

Pille Vals

TEE-EHITUSMATERJALIDE OSA RADOONI TÕKESTAMISEL

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2021



Pille Vals

TEE-EHITUSMATERJALIDE OSA RADOONI TÕKESTAMISEL

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut Teedeehituse õppekava Juhendaja: Rein Koch

Tallinn 2021

Mina

Pille Vals,

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja (Rein Koch, /allkirjastatud digitaalselt/)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Pille Vals sünnikuupäev: 24.01.1976 annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Tee-ehitusmaterjalide osa radooni tõkestajana

(lõputöö pealkiri)

- 1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
- 2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
- kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

- lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
- 2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas,

/allkirjastatud digitaalselt/



LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja:Pille ValsÕpperühm:KTE 71/81Eriala:TeedechitusLõputöö teema:Tee-ehitusmaterjalide osa radooni tõkestamisel

Lähteandmed töö koostamiseks:

 Valmistatakse betoonist katekehad ning uuritakse, milline on radooni pindekshalatsiooni kiirus selle kuivamise protsessis.

 Betoonist katsekehade valmistamine. Teostatakse mõõtmised uurimaks radooni difusiooni voogu katsekehasse erinevate teedeehituses kasutatavate gecsünteetide puhul.

Töö sisu, ülesehitus ja lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

 Anda ülevaade radoonist (levik, terviseriskid, juhendid, radooni eraldumise erinevad protsessid) 9 lehekülge.

2. Ülevaade uuritavatest materjalidest (betoonmaterjalid, looduskivi materjalid geosünteedid) 3 lehekülge.

 Radooniuuringute metodoloogia (betoonist katsekehade valmistamine, geosünteetidega katsekehade valmistamine, katsekehade mõõteseadmed, katsekehade mõõtmised) 11 lehekülge.

 Mõõtetulemused ja analüüs (radooni pindekshalatsiooni mõõtetulemused, radooni difusiooni mõõtetulemused) 11 lehekülge.

Järeldused 2 lehekülge.

Kokkuvõte 1 lehekülg.

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht: seletuskirja maht 49 lehekülge ning 4 lisa.

Lõputöö konsultandid:

Konsultandi nimi	Valdkond	Allkiri	Kuupäev
Julija Šommet	teedeehitus	former	04.06.21
Lõputöö juhendaja:	Rein Koch (nimi)	Phil (allkiri)	4.06.21 (kuupäev)
Lõpetaja:	Pille Vals (nimi)	P. Nouls (allkiri)	04 06 . LOLI (kuupäev)
Kinnitaja:	Aivars Alt ehitusinstituudi direktor	(allkiri)	04.06.257 (kuupäev)
Lõputöö ülesanne antud:	04.06.2021		
Lõputöö esitamise tähtaeg:	11.06.2021		

SISUKORD

SISSEЛ	JHATUS	7
1 RA	DOON	8
1.1	Radooni levik Eesti pinnaseõhus	10
1.2	Radoonist tulenevad terviseriskid	11
1.3	Radooniriski leevendamise juhendid	11
1.4	Radooni eraldumine	
1.5	Radooni emanatsioon ja seda mõjutavad tegurid	
1.6	Radooni ekshalatsioon	14
1.7	Radooni difusioon	14
2 ÜL	EVAADE UURITAVATEST MATERJALIDEST	17
2.1	Betoonmaterjalid	17
2.2	Looduskivi materjalid	17
2.3	Geosünteedid	
3 RA	DOONIUURINGU METODOLOOGIA	20
3.1	Betoonist katsekehade valmistamine	20
3.2	Geosünteetidega katsekehade valmistamine	
3.3	Katsekehade mõõteseadmed	24
3.3	.1 Radooni pindekshalatsiooni mõõteseadmed	24
3.3	2 Radooni difusiooni mõõteseadmed	
3.4	Katsekehade mõõtmised	
3.4	.1 Radooni pindekshalatsiooni kiiruse mõõtmised	
3.4	.2 Radooni difusiooni mõõtmised	27
4 MÔ	ÓÕTETULEMUSED	
4.1	Radooni pindekshalatsiooni mõõtetulemused	
4.1	.1 Radooni pindekshalatsiooni mõõtemääramatus	
4.1	.2 Radooni pindekshalatsiooni kiiruse arvutustulemused	
4.2	Radooni difusiooni mõõtetulemused	
5 JÄ	RELDUSED	41
κοκκι	JVÕTE	43
SUMM	ARY	44
VIIDAT	UD ALLIKAD	45

LISAD	48
Lisa 1. Drefon RST toimivusdeklaratsioon	49
Lisa 2. Asfaldivõrgu toimivusdeklaratsioon	50
Lisa 3. Radooni pindekshalatsiooni katsekehade mõõtmiste tabel	52
Lisa 4. Radooni difusioonikatsete mõõtmiste tabel	54

SISSEJUHATUS

Euroopa Liit on astunud üha jõulisemaid samme, et reguleerida kiirgusega sh radooniga seonduvat temaatikat. Direktiivis 2013/59/EURATOM reguleeritakse isikute tervise kaitset ioniseerivast kiirgusest tulenevate ohtude eest. Direktiivis kehtestati siseruumide õhu radoonisisalduse (300 Bq/m³) viitetase. [1] Eestis on seadusandluse tasemel ülaltoodud viitetase üle võetud ning see kehtib eluruumides, tööruumides ja hoonete ruumi siseõhus [2], [3].

Radooni temaatikat seostatakse tavapäraselt üldehitusega. Ehitusmaterjalid mõjutavad gammakiirguse doosiga meie igapäevaelu. Tavapäraselt on ehitusmaterjalide osa siseruumides oleva radooni osast väikesed, võrreldes pinnasest tuleva radooniga. Tähelepanuta on jäetud asjaolu, et ühissõidukite suletud terminalid, kus sõidavad ühistransport ja muud sõiduvahendid on kohad, kus radooniohtlikel pinnastel tuleb kasutada täiendavaid vahendeid tõkestamaks radooni sattumist terminali siseõhku. Terminalid on suletud kohad, kus kogunevad saasteained, mille aerosoolid võivad kaasa aidata, et radooni transportida kopsu (sarnaselt suitsetamisega).

Antud töö koosneb kahest osast. Esimeses osas uuriti tseoliidi lisandiga tehtud betoonist katsekehade pidekshalatsiooni kiiruse dünaamikat katsekehade kõvenemise käigus.

Teises osas uuriti betoonist katsekehade difusiooni omadusi erinevate teedeehituses kasutatavate geosünteetide korral.

1 RADOON

Radoon on värvitu, maitseta ja lõhnata radioaktiivne väärisgaas. Inimeste tervise seisukohalt on ohtlikud alfaosakesed, mis eralduvad radooni ja tema tütarisotoopide lagunemisel (poloonium, vismut, plii jne). [4, lk 5]

Aatomituuma radioaktiivsel muundumisel eristatakse α - või β -lagunemist. α -lagunemiseks nimetatakse aatomituuma iseeneslikku lagunemist kergema elemendi tuumaks ja α -osakeseks (He⁺) tuumast väljakiirgamise tagajärjel. β -lagunemisel eraldub aatomituumast elektron, mille tagajärjel muutub tuum mingi teise elemendi tuumaks. Oluline on prootonite ja neutronite vastastikune muundumise võime. [5, lk 272 – 273]

Loodusliku radooni isotoopidest tuntum on radoon 222 ehk radoon (Rn-222). Radoon 222 tekib ²³⁸U lagunemisel, tema poolestusaeg on 3,8 ööpäeva ning ta laguneb seitsmeks radioaktiivseks tütarnukliidiks ja muutub lõpuks stabiilseks plii-206 isotoobiks. Alljärgnev joonis (Joonis 1) iseloomustab ²³⁸U ja selle lagunemissaadusi. Joonisel on esitatud informatsioon poolestusaja ja lagunemisviisi kohta (α ja β -lagunemine). [4, lk 26]



Joonis 1. ²³⁸U ja selle lagunemisrida [4, lk 26]

Radoon 220 ehk toroon (Rn-220) tekib ²³²Th lagunemisel, tema poolestusaeg on 55,8 sekundit, kolmest radooni isotoobist on ta pinnases kõige levinum. Alljärgnev joonis (Joonis 2) iseloomustab

²³²Th ja selle lagunemissaadusi. Joonisel on esitatud informatsioon poolestusaja ja lagunemisviisi kohta (α ja β-lagunemine). [4, lk 26-27]



Joonis 2. ²³²Th ja selle lagunemisrida [4, lk 27]

Radoon 219 ehk aktinoon (Rn-219) tekib ²³⁵U lagunemisel, tema poolestusaeg on 3,96 sekundit, Pinnases on tema levik kõige väiksem. Tema kiire poolestusaja tõttu on seda isotoopi raske tuvastada. Alljärgnev joonis (Joonis 3) iseloomustab ²³⁵U ja selle lagunemissaadusi, esitatud on informatsioon poolestusaja ja lagunemisviisi kohta (α ja β-lagunemine). [4, lk 26-27]



Joonis 3. ²³⁵U ja selle lagunemisrida [4, lk 27]

1.1 Radooni levik Eesti pinnaseõhus

Radooniohtlikuks liigitatakse sellist pinnast, kus radoonisisaldus 1 meetri sügavusel pinnaseõhus on üle 50 kBq/m³ [6, lk 4]. Pinnaseõhu radooniohutasemeid eristatakse alljärgnevalt: [7, lk 8]

- 1. 0-10 kBq/m³ madal;
- 2. 10-50 kBq/m³ normaalne;
- 3. 50-250 kBq/m³ kõrge;
- 4. $> 250 \text{ kBq/m}^3$ ülikõrge.

Euroopa keskmise radooniriski osas kuulub Eesti kõrgemate hulka [8, lk 6]. Radoonisisaldus Eesti pinnases varieerub enamasti 23 – 75 kBq/m³. Eriti kõrge ja kõrge radooniriskiga pinnased asuvad Põhja-Eesti klindil, mis ulatub Narvast Pakri saarteni ning Lõuna-Eestis (Viljandi, Tõrva, Põlva jt piirkondades). [6, lk 3] Põhja-Eestis ja Harjumaal on pinnaseõhu kõrge radoonitase põhjustatud fosforiidi ja graptoliitargiliidi esinemisest, sest ülaltoodud sisaldavad kõrgel tasemel uraani [9, lk 305]. Alljärgnev kaart (Joonis 4) iseloomustab Eesti pinnase radoonisisaldust.



