Ra-226, Th-232 ja K-40 aktiivsuskontsentratsioonide üldstatistika. Proovide arv: 42.

Aktiivsuskontsentratsioon (Bq/kg)	Ra-226	Th-232	K-40
Min	< MDA* (0.25)	< MDA* (0.28)	< MDA* (2.0)
min (kvantifitseeritavatest tulemustest)	8.3	9.4	56.2
Max	213.7	130.4	1486.4
Keskmine	64.9	63.6	588.5
Mediaan	62.1	66.1	536.1

* < MDA – tulemus jääb alla mõõtemetoodika määramispiiri (sulgudes määramispiirile vastava aktiivsuskontsentratsiooni väärtus ühikutes Bq/kg)

Kõige suurema Ra-226, Th-228 ja K-40 sisaldusega proovid on esitatud tabelis 5 (iga radionukliidi kohta seitse kõige kõrgemat väärtust). Kõrgeid Ra-226 aktiivsuskontsentratsioone (> 100 Bq/kg) mõõdeti ennekõike keraamilistes plaatides. Kõige suurema Th-232 sisaldusega proovide sekka mahtusid šamottkivi ja-mört, tsemendipulber, looduslikust kiltkivist plaat ja mitmed keraamilised plaadid. Kõige kõrgemad K-40 sisaldused olid kõik seotud looduskivist ehitusmaterjalidega (ennekõike kiltkivid ja graniidid).

Teistest radionukliididest oli ühes proovis tuvastatav Cs-137:

EH09-04 (Šamottkivi, Ukraina), Cs-137 aktiivsuskontsentratsioon = (0.471 ± 0.384) Bq/kg, $k=2$. Ülejäänud proovides jäi Cs-137 aktiivsuskontsentratsioon alla määramispiiri. Cs-137 määramispiir kõikus olenevalt proovi mõõteajast vahemikus 0,042-0,344 Bq/kg, olles keskmiselt 0,138 Bq/kg. Andmete esitamise selguse eesmärgil ei ole seda Cs-137 tulemust eraldi välja toodud.

Tabel 12. Kõige suurema Ra-226, Th-228 ja K-40 aktiivsuskontsentratsiooniga proovid.

Proovi kirjeldus	Päritolumaa	Proovi ID	A (Bq/kg)	U, k=2 (Bq/kg)
<i>Kõige kõrgem Ra-226 sisaldus</i>				
Keraamiline plaat	Tai	EH02-01	213.67	10.27
Keraamiline plaat	Tai	EH02-04	198.52	9.59
Keraamiline plaat	Valgevene	EH04-03	126.79	6.23
Keraamiline plaat	Araabia Ühendemiraadid	EH03-03	122.58	6.05
Šamottkivi	Venemaa	EH09-01	109.45	5.43
Keraamiline plaat	Valgevene	EH04-04	104.88	5.21
Keraamiline plaat	Araabia Ühendemiraadid	EH03-05	103.40	5.02
<i>Kõige kõrgem Th-232 sisaldus</i>				
Šamottkivi	Venemaa	EH09-01	130.43	7.88
Tsemendipulber - portland tsement tume	Türgi	EH08-01	122.83	6.97
Keraamiline plaat	Türgi	EH02-02	120.44	7.52
Šamottmört	Venemaa	EH09-02	102.08	6.51
Keraamiline plaat	Valgevene	EH04-03	101.94	6.53
Looduskivist plaat - kiltkivi	Hiina	EH05-09	101.22	5.72
Keraamiline plaat	Araabia Ühendemiraadid	EH03-03	98.30	6.45
<i>Kõige kõrgem K-40 sisaldus</i>				
Töödeldud looduslik kiltkivi	Hiina	EH06-01	1486.39	74.64
Looduskivist plaat - kiltkivi	India	EH05-03	1204.00	59.17
Looduskivist plaat - graniit	India	EH05-05	1182.84	59.47
Looduskivist plaat - kiltkivi	Hiina	EH05-09	1168.49	57.44
Looduslik kivi - hele looduskivist plaat	Hiina	EH07-09	1133.55	57.74
Looduskivist plaat - graniit	Hiina	EH05-04	1009.63	51.77
Looduskivist plaat - kiltkivi	Brasiilia	EH05-06	961.51	49.36

3.3.2 Aktiivsuskontsentratsiooni indeks I

Uuritud ehitusmaterjalide aktiivsuskontsentratsioonide indeksid jäid vahemikku $< 0,002-1,30$ (tabel 6). I-indeksi väärtust 1 ületas seitse proovi, mis moodustab 16,7% valimi mahust (tabel 7). Kui kasutada konservatiivsemat lähenemist, mille kohaselt peab I-indeksi väärtus jääma alla ühe võttes arvesse määramatuse ülempiiri ($I + U(I) < 1$), oli ületamisjuhte üheksa (21,4% valimi mahust). Kõige suurema I-indeksiga materjalideks osutusid Tai päritolu keraamilised plaadid (proovid EH02-01 ja EH02-04), millel oli kõrge Ra-226 sisaldus (ca 200 Bq/kg). Ülejäänud materjalide puhul, kus I-indeks ületas ühte, andis kõige olulisema panuse Th-232 sisaldus (ca 100 Bq/kg). Erandina saab välja tuua Hiinast pärit töödeldud kiltkivi (proov EH06-01), mille puhul kõige suurema panuse I-indeksisse andis K-40 (aktiivsuskontsentratsioon ca 1500 Bq/kg).

Tabel 13. Aktiivsuskontsentratsiooni indeksite üldstatistika. Proovide arv: 42.

I-indeks	
min	< MDA (0.002)
min (kvantifitseeritavatest tulemustest)	0.16
max	1.30
keskmine	0.73
mediaan	0.79

* < MDA – tulemus jääb alla määramispiiri (sulgudes määramispiirile vastav I-indeksi väärtus)

Tabel 14. I-indeksi väärtust 1 ületavad proovid ja erinevate radionukliidide panus I-indeksisse.

<i>Proovi kirjeldus</i>	<i>Päritolumaa</i>	<i>Proovi ID</i>	<i>I-indeks</i>	<i>U(I), k=2</i>	<i>I+U(I)</i>	<i>Erinevate nukliidide panus I-indeksisse (%)</i>		
						<i>Ra-226</i>	<i>Th-232</i>	<i>K-40</i>
Keraamiline plaat	Tai	EH02-01	1.304	0.044	1.348	54.6	34.1	11.2
Keraamiline plaat	Tai	EH02-04	1.287	0.043	1.330	51.4	34.9	13.6
Keraamiline plaat	Valgevene	EH04-03	1.140	0.040	1.181	37.1	44.7	18.2
Looduskivist plaat – kiltkivi	Hiina	EH05-09	1.078	0.036	1.113	16.9	47.0	36.1
Töödeldud looduslik kiltkivi	Hiina	EH06-01	1.068	0.036	1.105	12.9	40.8	46.4
Šamottkivi	Venemaa	EH09-01	1.060	0.044	1.103	34.4	61.5	4.0
Keraamiline plaat	Araabia Ühend-emiraadid	EH03-03	1.035	0.039	1.073	39.5	47.5	13.0
Keraamiline plaat	Türgi	EH02-02	0.990	0.041	1.031	25.3	60.8	13.8
Keraamiline plaat	Valgevene	EH04-04	0.968	0.035	1.003	36.1	44.8	19.1

4. Massekshalatsiooni kiiruse leidmine.

Vastavalt direktiivile on oluline jälgida hoonete atmosfääris radoonikontsentratsiooni, direktiiv artikkel 102, lg2. „Liikmesriik tagab asjakohaste meetmete kehtestamise radooni uutesse ehitistesse sisseimbumise takistamiseks.“ Ehitisse võib radooni sisseimbumine toimuda kas ehitise aluse pinnaseõhust või ehitise konstruktsiooniks kasutatud ehitismaterjalidest. Kuna Euroopa Liidus on ehitismaterjalidest toimuva radooni ekshalatsiooni kiiruse mõõtmine veel reguleerimata, siis lähtuti

ekshalatsiooni mõõtmisel IAEA tehnilisest raportis „Technical Reports Series No. 474“ [23] toodud juhistest.

