1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

KELDRI NIISKUSKAHJUSTUSTE PÕHJUSTE VÄLJASELGITAMINE PINNASEUURINGUTE ABIL TABIVERE VALLAS ASUVA ELAMU NÄITEL

THE STUDY OF THE REASONS OF THE BASEMENT MOISTURE DAMAGE BY GROUND INVESTIGATION ON THE EXAMPLE OF A DWELLING LOCATED IN TABIVERE RURAL MUNICIPALITY

Magistritöö

tööstus- ja tsiviilehituse erialal

Üliõpilane: **Kaarel Grünberg**

Juhendaja: **Mait Mets**

Tartu, 2015

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.
Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite
tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt
pärinevad andmed on viidatud.

…….. (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: EAEI105343

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

…… (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: …….. (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: …….. (allkiri)

ABSTRACT

Grünberg, K. The study of the reasons of the basement moisture damage by ground investigation on the example of a dwelling located in Tabivere rural municipality. Master's Thesis. 2 volumes. Tartu 2015. 94 pages. 21 tables. 29 figures. 14 drawings. The dissertation is written in the Estonian language.

Ground investigation is an essential part of construction work and a well planned geotechnical investigation can save money and time. The consecuences of a poorly done ground investigation can be deformations or water damage in buildings.

There were no former ground investigations done before building the dwelling, which is analysed in this dissertation. As a result , the basement of the house is under constant water damage.

The aim of this dissertation is to determine the reasons of moisture damage in the basement of a dwelling located in Tabivere rural municipality by ground investigation and to give solutions to the problems together with an estimated cost of construction.

The author of this Master's Thesis found three different solutions to the moisture damage with hydroisolation materials offered by OÜ Langeproon Inseneriehitus and groundwater lowering.

Keywords: ground investigation, soil analysis, moisture damage, hydroisolation, construction cost

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID 5

SISSEJUHATUS 6

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE 8

1.1 Eesti geoloogiline ehitus 8

1.2 Pinnasetingimuste uurimine 10

1.3 Pinnase liigitamine geotehnikas 10

1.4 Pinnase terastikuline koostis ehk lõimis 11

1.4.1 Pinnase visuaalne hindamine 11

1.4.2 Pinnase liigitus terastikulise koostise alusel 13

1.5 Pinnase füüsikaliste omaduste määramine 17

1.6 Pinnase liigitus plastsusomaduste järgi 21

1.7 Vee mõju pinnasele 26

1.7.1 Veejuhtivus 27

1.7.2 Kapillaarsus pinnastes 31

1.7.3 Vee külmumine pinnases 32

1.7.4 Ehitisele mõjuvad veesurved 32

1.8 Pinnasevee alandamine drenaažitorudega 33

1.9 Keldrikorruste hüdroisoleerimine 34

1.10 Hüdroisolatsioonimaterjalide üldtutvustus 36

1.10.1 Külmpaigaldatavad isekleepuvad rullmembraanid 36

1.10.2 Saneerkrohvid ja võõbatavad hüdroisolatsioonimaterjalid 37

1.10.3 Betooni hüdroisolatsioon ja kaitse kristallatsiooni baasil 39

1.10.4 Vundamendiseinte drenaaži- ja kaitsematid 39

1.10.5 Injektsioonimaterjalid kapillaarniiskuse tõkestamiseks betoonis 40

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED 41

3. MATERJALID JA METOODIKA 42

3.1 Uurimustöös käsitletava elamu kirjeldus 42
3.2 Geotehnilised uuringud 48
3.3 Keldri niiskuskahjustuste lahendused 48
4. PINNASEUURINGUTE TULEMUSED JA ANALÜÜS 49
4.1 Puuraukude puurimine 49
4.2 Laborikatsete tulemused 51
4.2.1 Mahumass 51
4.2.2 Looduslike pinnaste veesisaldus ja arvutuste teel leitavad näitarvud 51
4.2.3 Täitepinnase sõelanalüüsid 53
4.2.4 Loodusliku pinnase liigitus plastsusomaduste järgi 56
4.2.5 Pinnaste filtratsiooniomadused 61
4.3 Pinnase- ja jõevee tasemed 61
4.4 Olemasolev drenaaž 63
4.5 Pinnaseuuringute järeldused 65
5. NIISKUSKAHJUSTUSTE LAHENDUSED 66
5.1 Vundamendi hüdroisoleerimine 66
5.1.1 Variant A. Vundamendi vertikaalne hüdroisoleerimine 66
5.1.2 Variant B. Keldri vertikaalne ja horisontaalne hüdroisoleerimine 67
5.1.3 Variant C. Keldri seespoolne hüdroisoleerimine kristallatsiooni baasil 68
5.2 Täiendava drenaažisüsteemi rajamine 69
5.3 Tööde hinnanguline maksumus 69
KOKKUVÕTE 73
KIRJANDUSE LOETELU 75
LISA 1. HOONE PLAANID JA LÕIKED 78
LISA 2. GEOTEHNILISED JOONISED 84
LISA 3. NIISKUSKAHJUSTUSTE LAHENDUSJOONISED 89