Joonis 4. Maksimaalne Rn-222 sisaldus pinnaseõhus, interpolatsioon (kBq/m³) [6, lk 38]

1.2 Radoonist tulenevad terviseriskid

Radooni mõju seostati kopsuvähiga juba eelmise sajandi alguses, mil uuriti kaevureid, kes olid kokku puutunud suurte radooni kontsentratsioonidega. 1988 aastal klassifitseeris Rahvusvaheline Vähiuurimuste Keskus (IARC) radooni kantserogeeniks. Maailma Terviseorganisatsioon (WHO) toob välja, et epidemioloogilised uuringud näitavad, et kodude siseõhus olev radoon suurendab kogu elanikkonnal kopsuvähi riski. Radooniga seotud kopsuvähi osakaal jääb vahemikku 3-14%, sõltuvalt asukohariigi radoonitasemest pinnases. Maailmas on kopsuvähi tähtsuselt teine põhjustaja pärast suitsetamist radoon, mistõttu suureneb suitsetaja risk kopsuvähki haigestuda. WHO avaldab, et sissehingatavas õhus radooni kontsentratsiooni kasvades iga 100 Bq/m³kohta tõuseb haigestumise risk kopsuvähki 10-20%. [10, lk 3] Suitsu aerosooliosakesed aitavad viia sissehingamisel radooni ja selle laguprodukte kopsu-bronhiaalsüsteemi, kus kinnituvad radooni tütarisotoobid (Pb-210 poolestusaeg on ca 22 aastat), mille lagunemine kahjustab otseselt organismi rakke [8, lk 20].

Terviseagentuur toob välja, et Eestis võib radoon tekitada uusi kopsuvähki haigestumise juhte, aastas kuni sajale inimesele [11, lk 17].

1.3 Radooniriski leevendamise juhendid

Eestis on kasutusel rida standardeid, mis käsitlevad radooni teemat alates katsetest kuni ehitamiseni. Radooniohu vältimiseks hoonetes kehtib standard EVS:840 "Juhised radoonikatse meetmete kasutamiseks uutes ja olemasolevates hoonetes" [7, lk 8]. Antud standardis tuuakse välja tüüpilised siseruumi radooniallikad (Joonis 5).



Joonis 5. Tüüpilised siseruumi radooniallikad [7, lk 8]

Ülaltoodud jooniselt on näha, et hooned on mõjutatud radooni puhul pinnasest ja sealt tulenevast radoonist, eriti piirkondades kus on kõrge radoonioht. Antud standard on Eestis ainus, mis käsitleb radooni puhul projekteerimist ja ehitamist.

1.4 Radooni eraldumine

Radooni eraldumine pinnasest ja ehitusmaterjalidest toimub sarnaselt. Oluline erinevus tuleb niiskusest, sest ehitusmaterjalid ei ole reeglina niiskusega pidevas kokkupuutes nagu pinnas [12, lk 20]. Radooni kontsentratsioon õhus sõltub radooni difusioonist ja konvektsiooni mehanismist maapinnast, ehitusmaterjalidest ja vees tema temperatuurist. Radooni aatomid, mis asuvad maapinnas tahkete osade vahel, liiguvad läbi tühimike pooride maapinnale. [12, lk 6]

Radooni eraldumist pinnases iseloomustavad järgmised protsessid [12, lk 6], mis on näidatud joonisel 6:

- emanatsioon raadiumi lagunemisel tekkinud radoon aatomite väljumine pooride vabasse ruumi. Emanatsioon sõltub vee sisaldusest, tera suurusest, raadiumi jaotusest teras, pinnase happesusest. Vesi pidurdab tekkinud radooni aatomi energiat ja ta ei lenda kõrvalterakese sisse. Kuival kehal lendab radooni aatom ühelt terakeselt teise ja ei pruugi väljuda atmosfääri;
- transport difusiooni ja konvektsiooni abil toimub radooni maapinna suunas kandmine;
- ekshalatsioon maapinnale jõudnud radooni aatomid väljuvad maapinna kohale atmosfääri.



Joonis 6. Radooni eraldumine pinnasest [12, lk 6]

1.5 Radooni emanatsioon ja seda mõjutavad tegurid

Emanatsiooni iseloomustatakse läbi emanatsiooni koefitsiendi (e), mis on suhtarv, mis iseloomustab aines oleva raadiumi lagunemisel tekkiva kogu radooni ja välisõhku eralduva radooni suhet. Emanatsiooni koefitsient on ühikuta parameeter ning seda iseloomustatakse, kas protsendina või suhtarvuna, selle väärtus jääb vahemikku 0 (radoon ei pääse välja) – 1 (kogu radoon väljub). [13, lk 205-206] Radooni emanatsioon on mineraalsetes ehitusmaterjalides tavapäraselt 0,002–0,4%. Mida poorsem ja lõhelisem on ehitusmaterjal, seda suurem kogus radooni ehitusmaterjalidest eraldub [14, lk 19-21].

Radooni emanatsiooni mõjutavad tegurid [12, lk 9 - 12]:

- raadiumi jaotus, osakeste suurus ja kuju. Radoon, mis on tekkinud raadiumi lagunemisel pääseb mineraalsest ainest välja selle pealmise kihi kaudu. [12, lk 9 – 12] Rn-226 aatomi lagunemisel tekib alfaosakese kiirguse tagajärjel tagasilöök, mille tulemusena pinnalähedal olev radooni aatom eraldub terast. Tagasilöögi energia, mis tekib alfaosakese väljalennul ning mille saab Rn-222 on ca 100 keV. Rn-222 aatomitest suudab teraskte vahelistesse pooridesse väljuda 10-50%; [14, lk 19-21]
- niiskus. Niiskusesisaldus mõjutab oluliselt radooni emanatsiooni, sest tagasilöögi energia sumbub vees oluliselt kiiremini, kui õhus ning radooniaatomi sisenemiseenergia kõrvalterasse on oluliselt väiksem kui õhus. Õhus on alfaosakeste tagasilöök Rn-222 puhul 53x10³ nm ning vees 77 nm; [12, lk 8]
- mineraloogia. Radooni emanatsioonikordaja sõltub pinnase mineraalse osa struktuurist, poorsusest, terade kujust ning elementide koostisest. Alljärgneval joonisel 7 on näha, et erinevatel mineraalsetel objektidel on emanatsioonikoefitsiendi väärtused väga erinevad. [12, lk 10]



Joonis 7. Erinevate materjalide emanatsiooni koefitsiendid [12, lk 12]

1.6 Radooni ekshalatsioon

Ekshalatsiooni kiirus näitab pinnalt eraldunud radooni aktiivsuse kontsentratsiooni, mida mõõdetakse bekerellides ruutmeetri või massi kohta ajaühikus (Bq·s⁻¹). Mõõtmistulemust väljendatakse, kas pinnaühiku kohta (Bq·m⁻²s ⁻¹) või massiühiku kohta (Bq·kg⁻¹ h ⁻¹). [12, lk 16]

Ekshalatsiooni mõjutavad järgmised näitajad [12, lk 16]:

- raadiumi aktiivsuskontsentratsioon materjalis (Bq/kg);
- materjali tihedus (kg/m³);
- emanatsiooni koefitsient;
- radooni difusioonikoefitsient (m²/s);
- materjali paksus (m).

Mõningate ehitusmaterjalide minimaalsed ja maksimaalsed ekshalatsiooniväärtused on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 1).

Tabel 1.	Enamlevinud	ehitusmaterjalide	minimaalsed ja	a maksimaalsed	ekshalatsiooniv	äärtused [15,
lk 32]						

Ehitusmaterjal	Minimaalne väärtus,	Maksimaalne v	äärtus,
	Bq/m ² x h	Bq/m ² x h	
Graniit	< MTA*		86
Normaal betoon	1,1		32
Lubjakivi	0,1		11
Savitellis	0,01		8

*MTA – minimaalne tuvastatav väärtus

1.7 Radooni difusioon

Nagu eelnevalt (ptk 1.5) on välja toodud on radooni maapinnale jõudmiseks vaja difusiooni ja konvektiivset õhuvoolu [12, lk 6].

Radooni difusiooni iseloomustab difusioonikordaja. Radooni difusioonikordaja pinnases sõltub mullatüübist, pooride suuruse jaotusest, veesisaldusest, pinnase tihedusest. Erinevad uuringud näitavad, et radooni difusioonikoefitsient sõltub niiskusesisaldusest erinevates muldades. Radooni difusioon väheneb, kui mulla niiskus ületab teatud künnise, mis sõltub mulla pooride geomeetriast.

Alljärgneval joonisel (Joonis 8) kajastuvad mõõdetud difusioonikoefitsiendi D väärtused sõltuvalt niiskusesisaldusest. Tulemused näitavad, et [12, lk 14 – 15]:

- küllastumise korral, kus koefitsient on alla 0,25 on difusiooni koefitsient $9x10^{-7}...7x10^{-6}$ m²/s;
- niiskuse küllastumise suurenemisega suureneb difusiooni koefitsient ligikaudu 2 korda keskmise küllastuse korral ja ligikaudu 4 korda täieliku küllastumise korral;
- difusiooni koefitsient väheneb küllastunud pinnases väärtusteni 0,8...1,0.



Joonis 8. Mõõdetud radooni difusioonikoefitsientide võrdlus [12, lk15]

Praha Tehnikaülikoolis läbiviidud uuringus (Joonis 9) toodi välja, et kõige sagedasem difusioonikoefitsient jääb vahemikku 10⁻¹³ kuni 10⁻¹² m²/s. Kõige madalamad difusioonikoefitsiendid esinesid polüpropüleen- ja polüetüleeni sisaldavates toodetes. Kõige kõrgemad koefitsiendid olid bituumenühendeid sisaldavates toodetes. [16, lk 149]



Joonis 9. Radooni difusiooni koefitsiendid erinevates materjalides [16, lk 152]

Floridas tehtud uuringute kohaselt on vanade hoonetes (12...45 aastat vanad) teostatud mõõdistuste põhjal radooni difusioonikoefitsiendi väärtused vahemikus 1,5x10⁻⁷...5,5x10⁻⁷, samuti tuuakse välja et ülaltoodud väärtused on 1,6 korda kõrgemad, kui uuematel betoonehitistel [17, lk 832].

2 ÜLEVAADE UURITAVATEST MATERJALIDEST

Antud peatükis esitatakse ülevaade betoonmaterjalidest, looduskivi (granitoidsetest) materjalidest ja geosünteetidest. Teede ehituses kasutatakse peamiselt looduskivi materjale, mis moodustavad põhilise osa kandekonstruktsioonist teede ehituses. Geosünteete kasutatakse järjest enam, betooni kasutatakse peamiselt äärekividena, kõnniteede plaatidena ning viimastel aastatel ka betoonteedes. Tähelepanuta on jäänud, et teede ehituse osa moodustavad ja bussiterminalid, parkimismajad jms.