Ekshalatsiooniks nimetatakse materjalist ümbritsevasse õhku radooni eraldumist ning seda mõõdetakse kui radooni eraldumise kiirust, ühikuks on $\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}$. Ekshalatsiooni kiirust mõõdetakse nii materjali pinnaühiku kohta ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), kui ka massiühiku kohta ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$). Ekshalatsiooni kiiruse väärtus võimaldab meil hinnata, kui suureks saab kujuneda ehitusmaterjalidest pärineva radooni osa ruumi õhu üldises radooni aktiivsuskontsentratsioonis. Ehitusmaterjalide hindamisel on otstarbekam vaadelda massiekshalatsiooni kiiruse väärtusi nende kiirgusohutuse hindamiseks.

Ekshalatsiooni kiirus sõltub oluliselt järgmistest teguritest [23]:

- raadiumi aktiivsuskontsentratsioonist materjalis (Bq/kg);
- kuiva materjali ruumtihedusest (kg/m^3);
- emanatsioonikoefitsiendist (dimensioonita suurus);
- radooni difusioonikoefitsiendist materjalis (m^2/s);
- pealiskihi materjali paksus pindekshalatsiooni korral (m).

4.1. Metoodika

Massekshalatsiooni kiiruse väärtus on defineeritud kui radooni aktiivsus, mis eraldub proovi massist ajaühikus ühe massiühiku kohta teda ümbritsevasse õhku. Ekshalatsiooni kiirust mõõdetakse kinnises kambris oleva proovi tekitatud radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmise kaudu. Selliseks mõõtmiseks soovitatakse kolme järgnevat meetodit, mida saab kasutada nii pind- kui ka massekshalatsiooni kiiruse mõõtmiseks: akumulatsioon, õhu läbivool ja radooni neeldumine absorbendis (aktiivsöes).

- a. Akumulatsiooni meetodi korral asetatakse kogumiskamber (akumulaator) uuritava pinna peale või uuritav proov suletakse kambris. Kogumiskambri ülemises osas on suletav ava, mille kaudu on võimalik akumulaatori õhus oleva radooni sisaldust mõõta. Radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmiseks kasutatakse üldiselt stsintillatsioonimeetodit või alfaspektromeetria. [23]

Kirjeldatud meetodi korral tuleb arvestada radooni tagasidiffusiooniga proovi; võib esineda ka radooni neeldumist akumulaatori enda materjalis. Tagasidifusioon on suurem väiksemate ja madalamate akumulaatorite korral, samas võimaldavad väiksemamahulised kambrid paremini registreerida ekshalatsiooni fluktuatsioone.

- b. Õhu läbivoolumeetod kasutab samuti kogumiskambrit, kuid sellisel juhul on kambril 2 ava - pumba abil suunatakse õhk läbi kambril ja leitakse läbipumbatava õhuhulga kiiruse valiku ja selles õhus mõõdetava kontsentratsiooni kaudu materjali ekshalatsiooni kiirus. Mõõtesüsteemis mõõdetakse radooni kontsentratsiooni poolintegraalse meetodiga, nt stsintillatsioonikambriga abil. Kirjeldatud meetodi korral tuleb tagada, et õhurõhk kambris sees ja väljaspool kambril oleks sama. Ekshalatsiooni kiirus on võrdeline välja pumbatud õhu radooni aktiivsuskontsentratsiooni ja õhuvoolu kiirusega. [23]
- c. Kolmanda ekshalatsiooni kiiruse mõõtmise meetodi korral kasutatakse materjali, mis absorbeerib radooni. Peale selle absorbeeriva materjali säritamist radooni atmosfääris määratakse gammaspetsimeetria abil materjalis neeldunud radooni. Tavaliselt valitakse selleks absorbeerivaks materjaliks aktiivsüsi. Niisketes keskkonnatingimustes tuleb aga arvestada ka absorbendis imendunud niiskusega, kuna niiskus vähendab aktiivsöe radooni sidumise efektiivsust. Seetõttu peab aktiivsöe kanistri kaaluma enne ja pärast radooni atmosfääris eksponeerimist. [23].

Käesoleva uurimistöo teostamisel kasutati massiekshalatsiooni mõõtmiseks akumulatsioonimeetodit. Proov suleti hermeetiliselt teatud ajaks akumulatsioonikambris, mis kujutas endast alumiiniumist

silindrit pikkusega 227mm ja läbimõõduga 86,6mm. Silinder oli mõlemast otsast keerrestatud ning suletud tihedalt kuulkraaniga varustatud kaantega. (Vt. Joonis 2).

Joonis 2. Massekshalatsiooni kiiruse mõõtmisteks kasutatud kogumiskamber.



Joonis 3. Pidekshalatsiooni mõõtmiseks valminud kogumiskamber.



Purustatud ehitusmaterjali mass asetati pärast kaalumist ning ruumala määramist silindris olevate filtrite vahele, et takistada peenestatud materjali sattumist mõõtetrakti. Peale proovi asetamist kogumiskambrisse, kamber suleti ning fikseeriti sulgemisaeg. Teatud ajavahemiku möödudes ühendati kogumiskamber mõõteriistaga, milleks oli radoonivaese õhuga tuulutatud mõõtekambriga radooni monitor AlphaGuard 2000DF. Seadme mõõteelemendiks ja ka mõõtekambriks on ionisatsioonikamber mahuga 0,62l. Kasutades seadmes olevat ringluspumpa, segati suletud süsteemis: kogumiskamber-mõõtekamber-ühendusvoolikud -pump, selles momendil sisalduv radoonirikas õhk (voolukiirus 1l/min), siis eemaldati mõõteriista küljest kogumiskamber koos ühendusvoolikutega ning radoonimõõteseadme avad suleti. Järgnevalt viidi mõne tunni jooksul läbi mõõtekambris oleva õhu radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmine, difusiooni režiimis 10 minutilise intervallidega. Saadud tulemuste väärtused keskmistati ning võeti süsteemisiseseks radooni aktiivsuskontsentratsiooni väärtuseks, mille alusel arvutati uuritava materjali massiekshalatsiooni kiiruse väärtus. Radooni ekshalatsiooni kiiruse määramiseks prooviti ka läbivoolumeetodit, mis aga proovidest koos radooniga (Rn-222) ekshaleeruva torooni (Rn-220) olulise mõju tõttu osutus mittekasutatavaks.

4.2 Massekshalatsiooni kiiruse arvutamine

Nii saadud radoonikontsentratsiooni väärtuste põhjal arvutati mõõdetud proovide massekshalatsiooni kiiruste väärtused, kasutades kirjanduses [23] toodud valemit: (eeldusel, et algne radooni kontsentratsioon oli nullilähedane, mis kambri välisõhuga tuulutamisel enne sissekasvu algust tagatud peab olema):

$$E = \frac{C \cdot V}{M \cdot t} \cdot \frac{\lambda \cdot t}{1 - \exp(-\lambda \cdot t)}$$

kus:

V on mõõtesüsteemi efektiivne ruumala (süsteemi: kogumiskamber-ühendusvoolikud-mõõtekamber) ruumala, millest on maha lahutatud proovi ruumala) [m³]; C on radooni aktiivsuskontsentratsioon [Bq/m³]; M on proovi (kogu)mass [kg]; λ on radooni (Rn-222) radioaktiivse lagunemise konstant [1/sek]; t on radooni sissekasvu aeg [sek]. [23].

Massekshalatsiooni kiiruse mõõtmisel olemasoleva kogumiskambriga leiti süsteemi efektiivseks ruumalaks 1,805 l, radooni (Rn-222) lagunemise konstant võeti 2,0984·10⁻⁶ 1/s ehk 0,00755424 1/h. Lõpparvutuste tegemisel osutus vajalikuks arvestada ka kogumiskambri lekkega, mille väärtuseks määrati 0,02 1/h. Mõõtetulemuse määramatus on antud 95% usaldusnivool katteteguriga k=2. Mõõtetulemused koos i-indeksi määramise tulemustega on esitatud käesoleva töö lisas olevas koondtabelis.

4.3 Tulemused

Uuritava peenendatud ehitusmaterjali massekshalatsiooni kiiruste leitud väärtused jäid vahemikku: 5,96 mBq·kg⁻¹·h⁻¹ (proov EH03-02 – keraamiline plaat Ukrainast) kuni 114,54 mBq·kg⁻¹·h⁻¹ (proov EH07-01 – keraamiline plaat Türgist). Kõigi mõõdetud proovide keskmine massekshalatsiooni kiiruse väärtus on 24,46 mBq·kg⁻¹·h⁻¹ ning mediaanväärtus vastavalt 16,36 mBq·kg⁻¹·h⁻¹.

Tabel 15. Massekshalatsiooni mõõdetud väärtuste statistika.

Ekshalatsioon	Proov	E (mBq/kg*h)	Märkus
Min. mõõdetud väärtus	EH03-02	5,96	Keraamiline plaat. Ukr.
Maks. mõõdetud väärtus	EH07-01	114,54	Keraamiline plaat. Türgi
Keskmine väärtus		24,46	
Mediaanväärtus		16,36	

Uuritud proovide matemaatilist keskväärtust ületavate massekshalatsioonide kiiruste väärtuste võrdlemine I-indeksitega, mis ületasid väärtust 1 näitas nende proovide korral korrelatsiooni puudumist. Vt. tabel 16.

Tabel 16. Massekshalatsiooni matemaatilisest keskmisest suuremate väärtustega proovide ja $I > 1$ väärtustega proovide võrdlus.

Proovi kirjeldus	Päritolu-maa	Proovi ID	E (mBq/kg*h)	I-indeks
Looduskivist plaat - travertiin	Peruu	EH05-07	15,01	<MDA
Töödeldud looduslik kiltkivi	Hiina	EH06-01	8,26	1,07
Looduskivist plaat - kiltkivi	India	EH05-03	62,83	0,96
Looduskivist plaat - kiltkivi	Hiina	EH05-09	19,28	1,08
Looduskivist plaat - graniit	Hiina	EH05-04	24,76	0,88
Looduskivist plaat - kiltkivi	Brasillia	EH05-06	25,43	0,83
Looduskivi	India	EH07-06	22,25	0,79
Keraamiline plaat	Hiina	EH04-01	28,78	0,80
Keraamiline plaat	Türgi	EH03-01	21,56	0,83
Keraamiline plaat	Türgi	EH07-01	114,54	0,86
Keraamiline plaat	Valgevene	EH04-03	17,88	1,14
Looduskivist plaat - apliit (graniidi alaliik)	Hiina	EH05-02	38,90	0,57
Looduslik kivi - tume looduskivist plaat	Hiina	EH07-08	26,52	0,38
Keraamiline plaat	Tai	EH02-04	23,22	1,29
Keraamiline plaat	Türgi	EH07-02	51,48	0,75
Keraamiline plaat	Tai	EH02-01	7,78	1,30
Keraamiline plaat	Araabia			
Keraamiline plaat	Ühendemiraadid	EH03-03	42,00	1,03
Töödeldud looduslik kiltkivi	Hiina	EH06-03	22,88	0,20
Šamottmört	Venemaa	EH09-02	40,18	0,81
Tsemendipulber - portland tsement valge	Türgi	EH08-02	82,42	0,24
Šamottkivi	Venemaa	EH09-01	13,08	1,06
Tsemendipulber - portland tsement tume	Türgi	EH08-01	23,14	0,91

Uuritud proovide massekshalatsiooni väärtuste ja proovide radiumi aktiivsuskontsentratsioonide väärtuste omavaheline võrdlemine näitab väga väikest korrelatsiooni, mis osutab mõõdetud proovide emanatsioonitegurite suurtele erinevustele. Mõõdetud proovide massekshalatsiooni kiiruste väärtused on võrreldavad kirjanduses avaldatud Euroopa ehitusmaterjalides mõõdetud massekshalatsiooni väärtustega (R.Trevisi jt) [24].

5. Ettevõtete esitatud sertifikaatide analüüs

Ettevõtete poolt esitatud sertifikaatide osas pöörati tähelepanu informatsioonile, mis puudutas kiirgusohutust. Kokku hangiti proove 14. ettevõtte tootevalikust. 5st ettevõttest pärinevaid proove ei ole analüüsitud, tulenevalt:

- Täiendav ajakulu ettevõtetega kontakti saamisel, laojääkide leidmisel ning aja kokkuleppimisel kohapealse proovivõtu korraldamiseks.
- COVID-19'st tulenev eriolukord riigis, mis takistas proovide hankimist ning nende analüüsiks ettevalmistamist.

Projekti mahtu arvestades (planeeritud proovide hulk), kuuluks nimetatud proovide analüüs juba täiendava lisamahu alla. Kuid parema statistika huvides on tööd läbiviivatel teadlastel sügisperioodil 2020 plaanis proovid mõõtmiseks siiski ette valmistada.

14st ettevõttest 4 esitasid ka sertifikaadid radioloogiliste parameetrite mõõtmiste osas – 1 masekshalatsiooni mõõtmine ning 3 radionukliidide mõõtmiste osas (Ra-226, Th-232 ning K-40). Esitatud tulemusi ning projekti käigus materjali mõõtmisel saadud tulemusi on võimalik kõrvutada 3 ettevõtte osas. Ühe proovi puhul ei olnud võimalik projekti käigus masekshalatsiooni mõõta, tulenevalt materjali hilisest kättesaamisest COVID-19 pandeemia tõttu.

a) Esimene firma (I)

Tegemist on Valgevenes toodetud soojustusplaadiga. Siin oli tunnistus vene keelne ja üldsõnaline.

b) Teine firma (II)

Tegemist on keraamiliste plaatidega, mis on tarnitud Taist, Türgist ja Indoneesiast. Radionukliidide mõõtmisandmed on olemas vaid Türgist pärinevate toodete osas ning seda kahe erineva partii puhul.

- I partii – analüüs teostatud Türgis, *Recep Tayyip Erdogan University*. Analüüsitud toote kirjelduseks on märgitud keraamilised plaadid. Partii koosneb kahest erinevast toote grupist – SKG ja SKU tähisega. Analüüs teostatud 15.05.2018.
- II partii – analüüs teostatud Hiinas, *National Research Center of Testing Techniques for Building Materials*. Analüüsitud toote kirjelduseks on märgitud väheütlevalt „Marginal“, kuid proovi mõõdud, 600x600 mm viitavad keraamilisele plaadile. Analüüs teostatud 17.12.2018.

Analüüsitunnistustes märgitud ning TÜ Füüsika Instituudis mõõdetud tulemused on koondatud tabelisse 17. Kuna Hiina partii analüüsitunnistustel puudus I-indeksi tulemus, siis arvutati väljastatud analüüsitunnistuse alusel eraldi ka I-indeks.

Tabel 17. I-indeks koos määramatusega (kui kajastatud analüüsitunnistusel), U(A), k=2.