2.1 Betoonmaterjalid

Betoon on tehislik materjal, mis on saadud sideaine, vee ja täitematerjali segu kivinemisel. Sideainena kasutatakse portland-, põlevkivi- või mõnda muud tsemendiliiki. Peentäitematerjaliks on reeglina liiv, jämetäitematerjalina kasutatakse killustikku, mille maksimaalne jämedus ei tohi olla suurem kui 1/3 valatava betoonkihi paksusest. Vesi peab olema joogivee kvaliteediga. [18, lk 56]

Soomes, Kreekas ja Saksamaal teostatud uuringud on näidanud, et betoonist võib radooni ekshalatsioon olla märkimisväärne 0,2...0,5 Bq m⁻² h⁻¹ /Bq kg^{-1.} Seetõttu võib betoon hoonetest radooni taseme tõusule kaasa aidata rohkem, kui teised ehitusmaterjalid. Suured pinnad ning tsemendis sisalduv kapillaarpoorides olev niiskus hõlbustab radooni aatomite vabanemist poorsesse mikrostruktuuri ja nende transportimist pinnapealasesse õhku. [13, lk 206]

2.2 Looduskivi materjalid

Mineraalsed maavarad, mida kasutatakse ehituses jaotatakse tard-, sette- ja moondekivimiteks. Viimati nimetatut kasutatakse ehituses vähe ja siinkohal seda rohkem ei käsitle. [18, lk 29]

Tardkivimid tekkisid vedela magma hangumisel. Nad koosnevad peamiselt kvartsist, põldpaost, vilgust ja tumedatest mineraalidest. Siia kuulub teede ehitusest graniit. Eestis leidub seda väga sügaval, seetõttu seda ei kaevandata. Olulisemad omadused ehituse jaoks on järgmised: suur survetugevus (120...300 N/mm²), väike tõmbetugevus (1/40...1/60 survetugevusest), väike veeimavus (0,5...0,8 % mahust), suur külmakindlus (üle 200 tsükli), suur kõvadus (Mohsi skaala järgi 6...7), suur kulumiskindlus. [18, lk 30]

Settekivimid tekkisid mineraalainete settimisel erinevates tingimustes. Nad koosnevad ühest põhimineraalist ja lisamineraalidest. Tähtsamad põhimineraalid on kvarts (SiO₂) mis on liivade põhiline koostisosa. Kaoliniit (Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O) on savide peamine koostisosa. Kaltsiit (CaCO₃),

mis on lubjakivi peamine koostisosa. Settekivimitest olulisemad on lubjakivi, mille tähtsamad omadused on järgmised: survetugevus 50...180 N/mm², veeimavus 1...6% ja külmakindlus 15...100 tsüklit. Settekivimite alla kuuluvad ka liiv, kruus. [18, lk 30-31]

2.3 Geosünteedid

Geosünteet on toode, millel on vähemalt üks tarindikujuline koostisosa valmistatud sünteetilisest või looduslikust polümeerist ning seda kasutatakse pinnase või üldehituse töödes. Kõige levinumateks toodeteks on geotekstiilid ja geovõrgud. [19, lk 2]

Geotekstiilid on vedelikke läbilaskvad tekstiilmaterjalid, mis on tehtud polümeerist. Valmistusviisilt on nad mittekootud, punutud või kootud. Põhiliselt valmistatakse neid polüpropüleenist (PP) või polüestrist (PET). [19, lk 2]

Enamasti on kasutusel mittekootud tekstiilid, mis on valmistatud korrapäratutest või korrapärastest kiududest/niitidest mehaaniliselt/kuumtöödeldud või keemiliselt ühendatud elementidest. Geotekstiile jaotataks reeglina nende põhiliste kasutusfunktsioonide järgi: eraldus-, filtreerimis-, dreen- ja kaitse funktsioonides. [20, lk 6]

Antud lõputöös uuritakse radooni difusiooni läbi Viacon OÜ tegevjuhilt saadud järgmistest materjalidest:

- geotesktiil Drefon RST3. Polüpropüleenist (PP) mittekootud geotekstiil. Kasutuskohad on tee- ja raudtee ehitus. Vundamendi ja tugikonstruktsioonide ehitus, drenaaž ning erosioonitõke. Täpsemad andmed on esitatud toimivusdeklaratsioonis (v.t Lisa 1);
- asfaldivõrk. Komposiidiga klaaskiust (FG) ja polüpropüleenist geotekstiil. Kasutatakse asfaldis katendi vastupidavuse suurendamiseks (v.t Lisa 2).

Alljärgnevalt on toodud foto (Foto 1) uuritavatest geosünteetidest.



Foto 1. Uuritavate geotekstiilide fotonäidised (vasakult paremale: asfaldivõrk polüpropüleenist geotekstiil, geotesktiil Drefon RST3, geovõrk komposiidiga klaaskiust (FG)).

3 RADOONIUURINGU METODOLOOGIA

Käesoleva lõputöö raames teostati kaks omavahel seotud radooniuuringut.

Pindekshalatsiooni kiirusega seotud uuringu eesmärgiks on mõõta betoonist katsekehades nende kivistumisel 28 päeva jooksul radooni pindekshalatsiooni kiirust saamaks teada, kuidas eraldub radoon betoonist selle kuivamisel. Mõõtmised teostati Tallinna Tehnikakõrgkooli laboratooriumis. Katsekehad tseoliidisisaldusega 5%, 30% ja 40% ning 0% valmistati koostöös Maksim Mljavoviga, kes teostas samal ajal lõputööd "Erinevate betoonisegude radooni ekshalatsioonikiiruse uurimine" [21]. Katsekehade igapäevane mõõtmiseks kuluv aeg varieerus 2,2...3,5 tunni vahel. Mõõtmisajad on esitatud lisas 3.

Geosünteetidega seotud uuringu eesmärgiks katsekehades radooni difusiooni mõõtmine.

3.1 Betoonist katsekehade valmistamine

Katsekehadena valmistati 5 erinevat betoonkuubikut. Katsekeha K-10% valmistati 04.03.2021 ning ülejäänud katsekehad 05.03.2021. Katsekeha K-10%, kuhu lisati 10% raadiumiga saastunud tseoliiti, valmistati koostöös M. Raudega [22].

Segu retseptid on esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 2).

Katsekeha	Materjali nimetus ja kogus, g							
markeering	Portlanttsement	Liiv	Killustik	Vesi	Betooni			
	CEM I 42,5 N				lisand			
*K-10%	2730	4190	9950	1640	199			
		(2095+2095)						
**K-0%, 5-%,	2950	4530	10740	1780	6			
30-% ja 40-%		(2265+2265)	(9400+1340)					

Tabel 2. Katsekehade seguretseptide andmed

* Liiv peensusmooduliga 2,7-3,7 ja 1,4-2,4. Killustik fraktsiooniga 2/4. Lisand Dynamon SX-25, mida kasutatakse betoonisegu töödeldavuse tõstmiseks ja/või veekoguse vähendamiseks.

** Liiv peensusmooduliga 2,4 -2,7 ja 2,7 – 34. Killustik fraktsiooniga 4-16 ja sõelutud fraktsioon 4 vastavalt sõelkõverale. Lisandina kasutati plastifikaatorit.

Tseoliidi kogus arvutati vastavalt katsekeha segu massile. Näiteks katsekeha K-10% puhul oli segu kokku 3626 g, seega 10% tseoliidi kogus on 362 g.

Katsekehale K-10% lisati täiendavalt vett 2%, sest segu osutus liiga kuivaks ning seda ei olnud võimalik töödelda.

Kasutatud tseoliit on pärit ASi Viimsi Vesi joogivee puhastusfiltritest, millega eemaldatakse veest raadiumi. "Tseoliidid (Foto 2) on vett sisaldavate alumosilikaatide hulka kuuluvad looduslikud või tehismineraalid. Mikropoorse kristallstruktuuriga Si-Al-O võres olevad poorid (läbimõõt 3 kuni 10 Å). Tseoliitidele on iseloomulik kiire ioonvahetus, nad on tugevad adsorbendid". [23]



Foto 2. Betoonisegusse lisatud tseoliit

Tsemendisegu täitematerjalina kasutati kuivi koostisaineid. Segurisse pandi kogu täitematerjal ja pool seguveest, mida segati 2 minutit ning seejärel lasti segul 2 minutit seista. Segisti käivitati uuesti tsemendi lisamise järel 30 sekundiks, mille jooksul lisati ülejäänud vesi. Segu segati veel 2 minutit. [24, lk 7-8]

Betoon valati vormi, mille suurus on 10x10x10 cm ehk katsekehade suurus on 1000 cm³. Enne betooni vormi valamist pintseldati vorm üle õhukese õlikihiga, et vältida betooni nakkumist vormi külge. Vormi ühtlaseks täitmiseks valati segu vormi kahes osas ning seda tihendati tihendamisvardaga 25 korda. Segu liigse kihistumise vältimiseks tuli segu tihendada vibrolaual (Foto 3), järgides et tihendamise aeg oleks optimaalne, liigne õhk peab olema eraldatud. [25, lk 6-7]



Foto 3. Vormis oleva katsekeha tihendamine vibrolaual

Katsekehad kaeti kilega, et hoida optimaalset niiskusrežiimi, temperatuuril 20±5°C vähemalt 16 tundi, kuid mitte kauem kui 3 päeva [25, lk 7]. Katsekehad võeti vormidest välja ning markeeriti vastavalt tseoliidi kogusele: K-0%, K-5%, K-10%, K-30% ja K-40% (Foto 4).



Foto 4. Markeeritud katsekehad

3.2 Geosünteetidega katsekehade valmistamine

Katsekehadena valmistati 3 silindrikujulist katsekeha, läbimõõduga 30 cm. Iga katsekeha korral asetati betoonikihtide vahele erinevad geosünteedid.

Alljärgnevas tabelis 3 on toodud katsekehade seguretsept. Tsemendina kasutati Weber 3D C35/45 CEMI segu. Graniitkillustikku fraktsiooniga 0-4 mm. Vee kogus kuivsegu kohta võeti 14%.