	I-indeks analüüsitunnistusel	TÜ FI's proovide mõõtmistulemuste alusel arvatud I-indeks	TÜ FI's arvatud I-indeks lähtuvalt analüüsitunnistusel toodud radionukliidide mõõtetulemustele
I partii (Türgis analüüsitud) – „SKG“. 3 proovi keskmine	0.235±0.006	0.990±0.041 0.776±0.026 0.753±0.028	0.479±0.007
I partii (Türgis analüüsitud) – „SKU“. 3 proovi keskmine	0.109±0.004		0.216±0.005
II partii (Hiinas analüüsitud)	I(Ra)* – 0.3; I(r)** – 0.5		0.692

*I(Ra) – „*internal exposure index*“

**I(r) – „*external exposure index*“

Tabel 1 alusel saab välja tuua olulised erinevused mõõdetud ning analüüsisertifikaatides toodud tulemuste puhul:

- 1) Türgis mõõdetud proovide puhul on olulised erinevused nii radionukliidide mõõtetulemuste (tabel 2) kui ka I-indeksi väärtuste osas (tabel 1). Ra-226 ning Th-232 puhul on TÜ FI's mõõdetud tulemuste ning Türki Ülikooli analüüsitunnistusel toodud tulemuste erinevus 2-5 korda. K-40 puhul kuni 3 korda. See viitab suurtele variatsioonidele ühe partii sees ning seab kahtluse alla analüüsitulemusel toodud väärtuse esinduslikkuse. Hiinas analüüsitud tulemused on küllaltki hästi kokkulangevad (va Th-232, kus on 1.4 kordne erinevus).
- 2) Samuti esineb kahekordne erinevus I-indeksi arvatud väärtuses, kasutades samu radionukliidide aktiivsuse kontsentratsiooni väärtusi. See viitab olulisele erinevusele I-indeksi arvutusmetoodikas.
- 3) Hiinas mõõdetud proovi osas on analüüsidokumendis kasutatud parameetreid: sisemine ning väline ekspositsiooni indeks. Vastavad indeksid ei ole praegusel ajal primaarsed Euroopas ehitusmaterjalide kiirgusohhtlikkuse hindamisel ning nende arvutamine ei kattu EL'i tasemel üldtunnustatud I-indeksi arvutusmetoodikaga.
- 4) Hiinas mõõdetud proovi I-indeksi väärtus radionukliidide aktiivsuse kontsentratsioonide alusel arvatuna on lähedase väärtusega projekti käigus kahe analüüsitud prooviga. Suurte materjalide partiidide puhul võib oodata kõikumisi radionukliidide aktiivsuse kontsentratsiooni väärtustes.

Tabel 18. Radionukliidide mõõtetulemused ning analüüsitunnistusel toodud väärtused.

	Ra-226	Th-232	K-40
I partii (Türgis analüüsitud) – „SKG“. 3 proovi keskmine	31.5	38.3	546.6
I partii (Türgis analüüsitud) – „SKU“. 3 proovi keskmine	23.3	16.6	164.4
II partii (Hiinas analüüsitud)	62.8	58.5	569.7
TÜ FI's mõõdetud	77.7	80.4	536.4

c) Kolmas firma (III)

Tegemist on keraamiliste plaatidega, mis on tarnitud Türgist ning looduslike kivide/plaatidega, mis on tarnitud Hiinast ja Indiast. Radionukliidide mõõtmisandmed on olemas Türgist ja Hiinast pärinevate toodete osas.

- i) Keraamilised plaadid Türgist - analüüs teostatud Türgis, *Recep Tayyip Erdogan University*. Analüüsitud toote kirjelduseks on märgitud keraamilised tooted. Koosneb kahest erinevast toote grupist – POR ja DUV tähisega. Analüüs teostatud 25.04.2019.
- ii) Looduslik kivi Hiinast – analüüsid teostatud Hiinas, *Stone materials quality inspection & test lab*. Peale testi registreerimisnumbri (TJ(2005)0160) muid kirjeldusi proovi osas märgitud ei ole. Ning *SGS S.A. Testing laboratories company*, Hiinas paiknev üksus. Toote analüüsitunnistus materjali osas täpsustusi ei paku. Märgitud on analüüsi registreerimisnumber (XMML090902513) ning analüüsi tegemise aeg – 2009 aasta.

Sarnaselt Teise firma (II) poolt edastatud analüüsitunnistustele, arvutati ka käesoleval juhul TÜ FI's väljastatud mõõtetulemuste alusel I-indeksid (tabel 19).

Tabel 19. I-indeks koos määramatusega (kui väljastatud), $U(A)$, $k=2$.

	I-indeks analüüsitunnistusel	TÜ FI's proovide mõõtmistulemuste alusel arvutatud I-indeks	TÜ FI's arvutatud I-indeks lähtuvalt analüüsitunnistusel toodud radionukliidide mõõtetulemustele
(Türgis analüüsitud) – „POR“. 3 proovi keskmine	0.273±0.006	0.857±0.032 0.754±0.026	0.541±0.008
(Türgis analüüsitud) – „DUV“. 3 proovi keskmine	0.275±0.007	0.590±0.019 0.577±0.023	0.547±0.008
Materjal Hiinast (test nr. XMML090902513)	I(Ra)* – 0.2; I(r)** – 0.6	0.882±0.028	0.804
Materjal Hiinast (test nr. TJ(2005)0160)	I(Ra)* – 0.23; I(r)** – 0.48	0.379±0.013	

*I(Ra) – selgituseks on märgitud, et tegemist on „*internal exposure index*“

*I(r) - selgituseks on märgitud, et tegemist on „*external exposure index*“

Tabel 19 alusel saab välja tuua olulised erinevused mõõdetud ning analüüsisertifikaatides toodud tulemuste puhul:

- 1) Türgis mõõdetud proovide puhul erinevused radionukliidide mõõtetulemuste (tabel 20) osas mõõdukad, erinedes TÜ FI's mõõdetud väärtustest 0.9-1.6 korda. I-indeksi väärtuste puhul (tabel 19) on erinevused 2-3 kordsed. Hiinas analüüsitud tulemusi on keeruline võrrelda, kuna väljastatud analüüsitunnistused ei võimalda tuvastada millise materjaliga on täpselt tegemist.
- 2) Türgis analüüsitud proovide puhul esineb kahekordne erinevus I-indeksi arvatud väärtuses, kasutades samu radionukliidide aktiivsuse kontsentratsiooni väärtusi. See viitab taaskord olulisele erinevusele I-indeksi arvutusmetoodikas.
- 3) Hiinas mõõdetud proovi osas on analüüsidokumendis kasutatud parameetreid: sisemine ning väline ekspositsiooni indeks. Vastavad indeksid ei ole praegusel ajal primaarsed Euroopas ehitusmaterjalide kiirgusohklikkuse hindamisel ning nende arvutamine ei kattu EL'i tasemel üldtunnustatud I-indeksi arvutusmetoodikaga.
- 4) Hiinas mõõdetud proovi I-indeksi väärtus radionukliidide aktiivsuse kontsentratsioonide alusel arvatuna on lähedase väärtusega projekti käigus analüüsitud prooviga. Siiski võib vastavat kokkulangevust pidada juhuslikuks, kuna analüüsitunnistus on väljastatud 2009. aastal, mis näitab, et vastavaid tulemusi ei saa ajakohaseks pidada ning sellelaadsete analüüsitunnistuste tõesus on kaheldava väärtusega.

Tabel 20. Radionukliidide mõõtetulemused ning sertifikaadis antud väärtused.

	Ra-226	Th-232	K-40
(Türgis analüüsitud) – „POR“. 3 proovi keskmine	56.7	47.0	349.8
(Türgis analüüsitud) – „DUV“. 3 proovi keskmine	52.7	39.6	519.6
TÜ FI's mõõdetud (Türgi)	76.0	62.8	485.0

5.1 Üldised järeldused

Ettevõtete poolt edastatud analüüsitunnistused radionukliidide mõõtmisandmete osas osutusid paljudes aspektides problemaatilisteks. Põhilised puudujäägid ning ebakõlad ilmnisid:

- 1) Enamik ettevõtteid, kelle käest materjale hangiti ei oma vastavate toodete osas radioloogiliste mõõtmiste alast infot.
- 2) Ühelgi juhul ei olnud analüüsitunnistusel märgitud I-indeksi arvutamise valemit. Olulised erinevused esinesid, kui võrrelda analüüsitunnistusel toodud I-indeksi väärtust ning arvutades seda samal tunnistusel toodud mõõtetulemuste alusel.
- 3) Hiinast pärit analüüsitunnistustel puudus EL tasemel kasutatava I-indeksi kajastamise loogika. See oli asendatud *internal/external exposure index*'iga. Tõenäoliselt on tegemist vastavate parameetrite arvutamisega (*UNSCEAR 2000*): external hazard index=Ra equivalent activity

$$H_{ex} = \frac{C_U}{370 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_{Th}}{259 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_K}{4810 \text{ Bq/kg}} ; [25]$$

ning internal hazard index [26]

$$H_{in} = \frac{C_U}{185 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_{Th}}{259 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_K}{4810 \text{ Bq/kg}}$$

Siiski on tegemist eraldiseisvate kiirguslikku ohtu kajastavate indeksitega ning need ei asenda I-indeksi kajastamist.

- 4) Osadel juhtudel olid analüüsitunnistused märgitud 15 või 10 aastat vana kuupäevaga. Vastav info ei ole kindlasti ajakohane, mistõttu seal toodud mõõtmistulemusi ei ole võimalik aktsepteerida kehtivate väärtustena.
- 5) Radionukliidide mõõtmistulemuste osas esines kohati suuri erinevusi (analüüsitunnistus vs TÜ FI's mõõdetud materjal). See võib viidata suurtele materjalide partiidele, mille sees esineb radionukliidide aktiivsuse kontsentratsioonide osas olulisi kõikumisi. Seetõttu oleks vajalik kõrgeenenud radionukliidide sisalduse puhul sooritada täiendavaid mõõtmisi ka väiksemate osapartiide osas, et välistada I-indeksi ületamine.
- 6) Küsimusi püstatus ka materjali täpse päritolumaaja kajastamise osas. Näiteks Teise firma(II) ühe materjali partii puhul oli tarnijaks Türgis registreeritud firma, kes oli samas materjali radioloogilise analüüsi tellinud Hiinast. See viitab olukorrale, kus vastav ettevõtte ostab materjali Hiinast ning müüb teistesse riikidesse edasi. Kuidas on vastaval juhul märgitud materjali päritolumaaja?

KOKKUVÕTE

Ehitusmaterjalidest pärineva gammakiirguse ning sealt siseõhku leviva radooni mõõtmine on oluline osa elaniku aastase efektiivdoosi hindamisest, sest meie kliimavõtmes veedab inimene hinnanguliselt 80% oma ajast siseruumides. Siseruumide õhus oleva radooni kontsentratsiooni väärtus, mis ületab 100 Bq/m³, kujutab juba endast terviseriski (Direktiiv 2013/59/EURATOM, Preambul, lõige 22). Põhiline risk on seotud pikaajalise radoonisisaldusega atmosfääris viibimisega, mis suurendab kopsuvähi tekkimise tõenäosust. Enam kui 50% elanikkonna kiirgusdoosist on seotud radooni ja tema tütarisotoopidega. Radoon ise on väärisgaas, mis sissehingatus suuremas osas ka välja hingatakse. Radooni tütarisotoobid on samuti radioaktiivsed ning oma keemiliselt omaduselt metallid, mis sissehingatus kinnituvad bronhide ja kopsu seintele, kus lagunedes nende organismi kahjustav toime enim avaldub.

Põhilised radionukliidid, mis ehitusmaterjalides elanikele täiendavat kiirgusohu põhjustavad pärinevad looduslikest U-238 ning Th-232 lagunemisriidest. Lisandub ka looduslikku päritolu K-40. Direktiiv 2013/59/EURATOM paneb Euroopa Liidu (EL) liikmesriikidele kohustuse tegeleda siseõhu radoonisisalduse ja ehitusmaterjalidest pärineva gammakiirguse reguleerimisega kaitsmaks elanikkonda ioniseeriva kiirguse ohtude eest.

Ehitusmaterjalide puhul, mille liikmesriik on tunnistanud kiirguskaitse seisukohalt probleemseks, tuleb enne materjali turulelaskmist:

- a) määrata nimetatud direktiivi lisa VIII kohaselt kindlaks radionukliidide aktiivsuskontsentratsioon ja
- b) esitatada asjakohase taotluse korral pädevale asutusele teavet mõõtmistulemuste ning lisa VIII määratletud aktiivsuskontsentratsiooni indeksite (I-indeks) ja muude asjakohaste tegurite kohta.

I-indeksi väärtus on kehtestatud kui viitetase, mis peab olema väiksem kui 1 v.a. erandjuhtudel, mida võib Keskkonnaamet eraldi sätestada. I-indeksi väärtus väljendab oodatavat efektiivdoosi elanikule, mida ta võib aasta jooksul saada kokkupuutest ehitusmaterjalidest pärineva gammakiirgusega.

Täiendav aastane kiirgusdoos ehitusmaterjalidest peab jääma allapoole Vabariigi Valitsuse määruses „Kiirgustöötaja ja elaniku efektiivdoosi ning silmaläätse, naha ja jäsemete ekvivalentdoosi piirmäärad“ kehtestatud elanike efektiivdoosi piirmäär, milleks on 1 mSv/a. Eestis toodetavate materjalide kiirgusohutuse (I-indeks ja radooni ekshalatsioon) hindamise osas saab lähtuda olemasolevatest uurimistöödest ja projektidest (Kiisk et al., 2017; Lust, 2012; Lust ja Realo, 2012). Nimetatud uuringute käigus teostati mõõtmisi materjalidele nagu liiv, kruus, killustik, savi, põlevkivi, lubjakivi ning toodetele: Aseri tellised, Misso tellised, Kolumbia kivid, tuhaplokid, ehitussavi, kipsplaat, keraamilised põrandaplaadid ja Kunda tsement. Tulemused näitasid, et I-indeksi väärtus jäi kõikidel juhtudel alla 1. Sellest lähtuvalt on ka määruse nr. 49 seletuskirjas võetud seisukoht: „Eestis toodetavad või turul olevad ehitusmaterjalid kiirgusohutuse seisukohalt probleemsed ei ole ning sellest tulenevalt deklareerimise ega lausmõõtmise kohustust ei kehtestata“. Samas puudub riigil ülevaade, millistes kogustes ning missuguste omadustega ehitusmaterjale turul on, eeskätt materjalide osas, mis pärinevad väljastpoolt EL'i. Selline olukord ei võimalda planeerida järelevalveressurse viisil, et teostada optimaalselt ehitusmaterjalide kiirgusohutuse järelevalvet, maandada ehitusmaterjalide kasutamise kaasneda võivaid kiirgusriske ning eelkõige tagada kiirgusohutust.

Eelnevast lähtuvalt seati projekti eesmärgiks:

- 1) Turuülevaate loomine EL'i välise päritoluga ehitusmaterjalidest ja -toodetest;
- 2) Potentsiaalselt kiirgusohutlike materjalide mõõtmine (radooni ekshalatsiooni ja I-indeksi määramine).

Turuülevaate loomise käigus:

- i) Seati eesmärgiks välja selgitada turul olevad EL välise päritoluga ehitusmaterjalid ja -tooted;
- ii) Analüüsida kogutud andmeid;
- iii) Saadud tulemuste põhjal valida analüüsiks välja tüüpilisemad materjalid.

Selleks, et projekti tulemused toetaksid maksimaalselt Keskkonnainspektsiooni (KKI) tööd kiirgusohutuse riikliku järelevalve teostamisel, lähtuti ülevaate koostamisel KKI (projekti mitterahaline partner) infopäringutest Maksu- ja Tolliametile. Vastavad päringud koostati KKI ja projekti läbiviiva asutuse koostööna. Potentsiaalselt kiirgusohutlikud materjalid ja -tooted defineeriti lähtudes direktiivist 2013/59/EURATOM, kohalikust seadusandlusest ning asjakohasest teaduskirjandusest. Päringutega koguti statistikat materjalide päritolu, kasutusvaldkondade ja -mahtude ning kiirgusohutlikkust mõjutavate omaduste kohta. Kogutud andmete analüüsi raames selgitati välja nende materjalide kiirgusohutuse alase teave olemasolu ja piisavus. Analüüsitulemuste põhjal selgitati välja ehitusmaterjalid, mille kiirgusohutusealane info on puudulik ja/või mida saab kogutud info alusel pidada potentsiaalselt kiirgusohutlikuks. Koostati kokkuvõtte, mille põhjal välja valiti 46 materjali. Analüüsi põhjal leitud suurematelt tarnijatelt palutigi nende enamtarnitavate materjalide proove ning nende proovide kohta esitatud sertifikaate. Saadud proovid katalogiseeriti. 42 proovi puhul teostati mõõtmised I-indeksi ja radooni ekshalatsiooni määramiseks. Selleks purustati kõigist proovidest osa gammaspektroskoopiliste ja massekshalatsiooni mõõtmiste tarvis.