Tabel 3. Geosünteetidega katsekehade seguretseptide andmed

Katsekeha	Materjali nimetus ja kogus, g				
markeering	Tsement	Killustik	Vesi		
K-1, K-2, K-3	2500	500	420		

Katsekehad valmistati vastavalt standardile EVS-EN 196-1 "Tsemendi katsetamine. Osa 1. Tugevuse määramine". Nagu eelmisegi katse puhul, siis ka siin kasutati kuivi koostisaineid, mis kaaluti eraldi välja ja segati omavahel kokku ning pandi segurisse. Otsekohe käivitati segur aeglasel käigul ning valati 30 sekundi jooksul väljamõõdetud kogus vett peale. Pärast 30 sekundit lülitati segur välja 90 sekundiks. Esimese 30 sekundi jooksul pidi spaatliga anuma külgedelt ja seintelt eemaldama sinna külge kleepunud segu ja viima selle uuesti anuma keskele. Seejärel jätkati segamist 60 sekundi jooksul. [26] Alljärgnevalt toodud foto segurist (Foto 5).



Foto 5. Katsekeha valmistamisel kasutusel olnud segur

Pool vormist valati segu täis ning tambiti pulgaga läbi, et eemaldada segust õhk, seejärel tasandati segu kiht ning asetati geosünteet segule. Seejärel valati ka ülejäänud segu vormi ja tambiti ettevaatlikult pulgaga uus kiht, mis seejärel tasandati. Kasutatud segu puhul ei olnud võimalik kasutada vibrolauda, sest segu oli liiga vedel ja vibrolaud tekitas liigse segregeerumise.[25, lk 7]

Alljärgneval fotol (Foto 6) on kujutatud vormi pandud katsekeha.



Foto 6. Katsekeha valmistamine

Katsekehad kaeti kilega, et hoida optimaalset niiskusrežiimi, temperatuuril 20±5°C vähemalt 16 tundi, kuid mitte kauem kui 3 päeva [25, lk 7]. Katsekehad võeti vormidest välja ning markeeriti: K-1 (geotesktiil Drefon RST3), K-2 (polüpropüleenist geotekstiil) ja K-3 (komposiidiga klaaskiust geotekstiil). Alljärgneval fotol (Foto 7) kajastatakse markeeritud katsekehad.



Foto 7. Markeeritud katsekehad

3.3 Katsekehade mõõteseadmed

Mõõtmisteks kasutati Tallinna Tehnikakõrgkoolis olevaid seadmeid.

3.3.1 Radooni pindekshalatsiooni mõõteseadmed

Pindekshalatsiooni kiiruse mõõtmisteks kasutati Tallinna Tehnikakõrgkoolis olevat seadet *AlphaGuard DF2000*. Tegu on kaasaskantava professionaalse mõõtesüsteemiga, millega saab mõõta radooni ja torooni. Lisaks mõõdetakse ümbritseva õhu temperatuuri, suhtelist õhuniiskust ja

õhurõhku. Seade võimaldab mõõta radooni kontsentratsiooni nii difusiooni kui läbivoolu režiimis. Valmistaja on seadme mõõtemääramatuseks kirjutanud 3%. [27, lk 15, lk 75]

Mõõtmise andmeid on võimalik kasutada tarkvaras *DataView PRO*, mis on mõeldud andmete töötlemiseks, analüüsimiseks ja aruannete koostamise jaoks [27, lk 5].

3.3.2 Radooni difusiooni mõõteseadmed

Geosünteetidega seotud katsekehade puhul kasutati mõõteseadmena *Radoneye*⁺² mõõteseadet, mis mõõdab andmeid 10 minuti tagant, kuid keskmistab andmed tunni keskmiseks. Seade on internetti ühendatav ja võimaldab reaalajas mõõtetulemusi näha. Mõõteulatus on 7...9435 Bq/m³, mõõtemääramatus on 10%. [28]

Radoney⁺² on tehtud *AlphaGuard DF2000* võrdlusmõõtmised ja tulemuste erinevus jääb alla 10% [29].

3.4 Katsekehade mõõtmised

3.4.1 Radooni pindekshalatsiooni kiiruse mõõtmised

Pindekshalatsiooni mõõtmiseks paigutati katsekeha hermeetiliselt suletava kaanega roostevabast terasest ekshalatsioonikambrisse. Mõõtmisteks tekitati suletud süsteem, kuhu oli ühendatud veel *AlphaGuard DF2000* ning 100 meetri pikkune viivisvoolik, mille ülesandeks oli torooni kõrvaldamine enne gaasi jõudmist mõõtekambrisse (torooni lagunemisaeg on 55,8 sekundit). Alljärgnev foto (Foto 8) kajastab mõõtmiste süsteemi.



Foto 8. Katsekehade mõõtmised AlphaGuard DF2000ga

Põhimõtteline mõõtmise skeem on näidatud alljärgneval joonisel (Joonis 10).



Joonis 10. Pindekshalatsiooni mõõtmise põhimõtteline skeem

AlphaGuard DF2000 tsirkulatsioonipumpa kasutati selleks, et süsteemis olev radooni kontsentratsioon oleks ühtlustunud. Kui radooni kontsentratsioon oli eelduste järgi kogu süsteemi järgi ühtlustunud, siis lõpetati tsirkulatsioon ja *AlphaGuard DF2000lt* eemaldati voolikud ja sisendavad suleti. Katsekehas ekshaleerunud radoon jagati tsirkulatsiooni käigus süsteemi ruumala peale ühtlaselt laiali. Seejärel mõõdeti *AlphaGuard DF2000* mõõtekambris olev radoon ning nende süsteemi ruumalade suhtest arvutati radooni hulk, mis oli eraldunud katsekehast ekshalatsiooni mõõtekambrisse.

Tagamaks katsekehade pindekshalatsiooni mõõtmise korrektsust tuli süsteem puhastada eelmise katse radoonijääkidest selliselt, et enne iga katsekeha mõõtmise algust pidi mõõtekambri, vooliku ja *AlphaGuard DF2000* tuulutama radoonivaeses välisõhus. Iga mõõtmise teostamiseks kulus aega, sõltuvalt seadmete puhastamise kiirusest 2,5...3,5 tundi.

Radooni pindekshalatsiooni kiirus arvutati kasutades alljärgnevat valemit [12, lk 37]:

$$C = \frac{J_m \times M}{V \times \lambda_e} \times \left[1 - e^{-\lambda_e \times t}\right] + C_0 \times e^{-\lambda_e \times t}.$$
 (1)

Avaldades ülaltoodud valemit (1) avaldati J_m :

$$J_m = \frac{C \times V \times \lambda_e}{M \times [1 - e^{-\lambda_e \times t}]} + C_0 \times e^{-\lambda_e \times t},$$
(2)

kus C

– radooni kontsentratsioon, Bq/m³;

- *V* –mõõtesüsteemi efektiivne ruumala, m³;
- λ_e radooni lagunemiskoefitsient, 2,0984 × 10⁻⁶ s⁻¹;
- M –proovi pindala, m²;
- C_0 –radooni kontsentratsioon protsentides kambri mahust, t = 0 (Bq/m³);
- t sissekasvu aeg, s.

3.4.2 Radooni difusiooni mõõtmised

Katseseadeldis valmistati juhendaja Rein Kochi juhtimisel koostöös Tallinna Tehnikakõrgkooli ja Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi poolt. Katseseadeldise valmistajaks oli teenekas leiutaja Hando Kruuv [30].

Betoonist katsekeha paigaldatakse kinnise anuma kohale, mille sees on ventilaator ning mõõteseade *Radoneye*+². Katsekeha surutakse õhukindla tihendi abil vastu anuma serva ning fikseeritakse surverõngaga. Katsekambrisse pumbatakse radoon, mille allikaks on vanas gaasiballoonis olev diktüoneemakilt, mis peaks arvutsulikult tekitama radooni kontsentratsiooni kuni 5 kBq/m³. Antud mõõtmistel kasutatakse *AlphaGuard DF2000* pumba funktsioonis. Katsekambris on ventilaator, mis on seal radoonikonsentratsiooni ühtlustamiseks.

Mõõtmisteks valmis katseseadeldis koos katsekehaga on esitatud alljärgneval fotol (Foto 9).



Foto 9. Radooni difusiooni mõõtmine

Põhimõtteline radooni difusiooni mõõtmise skeem koos mõõtekambri läbilõikega on esitatud alljärgneval joonisel (Joonis 11).



Joonis 11. Difusiooni mõõtmise põhimõtteline skeem vasakul ja mõtekambri läbilõige paremal

Radooni difusiooni suhtelise voo arvutamisel arvestati alljärgnevate asjaoludega:

- 1. Antud katse osas oli oluline saada teada radooni iseeneslik lagunemise mõju koos lekkega ilma katsekeha läbimata. Selleks teostati katse. Difusioonikamber suleti õhukindla pleksiklaasiga. Difusioonikambrisse pumbati radoon ning jäeti see 142 tunniks lagunema. Antud katsetulemused on kajastatud joonisel 21, kus on välja toodud vastav mõõtmise eksponentsiaalne graafik koos valemiga. Antud valemist saame radooni lekkekoefitsiendi, milleks on 0,000002 (λ_{leke}).
- 2. Radooni lagunemiskoefitsient 2,0984 × 10⁻⁶ s-1 (λ_{Rn}) [12, lk 5].
- 3. Radooni hulk, mis moodustab difusiooni voo läbi katsekeha (λ_{dif}).
- 4. Üldise difusiooni koefitsiendi (λ_3) saame konkreetse katsekeha mõõtmistulemuste eksponentsiaalsest graafikust, vastava kordajana, mis on toodud joonisel 21.

Ülaltoodud punktide 1-3 põhjal saame tuletada üldise difusiooni (λ_3) valemi:

$$\lambda_3 = \lambda_{Rn} + \lambda_{leke} + \lambda_{dif}.$$
(3)

Ülaltoodud valemist (3) avaldame λ_{dif} :

$$\lambda_{dif} = \lambda_3 - \lambda_{Rn} - \lambda_{leke}.$$
 (4)

Radooni lagunemine allub radioaktiivse lagunemise seadusele [31]:

$$N = N_0 \times e^{-\lambda \times t},\tag{5}$$

kus N_0 – radooni algne kontsentratsioon, Bq/m³;

t – aeg, s;

 λ – radooni radioaktiivse lagunemise konstant.

Radooni suhteline vähenemine tunni jooksul (radoonikadu (Δ) tunnis) avaldub järgmise valemiga [tuletis 12, lk 20]:

$$\frac{(N_0 - N)}{N_0} = \left(1 - e^{\left(\lambda_{dif} \times t\right)}\right). \tag{6}$$

Ülaltoodud seosest (6) saame arvutada radooni difusiooni suhtelise voo (D) katsekehasse $[1/(m^2 \times s)]$:

$$D = \frac{\Delta}{S \times t},\tag{7}$$

kus S – katsekeha aktiivne pindala, m².