Projekti on teise mitterahalise partnerina oli kaasatud Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, võimaldades kasutada sealseid gammaspektromeetreid proovide radionukliidide sisalduse mõõtmiseks.

Mõõdetud radionukliidide aktiivsuskontsentratsioonide põhjal arvutatati proovide I-indeksid vastavalt majandus- ja kommunikatsiooniministri määruses nr 49 "Ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord" esitatud korrale.

Radooni massekshalatsiooni kiiruse mõõtmiseks purustatud materjali puhul paigutati proov, mille mass ja ruumala oli määratud, hermeetilisse mõõtekambrisse ning mõõdeti iga tunni järele kambri õhust radooni kontsentratsiooni väärtus.

Tuvastatud I-indeksi ja radooni ekshalatsiooni tulemuste põhjal anti hinnang materjalide kiirgusohutusele.

Uuringutulemused on otseselt kasutatavad Kiirgusohutuse riiklikus arengukavas 2018-2027 (KORAK'is) tõstatatud kiirgusohutusosalaste küsimuste lahendamiseks, toetades seal välja toodud tegevuste praktikas realiseerumist ning kiirgusohutuse seisukohast problemaatiliste ehitusmaterjalide väljaselgitamist. KORAK'i 2018-2027 tööversioon toob välja, et vajalik on läbi viia ehitusmaterjalide radioaktiivsust ja võimalikku kiirgusohutust käsitlev uuring, et vältida kõrgendatud radioaktiivsusega materjali kasutuselevõttu ja hilisemate (NORM-)jäätmete teket. NORM-jääkide ja jäätmete tekkeprobleemi olulisust ja aktuaalsust on tõstatatud radioaktiivsete jäätmete riiklikus tegevuskavas ning aastatel 2015-2017 KIK'i toel Tartu Ülikooli poolt läbiviidud projektis „Uuring direktiivi 2013/59/EURATOM looduslike radioaktiivsete ainete (NORM) nõuete ülevõtmise ettevalmistamiseks riigisisesele õigusloomesse“. Nimetatud uuringust järeldus samuti, et Eestil puudub ülevaade kasutusel olevate ehitusmaterjalide või –toorainete radioaktiivsusest.

Samuti toetavad uuringutulemused riikliku radooni tegevuskava rakendamist, mis jääb Keskkonnaministeeriumi (KKM) ja Keskkonnaameti vastutusvaldkonda. Uuringu tulemused on vastava tegevuskava puhul otseselt rakendatavad, et:

- tuvastada ja karakteriseerida ehitusmaterjale, kust võib toimuda olulisel määral radooni ekshalatsioon;
- juurutada meetodeid, mida võtta aluseks radooni ekshalatsiooni tuvastamiseks ehitusmaterjalidest.

Uuringu tulemused aitavad otseselt kaasa parema ehitusmaterjalide (impordi) järelevalve korraldamisele ja senini puuduva info leidmisele materjalide potentsiaalse kiirgusohutuse kohta, selgitamaks ehitusmaterjalide kasutamise kaasneda võivaid kiirgusalaseid riske ning aitavad vältida looduslikke radionukliidide sisaldava materjali (NORM) jääkide või jäätmete teket võimalikest problemaatilistest ehitusmaterjalidest nende hilisemal käitlemisel. Tulemuste otsesed kasutajad on eeskätt KKM ning KKI – kiirgusohutuse järelevalvet teostab KKI ning kiirguskaitse alaseid eesmärke, meetmeid ja tegevussuundi korraldab ning rakendab KKM koos oma allüksustega.

Teostatud uuringuid on võimalik jätkutegevusena laiendada ka EL'i sisestele materjalidele, hindamaks direktiivi nõuete ja praktikas teostatavate tegevuste vastavust materjalide kiirgusohutusparameetrite kajastamisel ja järgimisel. EL'i sees kaubeldavate ehitusmaterjalide osas võib eeldada paremat kontrolli ja järelevalvet, tulenevalt direktiivi nõudest kehtestada vajalikud kontrollmeetmed ehitusmaterjalide kiirgusohutuse tagamiseks kõikides liikmesriikides. Siiski tuleb mõnda, et pole teada, kuidas erinevad EL'i liikmesriigid direktiivi kohalikku seadusandlusesse üle on võtnud ning milline on reaalne praktika ehitusmaterjalide kiirgusohutuse kontrolli ja seire teostamisel.

Jätkutegevusena on samuti oluline rahvusvahelistel standarditel põhinevate mõõtemetoodikate ja –juhendite loomine. See aitab tagada, et uuritavates materjalides mõõdetud radooni ekshalatsioon ning looduslikud radionukliidid tuvastataks konkreetsete rahvusvaheliselt tunnustatud standardite alusel, tagamaks ühtse lähenemise nii riigisiselt kui ka riikide vahel. Eestis vajalikku kompetentsi omavates mõõtelaborites on kasutusel sissetöötatud, kuid üksteisest erinevad meetodid. Ühtse meetodika rakendamine, mis on kasutusel ka teistes EL'i riikides, aitab tagada, et mõõtetulemused on suurema usaldusväärsusega ning paremini võrreldavad.

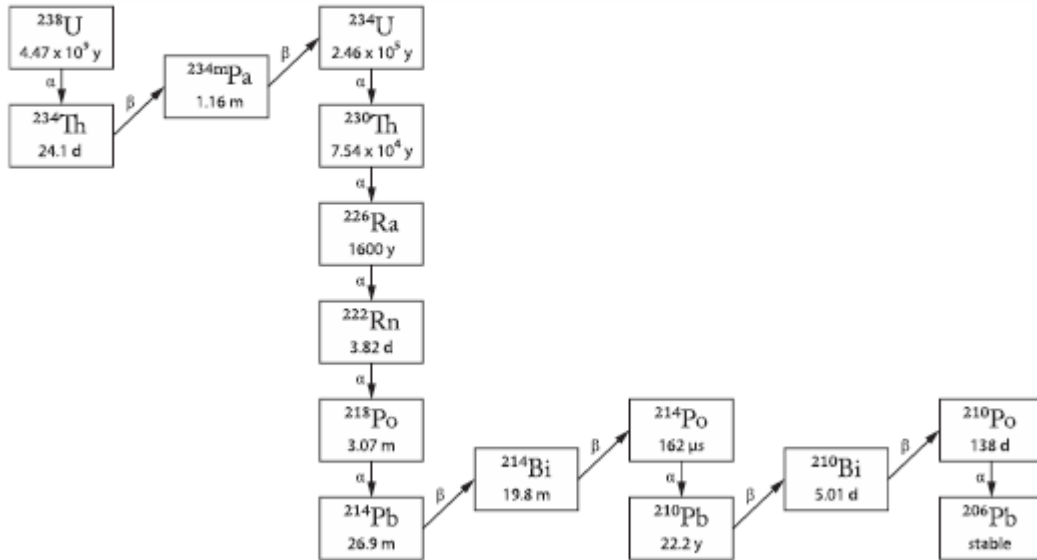
Tähtsamad tulemused.

- Töö tulemusel selgus, et keskmiselt moodustavad Eestis iga kaubaartikli lõikes ca 85% kogutarne mahtudest kõigest kolme ettevõtte tarned.
- Suureks probleemiks on kauba tarnedokumentide kvaliteedi varieeruvus. Selgus, et tarnitavatel ehitusmaterjalidel puudub ühtne lähenemine nii vajalike dokumentide nomenklatuuri (nt saatelehed, standardid, katsetunnistused, ohutuskaardid), kui ka nende dokumentide keele ja sisu osas. Kiirgusomaduste kohta sisaldasid mingeid andmeid kõigi käsitletud ettevõtete seast ainult kolme ettevõtte poolt esitatud dokumendid.
- Esitatud dokumentide põhjal ei olnud suuremal osal materjalidest võimalik kiirgusomadusi hinnata. Materjalide valimi i-indeksi määramisel leiti ligi 20% mõõdetud materjalidest i-indeksi väärtus suuremaks etteantud piirväärtusest; mistõttu osutub väga oluliseks uuringu üheks eesmärgiks seatud sisendi andmisel väljastpoolt Euroopa Liitu tarnitavate ehitusmaterjalide kiirgusomaduste hindamisel, materjalide kiirgusomaduste otsene mõõtmine.

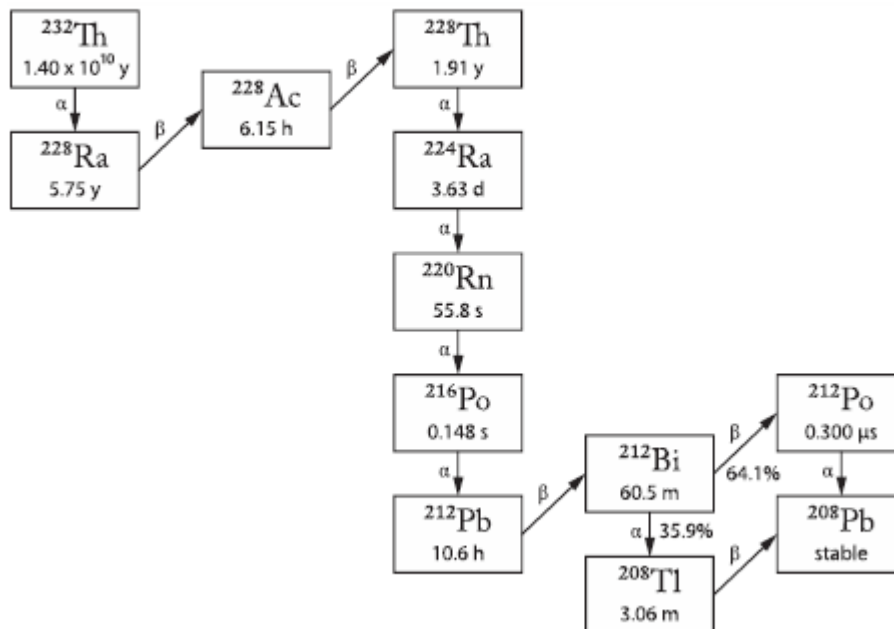
Teostatud uuringu tulemused osutavad kitsaskohtadele imporditavate ehitusmaterjalide kiirgusomaduste tuvastamisel ning aitavad kaasa paremale ehitusmaterjalide järelvalve ja puuduoleva info hankimise korraldamisele imporditavate materjalide potentsiaalse kiirgusohtlikkuse kohta. Tulemuste otsesed kasutajad on eeskätt Keskkonnaministeerium (KKM) ning KKI – kiirgusohutuse järelvalvet teostab KKI ning kiirguskaitse alaseid eesmärke, meetmeid ja tegevussuundi korraldab ning rakendab KKM koos oma allüksustega. Kuigi seadusest tulenevalt on KKI'le pandud järelvalve kohustus, puudus siiani riigil ülevaade, millistes kogustes ning missuguste omadustega ehitusmaterjale turul on, eeskätt aga nende materjalide osas, mis pärinevad väljastpoolt EL'i. Kokkuvõtvalt saab öelda, et uuringu tulemused aitavad Eesti riigil jälgida ja täita oma riigis Euroopa Nõukogu direktiiviga 2013/59/EURATOM esitatud nõudeid.

Lisa 1.

Uraan-238 ja toorium-232 lagunemisread [23]



Uraan-238 lagunemisrida



Toorium-232 lagunemisrida.

Viited

1. Review of Achievements on Protection of Public against exposure to Radon Indoors in IAEA Member States participating in TC Projects RER9136 and RER9127. (2018). IAEA projekti aruanne. Elektroonne kirjavahetus, 28.04.2020.
2. Nõukogu Direktiivi 2013/59/EURATOM, Euroopa Liidu Teataja, 17.1.2014, L 13/1. <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0059&from=ET>
3. Kiirgustöötaja ja elaniku efektiivdoosi ning silmaläätse, naha ja jäsemete ekvivalentdoosi piirmäärad (2016). Määrus. Riigi Teataja. Vastu võetud 15.09.2016 nr 97. <https://www.riigiteataja.ee/akt/120092016009>
4. Majandus- ja kommunikatsiooniminister, 2019. Majandus- ja kommunikatsiooniministri määruse nr 49 „Ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord“ (vastu võetud 26.07.2013, redaktsioon 22.02.2019).
5. Tee-ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord. (2014). Määrus. Riigi Teataja. Vastu võetud 22.09.2014 nr 74. <https://www.riigiteataja.ee/akt/124092014005>
6. Keskkonnaministeerium. (2020). Kiirgusohutuse Riiklik Arengukava. <https://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/kiirgus/kiirgusohutuse-riiklik-arengukava-2018-2027>.
7. Keskkonnainspeksioon. (2019). Ehitustoodete impordandmete päring. Kiri reg. nr 9-1/19/1353; 11.03.2019.
8. Keskkonnainspeksioon. (2019). Lisapäring ehitustoodete impordandmete kohta. Kiri reg. nr 9-1/19/1353-3, 01.10.2019.
9. Maksu- ja Tolliamet. (2020). Kaubakoodid. https://www.emta.ee/sites/default/files/ariklient/toll-kaubavahetus/hs_sisunaitaja.pdf].
10. Maksu- ja Tolliamet. (2020). Kaubakoodide seletused. <https://www.emta.ee/sites/default/files/ett/g25.pdf>.
11. Majandus- ja kommunikatsiooniministri 26. juuli 2013. a määruse nr 49 „Ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord“ muutmine“ eelnõu seletuskiri. (2017). <https://www.koda.ee/sites/default/files/content-type/content/2017->
12. Eesti Ehitusmaterjalide Tootjate Liidu veebilehekülg. (2019). <http://www.eetl.ee/et>
13. Jaska M. (2019). Elektroonne kirjavahetus. Eesti Ehitusmaterjalide Tootjate Liit. 15.02.2019.
14. Keskkonnainspeksioon. (2019). Maksu- ja Tolliameti kiri „Vastus kirjale“. Kiri reg.nr 9-1/19/1353-2, 06.05.2019.
15. Maksu- ja Tolliamet. (2019). Kaubaartiklite täpsustatud nomenklatuur. <https://apps.emta.ee/arctictariff-public->.
16. Keskkonnainspeksioon. (2019). Maksu- ja Tolliameti kiri „Vastus kirjale“. Kiri reg.nr 9-1/19/1353-4, 07.10.2019.
17. Äriregistri Teabesüsteem. (2020). <https://ariregister.rik.ee>
18. Keskkonnainspeksioon. (2019). Päring ehitustoodete impordi kohta. Kirjad reg.nr 9-1/19/1353-5 - 9-1/19/1353-26, 27.- 29.11.2019.
19. Marily Jaska, 2020. Ülevaade väljastpoolt Euroopa Liitu imporditud ja Eesti turul kättesaadavatest kiirgusohutuse seisukohast olulistest ehitusmaterjalidest. Magistritöö. Juhendajad Annely Kuu ja Taavi Vaasma. TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL. INSENERITEADUSKOND. TARTU KOLLEDŽ.
20. Keskkonnainspeksioon. (2019). Ettevõtete vastuskirjad. Kirjad reg nr 9-1/19/1353-27 - 9-1/19/1353-40, 02.12.2019 - 10.03.2020.