4 MÕÕTETULEMUSED

4.1 Radooni pindekshalatsiooni mõõtetulemused

AlphaGuard DF2000 andmete ülekandmiseks kasutatakse tarkvara DataView PRO, mis väljastab mõõteandmed Exceli tabeli kujul.

Alljärgneval joonisel (Joonis 12) on esitatud *AlphaGuardi* tarkvara *DataView PRO* väljastatud andmed.

A	В	С	D	E	F	G	Q	R	Z
AlphaGUARD D	/DF 115	05.03.2021 10	5:00:00 - 06.03.202	1 10:30:00					
Measurement time	Cycle time	Rn222(Bq/m3)	Rn222+error(Bq/m3)	Air pressure mbar(mbar)	Humidity rel.%(%)	Temperature(°C)	External analog 1 %(%)	External analog 2 %(%)	KBq hours(h)
05.03.2021 16:00	600	214,16	420,37	1 013,88	72,23	25,26	0,08	0,08	3 990
05.03.2021 16:10	600	504,68	423,43	1 013,96	69,77	25,43	0,08	0,08	3 990
05.03.2021 16:20	600	1 803,97	426,39	1 014,03	67,67	25,59	0,08	0,08	3 991
05.03.2021 16:30	600	2 894,38	433,46	1 014,06	65,89	25,71	0,08	0,08	3 991
05.03.2021 16:40	600	3 537,68	440,97	1 014,18	64,48	25,75	0,08	0,08	3 992
05.03.2021 16:50	600	4 865,85	486,74	1 014,32	63,38	25,73	0,08	0,08	3 993
05.03.2021 17:00	600	5 321,73	500,29	1 014,38	62,46	25,67	0,08	0,08	3 994
05.03.2021 17:10	600	5 137,72	501,84	1 014,51	61,65	25,61	0,08	0,08	3 994
05.03.2021 17:20	600	5 335,48	496,70	1 014,61	60,89	25,57	0,08	0,08	3 995
05.03.2021 17:30	600	5 204,66	485,87	1 014,72	60,19	25,55	0,08	0,08	3 996
05.03.2021 17:40	600	5 644,96	510,56	1 014,90	59,50	25,55	0,08	0,08	3 997
05.03.2021 17:50	600	5 480,85	497,92	1 015,03	58,85	25,54	0,08	0,08	3 998
05.03.2021 18:00	600	5 615,02	509,90	1 015,16	58,26	25,53	0,08	0,08	3 999
05.03.2021 18:10	600	4 983,44	472,38	1 015,29	57,68	25,52	0,08	0,08	4 000
05.03.2021 18:20	600	6 144,84	521,99	1 015,39	57,14	25,52	0,08	0,08	4 001
05.03.2021 18:30	600	5 459,40	502,58	1 015,42	56,63	25,50	0,08	0,08	4 002
05.03.2021 18:40	600	5 656,28	508,11	1 015,51	56,19	25,48	0,08	0,08	4 003
05.03.2021 18:50	600	5 114,94	482,71	1 015,65	55,75	25,46	0,08	0,08	4 003
05.03.2021 19:00	600	6 030,48	525,11	1 015,73	55,33	25,45	0,08	0,08	4 004
05.03.2021 19:10	600	5 376,41	485,81	1 015,67	54,93	25,43	0,08	0,08	4 005
05.03.2021 19:20	600	5 246,81	487,45	1 015,74	54,55	25,41	0,08	0,08	4 006
05.03.2021 19:30	600	5 499,69	495,69	1 015,78	54,21	25,37	0,08	0,08	4 007

Joonis 12. Näide AlphaGuard DF2000 tarkvara DataView PRO väljastatud andmetest

Mõõtetulemused väljastati iga 10 minuti tagant. Antud lõputöös kajastatakse keskmised väärtused graafikuna (tabelina oleks mõõtmistulemuste maht natukene üle 1000 rea).

Alljärgneval joonisel 13 tuuakse välja enda katsekeha ja võrdlusmomendina M. Mljaloviga koostöös tehtud katsekehad, kus kajastuvad kõikide katsekehade radooni kontsentratsioonid ekshalatsiooni kambris.



Joonis 13. Kõikide katsekehade mõõdetud radoonikontsentratsiooni sisaldus ekshalatsioonikambris ja käik ajas

Jooniselt 13 on näha, et katsekeha K-10% korral oli mõõtetulemus esimesel päeval oodatust oluliselt kõrgem, mis hilisemate mõõtmiste käigus langes. Katsekeha K-10% osas esitatakse mõõtekambri radooni kontsentratsioonile lisaks ka suhteline õhuniiskus ja mõõtetemperatuur, mis kajastuvad joonisel 14. Kõige suurem radoonikontsentratsioon mõõtekambris mõõdeti katsekeha K-10% korral. Võimalik, et tegu on asjaoluga, et antud katsekeha valmistamisel segule lisati täiendavat vett, kuna segu oli alguses liiga kuiv ning seda ei olnud võimalik töödelda. Mida rohkem on niiskust, seda efektiivsemalt radooni aatomid jäävad pooridesse, kust nad liiguvad katsekehast välja.



Joonis 14. Katsekeha K-10% mõõtekambri radoonikontsentratsioon koos suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuriga

Ülaltoodud jooniselt 14 on näha, et õhuniiskuse osa radooni kogunemisel mõõtekambris ei ole oluline. Radoonikontsentratsiooni kõige kõrgema õhuniiskuse ajal oli mõõtetulemus langevas trendis samaväärselt madalama õhuniiskusega perioodil. Kõrgenenud õhuniiskus võib viidata asjaolule, et mõõtekambrisse jäi ülemäärast õhuniiskust.

Graafikutest on näha, et kõikide katsekehade puhul on radooni kontsentratsioon ajas langeva tendentsiga ehk radooni sisaldus katsekehades väheneb järk-järgult. Ülaltoodud jooniselt on ilmekalt näha, et radooni kontsentratsiooni väärtused on suhteliselt suures ulatuses muutuvad. See on tingitud asjaolust, et radooni teke ja lagunemine on tõenäosuslik protsess, mis on ülalpool kirjeldatud.

4.1.1 Radooni pindekshalatsiooni mõõtemääramatus

AlphaGuard DF2000 tarkvara *DataView PRO* väljastatud andmetest oli näha, et mõõtmiste alguses 30 minuti jooksul oli mõõtemääramatuse protsent katsekeha K-0% puhul 1334%...27%, K-5% puhul 365%...16%, K-10 puhul vahemikus 244%...13 %, K-30 puhul vahemikus 241%...22 % ja K-40 puhul 22%...11%. Alljärgneval joonisel (Joonis 15) on välja toodud erinevate katsekehade mõõtemääramatuste vahemik mõõtmiste algusest poole tunni jooksul.



Joonis 15. Katsekehade mõõtemääramatus poole tunni jooksul mõõtmiste algusest, protsentides

Kõige suurem mõõtemääramatus oli katsekehal K-0%, kuhu ei lisatud tseoliiti. Katsekehade K-5% ja K-30% mõõtemääramatused on suhteliselt sarnased. Väike vea protsent on katsekehal K-40%. Suur veamäär ja selle kõikumine on seotud ionisatsioonikambris raadooni liikumise dünaamikaga ning selle stabiliseerumine võtab aega. Kuna tegu on suhtelise määramatusega, siis on oodatav, et sama suure absoluutse hälbe korral on jagatis seda suurem, mida väiksem on kontsentratsiooni väärtus.

Mõõtemääramatuse suur muutus mõõtmiste algstaadiumis on tingitud radooni difusiooni omapärast mõõteriista mõõtekambris (ebaühtlane).

Arvutuskäikudest ja edasistelt joonistelt on esimese poole tunni tulemused välja jäetud, sest mõõtemääramatus oli liiga suur. Peale poolt tundi mõõtmiste algusest mõõtemääramatuse protsent kahanes oluliselt. Keskmine mõõtemääramatus on toodud alljärgnevas tabelis 4.

Katsekeha markeering	Mõõtemääramatus, %
K-0%	40,5
K-5%	14,8
K-10%	11,0
K-30%	10,5
K-40%	11,9

Tabel 4. Mõõtmistulemuste keskmine mõõtemääramatus protsentides

Ülaltoodu põhjal saab järeldada, et väikeste radoonikontsentratsioonide juures võivad *AlphaGuard DF2000* mõõtmistulemused olla suure mõõtemääramatusega. Arvestades radooni pindekshalatsiooni kiiruse protsessi kaootilisusega piirdutakse antud lõputöös mõõtemääramatuse välja toomisest protsendina ning edasistes arvutustes kasutati *AlphaGuard DF2000* poolt väljastatud 10 minuti keskmisi tulemusi.

4.1.2 Radooni pindekshalatsiooni kiiruse arvutustulemused

Alljärgneval joonisel (Joonis 16) tuuakse välja katsekeha K-10% ja võrdlusmomendina M. Mljaloviga koostöös tehtud katsekehade pindekshalatsiooni kiiruse arvutustulemused (Joonis 17).



Joonis 16. Katsekeha K-10% pindekshalatsiooni kiiruse arvutustulemused



Joonis 17. Kõikide katsekehade pindekshalatsiooni kiiruse arvutustulemused

Ülaltoodud joonise 17 tulemused on graafikult keerulised järgida, seetõttu tuuakse antud töös välja ka keskmised pindekshalatsiooni kiirused keskmistatud graafikuna (Joonis 18).



Joonis 18. Pindekshalatsiooni kiiruse lihtsustatud keskmiste näitajate graafik

Ülaltoodud joonistelt 18 on näha, et katsekeha K-10% puhul on pindekshalatsiooni kiirus alguses väga suur, mis võib olla seletatav lisavee olemasoluga katsekehas.

Alljärgneval joonisel (Joonis 19) on välja toodud katsekeha K-10% mõõtmiste maksimaalsed-, keskmised- ja minimaalsed pindekshalatsiooni kiirused koos mõõtemääramatusega (11%).



Joonis 19. Katsekeha K-10% pindekshalatsiooni kiiruse miinimum-, keskmised- ja maksimumväärtused, mõõtemääramatus 11%

Aastal 2018 ilmunud uuringus toodi välja, et radooni ekshalatsioonimäär betoonist katsekehades oli vahemikus 2,55±0,03...0,461±0,008 Bq/h×m² ning see tekitas radoonikonsentratsiooni siseõhus 112±9 Bq/m³ [32].

Üllatoodud joonistelt on näha, et kõige suuremad minimaalsete ja maksimaalsete pindekshalatsiooni kiiruste väärtuste kõikumised jäävad katsekeha mõõtmiste algusesesse. Antud asjaolul on selgitatav katsekehas oleva niiskusega, mis soodustab radooni väljaviimist katsekehast. Mida kuivemaks muutus katsekeha, seda väiksemad olid kõikumised minimaalsete ja maksimaalsete väärtuste osas.

Radooni pindekshalatsiooni väärtuste kõikumised olid kõikide katsekehade puhul suured. Pindekshalatsioon on seda suurem, mida suurem oli kinnises mõõtekambris radooni kontsentratsiooni sisaldus, mis on ka loogiline, sest mida suurem on radooni kontsentratsioon, seda suurem on radooni pindekshalatsioon.

Radooni eraldumine ehitusmaterjalidest toimub sisepoorides oleva vee, õhu ja veeaurumise abil. Betooni kuivades radooni pindekshalatsioon väheneb. Tõenäoliselt toimub pindekshalatsiooni vähenemine betooni kõvenemise aluseks olevate keemiliste reaktsioonide tulemusel tekkinud poore täitvate ühendite tõttu.

Antud katsekehade juures on oluline, et kuigi kasutati katsekehade tegemisel kahte erinevate retseptidega betoonisegu, kus materjalide koostis oli suhteliselt sarnane, olid pindekshalatsiooni kiirused sarnased.

Radooni pindekshalatsiooni kiiruse väärtused arvutati teoreetilise lähenemisviisi abil ja ideaalsetes tingimustes, arvestamata seejuures, et reaalses elus on ehitis alati kontaktis keskkonnaga ja niiskuse ning radooni juurdevoog on ajas pidevad ja muutuvad. Sellegi poolest on saadud tulemused olulised, kuna mõõtmistulemused on otseselt seotud betooniga. Seejuures on oluline, et reaalsel objektil peab vähendama ehitusmaterjalide kokkupuudet niiskuse ja radooniohtliku pinnasega. Radooni pindekshalatsiooni kiirus on makroskoopiline parameeter, mis sisaldab kombineeritud teavet radooni tekke ja transpordi kohta. Antud mõõtmistest saab järeldada, et mida suurem on betoonis olev niiskus, seda suurem on radooni kontsentratsioon. Ehk kui pinnas on niiske ja betoon on sellega pidavas kontaktis, siis on võimalik hoonetes kõrgem radoonisisaldus.

Võrdlusmomendina oleks võinud teha ka erineva täitematerjaliga katsekehasid, et näha milline oleks olnud sel juhul mõõtetulemused. Antud teema on vähe uuritud ja antud suunas tuleks uurimisi jätkata.

Selle teema juures on oluline, et betooni pindekshalatsiooni kiiruseid tuleb arvestada ka ühistranspordi terminalides, kus on teed ehitatud sageli betoonist kattega.

4.2 Radooni difusiooni mõõtetulemused

Radoneye⁺² mõõdetulemused väljastab tarkvara selliselt, et need on võimalik viia *Excelisse*. Alljärgneval joonisel (Joonis 20) on toodud näide *Radoneye*⁺² väljastatud andmetest. Mõõtetulemused väljastati iga tunni aja tagant, peale radoonikontsentratsiooni esitati andmed ka temperatuuri ja õhuniiskuse osas.

10	A	U	C	U	L
1	FTLAB RAI	DON DATA FILE			l. I.
2	MODEL N	Radon Eye Plus			
3	S/N:	PE21910040058			1
4	Unit:	Bq/m3			
5	Time step	1hour			
6	Data No :	24			
7	1)	21.05.2021 17:25	3429	21,5°C	53%
8	2)	21.05.2021 18:25	3624	22,0°C	55%
9	3)	21.05.2021 19:25	3493	22,0°C	57%
10	4)	21.05.2021 20:25	3612	22,0°C	59%

Joonis 20. Radoneye⁺² väljastatud andmete näidis

Alljärgneval joonisel (Joonis 21) tuuakse välja kõikide katsekehade mõõtmistulemused ja nende käik ajas. Kõikide katsekehade mõõtmisajad tundides on esitatud lisas 4.



Joonis 21. Kõikide katsekehade radoonikontsentratsiooni käik difusioonikambris aja jooksul

Mõõtmistulemused kanti graafikule ja koostati andmete regressioonivõrrandid, mille abil määrati radooni vähenemise kiirus konkreetse mõõtmise korral.

Saadud andmete põhjal arvutati difusiooni suhteline voog proovikehasse. Katsekehade K-0 ja K-2 korral difusiooni suhteline voog oli samade väärtustega ning samade väärustega oli ka katsekehade K-1 ja K-3 korral saadud tulemused. Arvutatud tulemused on esitatud alljärgnevas tabelis 5.

Katsekeha markeering	Difusiooni suhteline voog,		
	$[1/(m^2 \times s)]$		
K-0	2,231E-06		
K-1	2,486E-05		
K-2	2,231E-06		
K-3	2,486E-05		

Tabel 5. Katsekehade difusiooni suhteline voog

Katsekeha K-1 ja K-3 täpselt samad arvutustulemused olid mõnevõrra üllatavad. Geotekstiili puhul oleks oodanud mõnevõrra paremat tulemust, kui geovõrgu puhul, sest geotekstiil on paksem ja oleks eeldanud selle suuremat võimet radooni kinni pidada.

Asfaldivõrgu kasutamisel parkimismajades on radooni difusioon samasugune nagu tavalisel betoonil, ehk sellel puudub oluline radooni tõkestav mõju. Radoon läbib antud toote ning jõuab suletud terminalide maapinnalähedasse siseõhku.

Arvutuslikud difusiooni suhtelised vood jäävad peatükis 1.7 toodud Praha Tehnikaülikoolis ning Florida uuringutes toodud näidetest suuremaks. Teadusajakirjadest ja muudest materjalidest ei olnud tuvastatav, et varasemalt oleks Eestis teostatud katsemõõtmisi läbi erinevate materjalide saamaks teada radooni difusiooni voogu. Samas tuleb arvestada asjaolu, et antud radooni difusiooni suhteline voog on leitud kõvenemata katsekeha juures.

Laboratoorselt määratud katsekehade juures tuleb silmas pidada, et mõõtmised on tehtud ideaali lähedastes tingimustes, mida ei ole võimalik saavutada ehitusel, mis on alati kokkupuutes loodusliku pinnasega ning kõrge radoonisisaldusega pinnasel on radooni juurdevoog püsiv.

Ühistranspordi terminalide ehitamisel tuleb alati silmas pidada, et aluspinnas võib olla koostiselt, kui ka struktuurilt ebahomogeenne ning võib põhjustada erineva tihedusega radoonikontsentratsiooni vooge. Kõrgendatud radooni ekshalatsiooni võib põhjustada ka uraanirikkam graniitkillustik.

Ühistranspordi terminalides, kus hoonesiseselt on rajatud sõiduteed ei ole siiani arvestatud teede alusest pinnasest tuleneva radooniga ka siis, kui hoone asub radooniohtlikul pinnasel. Ülaltoodud katsetulemused näitavad, et erinevad geotekstiilid ei ole kuigi tõhusad radooni tõkestavad materjalid ning nende mõju radoonivoo vähendamisel on ebapiisav.

5 JÄRELDUSED

Betoon on teedeehitusel igapäevaselt kasutusel olev ehitusmaterjal ja ühistranspordi terminalid on osa teedega seotud taristust.

Radooniohutu hoone projekteerimise osas on koostatud standard EVS 840, kus tuuakse välja siseõhu radooni kontsentratsiooni arvutusmetoodika, milles kajastub, et lähtuda tuleb muu hulgas välisõhuga kontaktis olevate ning pinnasega kontaktis olevate piirdetarindite radoonijuhtivusest (difusioonist) [7, lk 14]. Millised on vastavad näitajad konkreetsete materjalide kohta, selle kohta informatsiooni ei ole. Samuti ei käsitle standard EVS 840 eriotstarbelisi hooneid, milleks on ühistranspordi terminalid, mis sisaldab nii hoonete kui ka teede osa.

Antud töös teostatud mõõtmiste olulisus on seotud radooniriskiga, et minimeerida teede ehitusmaterjalidest ja nende kaudu tulenevat radooniriski, mis on seotud ohutu elukeskkonnaga.

Radooni pindekshalatsioon mõõtetulemustest selgus, kuidas radooni pindekshalatsiooni dünaamika betooni kõvenemisel muutus. Antud mõõtmistest saab järeldada, et mida suurem on betoonis olev niiskus, seda suurem on radooni kontsentratsioon. Ehk kui pinnas on niiske ja betoon on sellega pidavas kontaktis, siis võib olla igasuguses hoones kõrgem radoonisisaldus.

Geosünteetide osas oli uuritud katsekehades difusiooni suhtelise voo arvutuslik väärtus geotesktiilide (Drefon RST3 ja komposiidiga klaaskiust geotekstiili) puhul sama väärtusega. Samuti oli sama väärtusega asfaldivõrk ja ilma geotekstiilita katsekeha difusiooni voo arvutuslik väärtus ehk asfaldivõrgul puudub oluline radooni tõkestav mõju.

Erinevad geotekstiilid ei ole kuigi tõhusad radooni tõkestavad materjalid ning nende mõju radoonivoo vähendamisel on ebapiisav. Radooni difusioonivoo mõõtmisi ei ole käesoleva lõputöö autorile teadaolevalt Eestis varasemalt tehtud.

Antud töös on esitatud algsed mõõtmised, oluline on välja töötada edasine metodoloogia, et ühistranspordi terminalides oleks võimalik rakendada teede osas optimaalseid lahendusi.

Antud töö kohta materjale uurides sai selgeks, et projekteerimise aluseks olevate juhendite osa, mis käsitleb tee-ehitusmaterjalide radooni tõkestavaid omadusi, on sisuliselt puudu. Erinevatest betoonisegudest tehtud ehitustoodete pindekshalatsiooni kiiruste teema on vähe uuritud ja sellest lähtudes on vajalik antud suunas jätkata.

Antud teema juures on oluline rõhutada, et betooni pindekshalatsiooni kiiruseid tuleb arvestada ka ühistranspordi terminalides, kus rajatud teed on ehitatud sageli betoonist kattega.

Erinevate tee-ehitusmaterjalide radoonijuhtivuse (difusiooni) kohta puudub informatsioon. Lõputöö autori hinnangul peab antud teemaga tegelema riiklikul tasandil.