21. Hando Tohver, 2020. „Omaneeldumiseefekt gammaspektromeetrias ehitusmaterjalide kiirgusohutuse hindamisel“. Bakalaureusetöö füüsika erialal, juhendajad Siiri Suursoo ja Taavi Vaasma, Tartu Ülikool, Füüsika Instituut.
22. Keskkonnaminister, 2016. Keskkonnaministri määrus nr 54 „Kiirgustöötaja ja elaniku efektiivdooside seire ja hindamise kord, radionukliidide sissevõtmist põhjustatud dooside doosikoefitsientide ning kiirgus- ja koefaktori väärtused ning nende mõõtmise kord“ (vastu võetud 18.11.2016, redaktsioon 25.11.2016).
23. Y. Ishimori, K. Lange, P. Martin, Y. Mayya ja M. Phaneuf,(2013). Technical Reports Series No. 474 Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues (International Atomic Energy Agency IAEA, Vienna).
24. R.Trevisi· F.Leonardi· S.Risica· C.Nuccetelli· (2018). Updated database on natural radioactivity in building materials in Europe“ Journal of Environmental Radioactivity Volume 187, July 2018, Pages 90-105.
25. UNSCEAR Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes United Nations Publication, New York, USA (2000).
26. Beretka, J. and P.J. Mathew, (1985). Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-product. Health Phys., 48: 87-95.

Mõõtetulemuste koondtabel

			Ra-226 (Pb-214 järgi)		Th-232 (Ac-228 järgi)		K-40		Ekshalatsioon		I-indeks	
Proovi kirjeldus	Päritolu- maa	Proovi ID	A (Bq/kg)	U, k=2 (Bq/kg)	A (Bq/kg)	U, k=2 (Bq/kg)	A (Bq/kg)	U, k=2 (Bq/kg)	E (mBq/kg*h)	U, k=2 (mBq/kg*h)	U, k=2	
Looduskivist plaat - travertiin	Peruu	EH05-07	< MDA	0,25	<MDA	0,28	< MDA	2,03	15,01	2,74	< MDA	0,00
Töödeldud looduslik kiltkivi	Hiina	EH06-01	41,22	2,16	87,12	5,07	1486,39	74,64	8,26	7,52	1,30	0,04
Looduskivist plaat - kiltkivi	India	EH05-03	31,34	1,58	90,29	5,13	1204,00	59,17	62,83	9,85	1,29	0,04
Looduskivist plaat - graniit	India	EH05-05	51,99	2,66	74,41	4,79	1182,84	59,47	15,07	2,37	1,14	0,04
Looduskivist plaat - kiltkivi	Hiina	EH05-09	54,71	2,65	101,22	5,72	1168,49	57,44	19,28	5,00	1,08	0,04
Looduslik kivi - hele looduskivist plaat	Hiina	EH07-09	68,96	3,50	54,87	3,44	1133,55	57,74	13,09	2,12	1,07	0,04
Looduskivist plaat - graniit	Hiina	EH05-04	53,41	2,76	72,70	4,95	1009,63	51,77	24,76	3,30	1,06	0,04
Looduskivist plaat - kiltkivi	Brasiilia	EH05-06	42,95	2,30	73,20	4,33	961,51	49,36	25,43	3,47	1,03	0,04
Looduslik kivi - heledad tükid	India	EH07-07	16,97	1,23	44,26	2,85	931,40	48,09	13,40	1,99	0,99	0,04
Looduskivi	India	EH07-06	32,08	1,80	77,89	5,02	879,28	45,40	22,25	11,79	0,97	0,04
Keraamiline plaat	Hiina	EH04-01	78,25	3,95	54,63	3,85	784,57	40,73	28,78	3,50	0,97	0,03
Keraamiline plaat	Türgi	EH03-01	86,36	4,25	62,14	4,02	690,30	35,62	21,56	3,00	0,96	0,03
Keraamiline plaat	Türgi	EH07-01	85,78	4,38	68,25	5,00	688,86	37,82	114,54	12,61	0,94	0,03
Keraamiline plaat	Türgi	EH03-04	89,34	4,48	41,63	2,88	670,04	36,03	17,34	2,44	0,91	0,04
Looduskivist plaat - kvartsiit	Brasiilia	EH05-08	8,27	0,76	13,87	1,47	667,90	35,73	13,53	2,07	0,88	0,03
Keraamiline plaat	Türgi	EH02-07	78,47	4,03	54,01	4,28	665,45	36,43	14,30	2,10	0,88	0,03

Töödeldud looduslik												
kiltkivi	Hiina	EH06-02	26,21	1,49	41,41	2,63	663,22	34,60	15,87	6,22	0,87	0,03
Keraamiline plaat	Valgevene	EH04-02	39,81	1,99	36,18	2,17	661,05	33,43	7,48	1,59	0,86	0,03
Keraamiline plaat	Valgevene	EH04-03	126,79	6,23	101,94	6,53	623,92	33,86	17,88	2,26	0,83	0,03
Looduskivist plaat - apliit												
(graniidi alaliik)	Hiina	EH05-02	84,67	4,08	15,74	1,69	615,90	31,20	38,90	4,64	0,83	0,03
Keraamiline plaat	Valgevene	EH04-04	104,88	5,21	86,66	5,73	555,29	30,50	6,03	3,36	0,81	0,04
Keraamiline plaat	Türgi	EH07-03	48,29	2,36	49,31	2,81	548,35	27,90	13,98	3,06	0,80	0,03
Keraamiline plaat	Tai	EH02-03	68,94	3,68	73,02	4,56	536,12	30,77	12,06	2,11	0,79	0,03
Looduslik kivi - tume												
looduskivist plaat	Hiina	EH07-08	17,65	1,04	28,33	1,82	535,06	27,78	26,52	3,54	0,78	0,03
Keraamiline plaat	Türgi	EH02-06	79,25	4,00	66,85	4,04	532,32	29,20	8,40	1,76	0,77	0,03
Keraamiline plaat	Tai	EH02-04	198,52	9,59	89,93	5,34	526,85	29,52	23,22	5,46	0,75	0,03
Keraamiline plaat	Türgi	EH07-02	80,04	4,17	64,78	4,08	489,51	28,47	51,48	7,94	0,75	0,03
Keraamiline plaat	Araabia Üht	EH03-05	103,40	5,02	92,91	5,55	468,54	24,72	13,98	2,18	0,73	0,02
Keraamiline plaat	Tai	EH02-01	213,67	10,27	88,97	5,31	439,38	25,08	7,78	1,62	0,64	0,03
Keraamiline plaat	Indoneesia	EH02-05	51,93	2,82	66,10	4,77	415,33	24,28	13,98	2,23	0,59	0,02
Keraamiline plaat	Türgi	EH02-02	75,27	3,85	120,44	7,52	411,32	23,97	9,22	1,84	0,59	0,02
Keraamiline plaat	Araabia Üht	EH03-03	122,58	6,05	98,30	6,45	403,28	23,84	42,00	5,33	0,58	0,02
Šamottkivi	Ukraina	EH09-04	78,42	4,02	96,47	6,26	369,93	21,83	16,36	2,21	0,57	0,02
Töödeldud looduslik												
kiltkivi	Hiina	EH06-03	8,91	0,67	9,96	1,10	369,91	20,36	22,88	3,45	0,53	0,02
Keraamiline plaat	Ukraina	EH03-02	37,41	1,99	61,47	3,66	281,85	16,75	5,96	1,75	0,53	0,02
Keraamiline plaat	Türgi	EH07-04	62,09	3,20	55,49	4,02	276,50	17,23	20,17	3,19	0,52	0,02
Looduskivist plaat	India	EH05-01	10,17	0,64	17,64	1,22	211,66	12,00	16,00	2,34	0,38	0,01
Soojustusplaat	Valgevene	EH01-01	13,70	0,99	10,06	1,35	181,09	13,85	< MDA		0,32	0,01
Šamottmört	Venemaa	EH09-02	72,35	3,66	102,08	6,51	180,61	13,51	40,18	7,53	0,24	0,01
Tsemendipulber -												
portland tsement valge	Türgi	EH08-02	30,89	1,84	15,46	2,28	167,37	13,55	82,42	8,93	0,20	0,01
Šamottkivi	Venemaa	EH09-01	109,45	5,43	130,43	7,88	128,13	10,93	13,08	2,12	0,19	0,01
Tsemendipulber -												
portland tsement tume	Türgi	EH08-01	83,78	4,05	122,83	6,97	56,15	6,51	23,14	3,39	0,16	0,01