KOKKUVÕTE

Euroopa Liidu liikmesriik peab tagama asjakohaste meetmete kehtestamise radooni uutesse ehitistesse sisseimbumise takistamiseks. Need meetmed võivad olla riiklikes ehitusnormides ettenähtud konkreetsed nõuded. Ettevõtlus- ja infotehnoloogiaministri 28.02.2019 määruses nr 19 kehtestatakse hoone tarindi ehitusmaterjalidest siseruumidesse emiteeritavast gammakiirgusest saadava efektiivdoosi viitetase, milleks on 1 millisiivert ning siseruumide õhu radoonisisaldus (300 Bq/m³) [2], [3].

Keskkonna saastatus ohustab inimeste tervist. Keskkonnaseisund mõjutab pikaajaliselt inimeste tervist, seega on vajalik tegeleda probleemidega, et vähendada elukeskkonnas ioniseeriva kiirguse kahjulike mõjusid.

Efektiivse radoonikindla isolatsioonimaterjali valimine on keeruline, kuna puudub teave erinevate isolatsioonimaterjalide difusiooni kohta. Oluline on, et töötatakse välja ühtne metoodika, ja reglementeeritakse radoonikindlate materjalide kasutamine ning nende minimaalsed paksused sõltuvalt radooni difusioonikoefitsiendist, mis lähtuksid pinnasest ja hoonete materjalidest ning hoonete kasutusotstarbest. Oluliselt rohkem tuleb tähelepanu pöörata ka mitteeluruumidele, üldkasutatavatele ruumidele sh ühistranspordi terminalidele, arvestades et autostumist tuleb vältida ning inimesed tuleb suunata kasutama ühistransporti.

Käesoleva lõputööga püüti astuda esimene samm vastavate mõõtmiste metoodika väljatöötamiseks.

SUMMARY

The Role of Road Construction Materials in Mitigation of Radon Risk.

The subject of radon is traditionally associated with general construction. The portion of radon resulting from the building materials of indoor conditions is relatively small compared to the radon which enters indoor air from the soil. It has been disregarded that the closed terminals of public transport, where public transport and other means of transportation operate, are radon-prone areas where additional measures must be used in order to prevent the radon from entering the terminal's indoor air. Terminals are closed areas accumulated with pollutants which aerosols might help to transport radon into the lungs (similar to smoking).

The current thesis research two circumstances related to radon:

- The goal of the research related to the radon surface exhalation rate was to measure radon surface exhalation speed of concrete samples within 28 days of their fossilisation in order to determine how radon separates from concrete while drying;
- 2. The goal of the research related to geosynthetics was to investigate the relative flow of radon diffusion in to the sample.

As it became evident in the final thesis, surface exhalation speeds are the highest at the beginning of the measurements which might be explained by the extra water in the sample.

In the investigated samples of the geosynthetics part, the diffusion relative flux of geotextile Drefon RST3 and fiberglass composite geotextile were with the same value. The same value was also noted in geocomposite and in the calculated value of the diffusion without geotextile.

While researching materials about the given thesis it became evident that the instructions made for designing, addressing the characteristics of materials which prevent the radon, are partly missing in Estonia. The speed of surface exhalation rate of construction products made from different concrete mixtures has not been investigated and based on that it is necessary to continue in this direction.

The knowledge about radon conductivity (diffusion) of different product in Estonia is absent.

According to the author of this final thesis, the given subject must be dealt with at the national level.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Euroopa Liidu Teataja, "Nõukogu direktiiv 2013/59/EURATOM" 5. detsember 2013, Vaadatud: 24.03.2021. [Online]. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX%3A32013L0059.
- [2] Riigi Teataja, "Hoone ruumiõhu radoonisisalduse ja hoone tarindi ehitusmaterjalidest siseruumidesse emiteeritavast gammakiirgusest saadava efektiivdoosi viitetase", Vaadatud: 24.03.2021. [Online]. Available at: https://www.riigiteataja.ee/akt/105032019026.
- [3] Riigi Teataja, "Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase, õhu radoonisisalduse mõõtmise kord ja tööandja kohustused kõrgendatud radooniriskiga töökohtadel", Vaadatud: 24.03.2021.
 [Online]. Available at: https://www.riigiteataja.ee/akt/111032021013.
- [4] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, EVS 11665-1:2019 "Radioaktiivsuse mõõtmine keskkonnas. Õhk: radoon-222. Osa 1: radooni ja selle lühikese poolestusajaga lagunemissaaduste päritolu ning nendega seotud mõõtmismeetodid", Vaadatud: 21.03.2021.
 [Online]. Available at: https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-11665-1-2019.
- [5] O. Kabardin, "Koolifüüsika käsiraamat", Tallinn: Valgus, 1990.
- [6] Eesti Geoloogiakeskus, "Eesti pinnase radooniriski ja looduskiirguse atlas", Tallinn, 2017.
 [Online]. Available at: https://www.envir.ee/sites/default/files/eesti rn atlas 2017 kyljendatud.pdf.
- [7] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, EVS 840:2017 "Juhised radoonikaitse meetmete kasutamiseks uutes ja olemasolevates hoonetes", Vaadatud: 13.02.2021. [Online]. Available at: https://www.evs.ee/et/evs-840-2017.
- [8] Keskkonnaministeerium, "Radooni riiklik tegevuskava", Tallinn, 2019. [Online]. Available at:

https://www.envir.ee/sites/default/files/lisa_2._radooni_riiklik_tegevuskava_august2019.pdf.

- K. Jüriado, V. Petersell, A. Raukas "Radon emissions in Harju County, North Estonia" Estonian Journal of Ecology, 2011, 60, 4. [Online]. Available at: https://kirj.ee/public/Ecology/2011/issue_4/ecol-2011-4-305-320.pdf.
- [10] "WHO Handbook on Indoor Radon. A Publick Healt Perspective", 2009. [Online]. Available at: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673_eng.pdf;jsessionid=8

F6A39FF41F9E788239DD6380D8D60FF?sequence=1.

[11] Sotsiaalministeerium, "Riiklik vähistrateegia aastateks 2007 – 2015". [Online]. Available at: https://rahvatervis.ut.ee/bitstream/1/125/1/Sotsiaalministeerium2007_7.pdf.

- [12] Y. Ishimori, K. Lange, P. Martin, Y. Mayya ja M. Phaneuf "Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues", International Atomic Energy Agency Technical Report, Series no 474. [Online]. Available at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs474 webfile.pdf.
- [13] F. Pacheco-Torgal, S. Jalali and A. Fucic, "Toxicity of Building Materials", Woodhead Publishing Limited, 2012.
- [14] A. Jantsikene, R. Koch, "Radoonist ja veel ühest selle määramise meetodist", Keskkonnatehnika 6, 2009.
- [15] M. Dean, "Naturally Occurring Radioactive Materials in Construction", Integrating Radiation Protection in Reuse (COST Action Tu1301 NORM4BUILDING), Woodhead Publishing, 2017.
- [16] M. Jiranek, J. Hulka "Radon Diffusion Coefficient in Radon-proof Membranes -Determination and Applicability for the Design of Radon Barriers", International Journal on Achitectural Science. [Online]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/267935574_Radon_diffusion_coefficient_in_radonproof membranes - determination and applicability for the design of radon barriers.
- [17] V.C. Rogers, K.K. Nielson, R.B. Holt "Radon Diffusion Coefficients for Aged Residential Concretes" Health Physics, june 1995, Vol 68, number 6.
- [18] H. Pärnamägi, "Ehitusmaterjalid", Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn 2005, Vaadatud:
 23.04.2021. [Online]. Available at: https://eprints.tktk.ee/id/eprint/286.
- [19] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, EVS-EN ISO 10318-1 "Geosünteedid. Osa 1: Terminid ja määratlused".
- [20] Skepast&Puhkim OÜ, "Geosünteetika käsiraamat", Eesti Teedeklaster, juuli 2016.
- [21] M. Mljalov, "Erinevate betoonisegude radooni ekshalatsioonikiiruse uurimine", lõputöö 2021.
- [22] M. Raude, "Taaskasutatud plastmass betooni täitematerjalina", lõputöö 2021.
- [23] Eesti Füüsika Selts, "Füüsika e-õpik", Vaadatud: 15.05.2021. [Online]. Available at: https://opik.fyysika.ee/index.php/book/section/2385#/section/2385.
- [24] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, EVS-EN 480-1:2015 "Betooni ja mördi keemilised lisandid. Katsemeetodid. Osa 1: Katsetamisel kasutatav etelonbetoon ja etalonmört".
- [25] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, EVS-EN 12390-2:2019 "Kivistunud betooni katsetamine. Osa 2: Tugevuskatsete katsekehade valmistamine ja hoidmine".
- [26] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, EVS-EN 196-1 "Tsemendi katsetamine. Osa 1. Tugevuse määramine".

- [27] "AlphaGuard User Manual Types D50, D2000, DF2000", Vaadatud: 16.05.2021. [Online]. Available at: https://www.laurussystems.com/wp-content/uploads/USER-MANUAL-ALPHAGUARD-2019.pdf.
- [28] Radon FTLab RadonEye Plus2 description. [Online]. Available at: http://radonftlab.com/radon-sensor-product/radon-detector/new-rd200p-radon-detector/
- [29] Tallinna Tehnikakõrgkool, "Radooni päev 2020", ettekanne R. Koch "TTK radoonilaborist (RadonEye2+) võimalused, koolitusprogrammid".
- [30] H. Kruuvi elulugu, Vaadatud: 11.05.2021. [Online]. Available at: https://et.wikipedia.org/wiki/Hando_Kruuv.
- [31] Radioaktiivse lagunemise seadus. [Online]. Available at: https://et.wikipedia.org/wiki/Radioaktiivse lagunemise seadus.
- [32] A.F.N Perna, S.A Paschuk, J.N Corrêa, D.C Narloch, R.C Barreto, F. D Claro, V. Denyak, "Exhalation Rate of Radon-222 from Concrete and Cement Mortar", Nukleonika 2018, 63 (3):65-72.

LISAD

- Lisa 1. Drefon RST toimivusdeklaratsioon
- Lisa 2. Asfaldivõrgu toimivusdeklaratsioon
- Lisa 3. Radooni pindekshalatsiooni katsekehade mõõtmiste tabel
- Lisa 4. Radooni difusioonikatsete mõõtmiste tabel

Lisa 1. Drefon RST toimivusdeklaratsioon



1. Toote nimi 2. Toote tüüp

Toimivusdeklaratsioon DoP nº: Drefon RST 3 - 2020.03.13

Drefon RST 3

100% Polüpropüleen mittekootud geotekstiil

Kasutuskohad

	Kasutusa	la Funktsion	n		Kasutusala	Funktsioon
Tee ehitus	6	Filtratsioo Eraldamin	n Veehok	dlate ja tammide ehitus	*	Filtratsioon Eraldamine
Raudtee ehitus	3	Filtratsioo Eraldamin	n e	Kanali ehitus	*	Filtratsioon Eraldamine
Vundamendi ja tugikonstruktsiooni ehitu	s	Filtratsioo Eraldamin	n e	Tunneli ehitus		1
Drenaaz	1	Filtratsioo Eraidamin	n Tahkete	e jäätmete ladustamine	-	Filtratsioon Eraldamine
Erosioonitõke		Filtratsioo Eraldamin	n e Vedel	Vedel jäätmete holustamine		Filtratsioon
ootja		M	anifattura Fontan	a S.p.A.		
Aadress		Via Fon	toli, 10 - 36020 Vals	stagna - Italy		
		Tel: +39	0424 99896 - Fax: +	39 0424 99827		
			www.manifatturafonta	na.net		
AVCP	System 2+					
Sertifitseeritud asutus	1213					
EN 132	49:2016	EN 13250:2016	EN 13251:2016	EN 13252:2016	EN 13253:201	8
EN 132	54:2016	EN 13255 2016	EN 13256-2016	EN 13257-2016	EN 13265/201	5

Tunnustatud tehase tootmiskontrolli inspekteeriv asutus SKZ - Testing GmbH (Tunnusnumber: 1213) on sooritanud esmase inspektsiooni tootmistehasesse ning läbi pideva järelvalve ja hindamise kinnitanud sertifikaadiga tehase kvaliteedikontrollisüsteemi.4191.

Deklareeritud toimivus				Soor	Rus			Harmoniseeritud
Omadused			Nominaal väärtus		Tolerants		Standard	spetsifikatsioon
Tambetuanus		CMD	17,2	kN/m	-1,72	kN/m	EN ISO 10319	EN 13249:2016
Tombelugevus		MD	16,2	kN/m	-1,62	kN/m		
		CMD	54	%	±11	%		EN 13250:2016
Maksimaane venivus		MD	45	%	±9	%	EN 150 10319	
Staatiline läbistuskatse			2300	N	-230	N	EN ISO 12236	EN 13251:2016
Dünaamiline perforatsioonikatse			23	mm	5,0	mm	EN ISO 13433	EN 13252:2016
Püramiid torge			-	N		N	EN 14574	
Iseloomulik avasuurus			65	μm	± 19	μm	EN ISO 12956	EN 13253:2016
Vee läbilaskvus			50	I/(s m2)	-15	V(s m ²)	EN ISO 11058	
Tasapinnaline veevool	20 kPa	a, int	- *10*	m²/s	- *10*	m²/s	EN ISO 12958	EN 13254:2016
limastikukindius	Peab olema kaetud 1 kuu jooksul EN 12224				EN 13255:2016			
Okelideenimiskiedus	Kestvus on minimaalselt 100 aastat pinnases, mille pH 4 <ph<9 1343<="" en="" iso="" ja="" td=""><td>EN ISO 13438</td><td>EN 13256:2016</td></ph<9>				EN ISO 13438	EN 13256:2016		
	pinnase temperatuur <25°C met A						EN 13257:2016	
Ohtlikud ained	Vähem kul E	U Liikmesriik	ide regulats	ioonid				EN 13265:2016

Deklaratsioon

Eespool kirjeldatud toote toimivus vastab deklareeritud toimivusele. Käesolev toimivusdeklaratsioon on välja antud kooskõlas määrusega (EL) nr 305/2011 eespool nimetatud tootja ainuvastutusel.

Tootja esindaja alikirjastatud

(nim) is amet) d

Francesco Fontana - Juhataja

ene

(allkiri)

in



Valstagna, 13.03.2020 (koht ja kuupäev)

Lisa 2. Asfaldivõrgu toimivusdeklaratsioon



DoP Number / Numer Deklaracji -GB14/91953-F50-25 CPR GB14/91953

- 1. Geocomposite (Coated Fibreglass Geogrid (FG) Composite with PP Spunbond Nonwoven
- Geotextile By Glue) 50/50-25
- 2. Comp Fiberglass Geogrid 50/50-25

 Application/Zastosowanie: EN 13249:2000/A1: 2005, EN 13251: 2000/A1: 2005, EN 15381:2008 Intended use of construction of roads, highways, parking lots, airport, runway, earth works, foundations and retaining structures.

Geotextiles and geotextile-related products - Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays

Functions according EN 15381:2008 –Geotextiles and geotextile related products Reinforcement(R) + Stress Relief (STR) + Interlayer Barrier (B)

R=reinforcement = reinforce the bituminous layer, stopping and controlling the cracking process STR= stress relief = function provided by a bitumen-saturated paving fabric (non-woven or purpose built composite) which, when is properly installed between a road surface and a new asphalt overlay allows for slight differential movements two layers and thus provides stress relief, which delays or arrests crack propagation in the asphalt overlay

B= interlayer barrier = function provided by paving fabrics, which act in conjunction with a bitumen layer as a barrier to the ingress of water and thus prevent or delay the deterioration of the pavement

4. Feicheng Lianyi Engineering Plastics Co., Ltd.

The Junction of Sunniu Road and Feiliang Road, New & High-tech Development Zone, Feicheng City, Shandong Province, Post Code: 271608, P.R. China Tel. +86 0538-3536877 Fax. +86 0538-3536877

5. Feicheng Lianyi Engineering Plastics Co., Ltd.

The Junction of Sunniu Road and Feiliang Road, New & High-tech Development Zone, Feicheng City, Shandong Province, Post Code: 271608, P.R. China Tel. +86 0538-3536877 Fax. +86 0538-3536877

6. System or systems of assessment and verification of constancy of performance of the construction product as set out in Annex V 2+

/System lub systemy oceny i weryfikacji właściwości użytkowych wyrobu budowlanego określone w załączniku V:

2+

7. SGS United Kingdom Limited, Notified Body 0120, Unit 2028 Worle Parkway, Weston-super-Mare, BS22 6WA United Kingdom performed the initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control and the continuous surveillance, assessment and evaluation of factory production control under system 2+ and issued the certificate of conformity of the factory production control.

/Jednostka notyfikowana SGS United Kingdom Limited, Notified Body 0120, Unit 202B Worle Parkway, Westonsuper-Mare, BS22 6WA Wielka Brytania przeprowadziła wstępną inspekcję zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji oraz przeprowadziła ciągły monitoring i ocenę zakładowej kontroli produkcji w systemie 2+ i wydała certyfikat zgodności zakładowej kontroli produkcji.

8. Declared Performance / Deklarowane właściwości

Properties/ Właściwości	Standard / Specyfikacja techniczna	Unit /Jednostka	Value /Wartość
Tensile Strength (MD)/ Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż pasma	EN- ISO-10319	kN/m	60(-10)
Tensile Strength (CMD)/Wytrzymałość na rozciąganie wszerz pasma	EN- ISO-10319	kN/m	60(-10)
Elongation at Break (MD)/Wydłużenie przy zerwaniu wzdłuż pasma	EN- ISO-10319	%	3
Elongation at Break (CMD)/Wydłużenie przy zerwaniu wszerz pasma	EN- ISO-10319	%	3

Durability / Trwałość

In natural soils within 4 <ph<9 25="" <="" and="" for<br="" soil="" temperature="" °c="">/W gruntach naturalnych o pH większym od 4 i mniejszym od 9 oraz temperaturze gruntu poniżej 25 °C</ph<9>	Annex B /Załącznik B	Min. 100 years. / Min. 100 lat
To be covered after installation within /Po montażu przykryć w ciągu	Annex B /Załącznik B	1 Month/1 miesiąc

9. The performance of the product identified in points 1 and 2 is in conformity with the declared performance in point 9. This declaration of performance is issued under the sole responsibility of the manufacturer identified in point 4.

/ Właściwości produktu określonego w punktach 1 i 2 są w zgodzie z właściwościami zadeklarowanymi w punkcie 8. Niniejsza deklaracja została wydana na wyłączną odpowiedzialność producenta określonego w punkcie 4.

Kuupäev	Katsekeha	Mõõtmise	Mõõtmise	Sissekasvu
	markeering	algus, h	lõpp, h	aeg, h
05.03.2021	K-10%	12:56	15:26	02:30
06.03.2021	K-0%	13:06	15:15	02:09
07.03.2021	K-5%	08:06	10:20	02:14
08.03.2021	K-30%	05:56	08:11	02:15
09.03.2021	K-40%	09:23	11:55	02:32
10.03.2021	K-10%	05:57	08:43	02:46
11.03.2021	K-5%	12:55	15:37	02:42
12.03.2021	K-30%	05:25	08:28	03:03
12.03.2021	K-0%	13:50	18:39	04:49
13.03.2021	K-40%	10:40	12:56	02:16
14.03.2021	K-10%	06:58	09:49	02:51
15.03.2021	K-5%	05:50	08:01	02:11
16.03.2021	K-30%	11:25	13:38	02:13
17.03.2021	K-40%	11:52	14:09	02:17
18.03.2021	K-10%	14:45	17:23	02:38
19.03.2021	K-5%	05:40	07:53	02:13
20.03.2021	K-30%	10:20	12:35	02:15
21.03.2021	K-40%	07:37	09:52	02:15
22.03.2021	K-10%	06:40	08:56	02:16
23.03.2021	K-5%	11:54	14:08	02:14
24.03.2021	K-30%	06:40	08:52	02:12
25.03.2021	K-40%	11:46	14:21	02:35
26.03.2021	K-10%	12:42	15:26	02:44
27.03.2021	K-0%	12:05	14:19	02:14
28.03.2021	K-5%	06:45	08:55	02:10
29.03.2021	K-30%	10:17	12:30	02:13
30.03.2021	K-40%	11:00	13:13	02:13
31.03.2021	K-10%	10:50	13:29	02:39
01.04.2021	K-5%	12:24	14:32	02:08

Lisa 3. Radooni pindekshalatsiooni katsekehade mõõtmiste tabel

Kuupäev	Katsekeha	Mõõtmise	Mõõtmise	Sissekasvu
	markeering	algus, h	lõpp, h	aeg, h
02.04.2021	K-40%	06:11	08:21	02:10

Katsekeha	Katsekeha	Katsekeha	Katse
markeering	valmistamine,	mõõtmine,	mõõtmise
	kuupäev	kuupäev	kestus, h
K-0	11.05.2021	18.05.2021	21
K-1	12.05.2021	19.05.2021	24
K-2	14.05.2021	21.05.2021	24
K-3	16.05.2021	24.05.2021	52
KK	-	12.05.2021	142

Lisa 4. Radooni difusioonikatsete mõõtmiste tabel