TÄHISED JA LÜHENDID

γ –	mahukaal, kN/m^3
γ_d –	kuivmahukaal, kN/m^3
γ_s –	terade mahukaal, kN/m^3
$\boldsymbol{\eta}$ –	vee viskoossus, mPa*s
ρ –	pinnase mahumass, g/cm^3
ρ_d –	kuivmahumass, g/cm^3
ρ_s –	pinnase erimass, g/cm^3
ρ_s –	pinnaseosakeste tihedus, g/cm^3
ρ_w –	vee tihedus, g/cm^3
C_u –	lõimisetegur
d –	pinnaseosakeste suurus, mm
d_{10} –	efektiivdiameeter, 10%-le fraktsioonide summast vastav tera mõõt, mm
d_{60} –	60%-le fraktsioonide summast vastav tera mõõt, mm
e –	poorsustegur
e_{max} –	pinnase poorsustegur maksimaalselt kohevas olekus
e_{min} –	pinnase poorsustegur maksimaalselt tihedas olekus
g –	raskuskiirendus, m/s^2
H_R –	aeromeetrilugemile R vastav settimisteekonna pikkus, cm
I_d –	tihedusaste Terzaghi järgi
I_L –	voolavusarv
I_p –	plastsusarv
k –	filtratsioonimoodul, m/ööpäevas
m_t –	pinnaseterade mass, g
m_w –	vee mass, g
n –	poorsus
S_r –	küllastusaste
T_0 –	ajavahemik settimise algusest kuni lugemi R hetkeni, s
v –	filtratsioonikiirus, m/ööpäevas
V_p –	pooride maht, cm^3
V_t –	pinnaseterade maht, cm^3
w –	pinnase veesisaldus, %
w_L –	voolavuspiir, %
w_p –	plastsuspiir, %

SISSEJUHATUS

Ehitusgeoloogilised uuringud on oluline osa ehitusest ning korraliku pinnaseuuringuga säästab nii ehituse aega kui ka raha. Geotehniliste uuringute vajalikkus on sätestatud seadusega. Põhjalikud pinnaseuuringud on olulised eelkõige keerulistesse oludesse rajatavate ja suuremate ehitiste projekteerimisel, kuid nende vajalikkust ei või alahinnata ka näiteks väiksemate eramajade puhul.

Paraku ei panda ehitiste rajamisel geotehnilistele uuringutele tihtipeale suurt rõhku või jäätakse need sootuks tegemata, lootes niimoodi raha säästa. Selline tegutsemine võib aga hiljem suuri probleeme tekitada, kuna ebapiisavast pinnaseuuringust tekkivaid vigu on hiljem väga keerukas ja tihti ka võimatu parandada. Ehitusgeoloogiliste uuringuteta võib hoone rajamisel tulemuseks olla ebapiisava kandevõimega vundament, mis põhjustab ehitisel ülemääraseid deformatsioone. Samuti võib tekkida olukord, kus vundament dimensioneeritakse hoopis üle ning seoses sellega tuleb ka ehitusmaksumus suurem. Ehitusgeoloogiliselt ebasoodsasse kohta hoone projekteerimisel võib kõikide tingimustega mittearvestamise tulemuseks olla liigniiskus konstruktsioonides, üleujutatus või ka liigne deformeerumine.

Magistritöös käsitletav hoone on ehitatud 1970ndatel aastatel küllaltki keeruliste pinnasetingimustega Vooremaa alale. Paraku ei pööratud ehitamise ajal geotehnilistele uuringutele tähelepanu ning tulemuseks on keldrikorruse liigniiskus ning üleujutatus, mis põhjustab hoone elanikele pidavalt probleeme.

Magistritöö peamine eesmärk on pinnaseuuringute abil analüüsida uuritava hoone keldri niiskuskahjustuste põhjuseid tuginedes üldtunnustatud pinnaseliigituse normidele ning saadud tulemuste alusel pakkuda välja probleemi lahendused koos vajalike tööde maksumusega. Lahenduste osas on pakutud välja hüdroisoleerimistööd tuginedes ettevõtte OÜ Langeproon Inseneriehitus poolt pakutatavatele ehitusmaterjalidele.

Käesolev magistritöö koosneb viiest peatükist ning kolmest lisast. Esimeses peatükis tutvustatakse pinnaseuuringute ning -liigituse üldtunnustatud põhimõtteid ning antakse ülevaade keldrikorruste hüdroisoleerimisest. Teises peatükis selgitatakse täpsemalt töö eesmärk ning püstitatakse töös lahendatavad ülesanded. Kolmandas osas antakse ülevaade uuritava hoone kohta ning kirjeldatakse uuringute ja lahenduste metoodikat. Uurimustöö neljandas peatükis on välja toodud tehtud pinnaseuuringute tegevuskäik ja andmed ning

viiendas osas on saadud tulemuste alusel esitatud keldri niiskuskahjustuste lahendused koos tööde maksumustega. Lisas 1 on esitatud uuritava hoone originaalprojektist pärit korruste plaanid ja lõiked. Lisas 2 on pinnaseuuringute alusel koostatud asendiplaan, geoloogiline profiil ning olemasoleva drenaažisüsteemi skeem. Lisas 3 on esitatud niiskuskahjustuste lahendusjoonised, mis hõlmavad uue drenaažisüsteemi paigaldamist ning keldrikorruse hüdroisoleerimist.

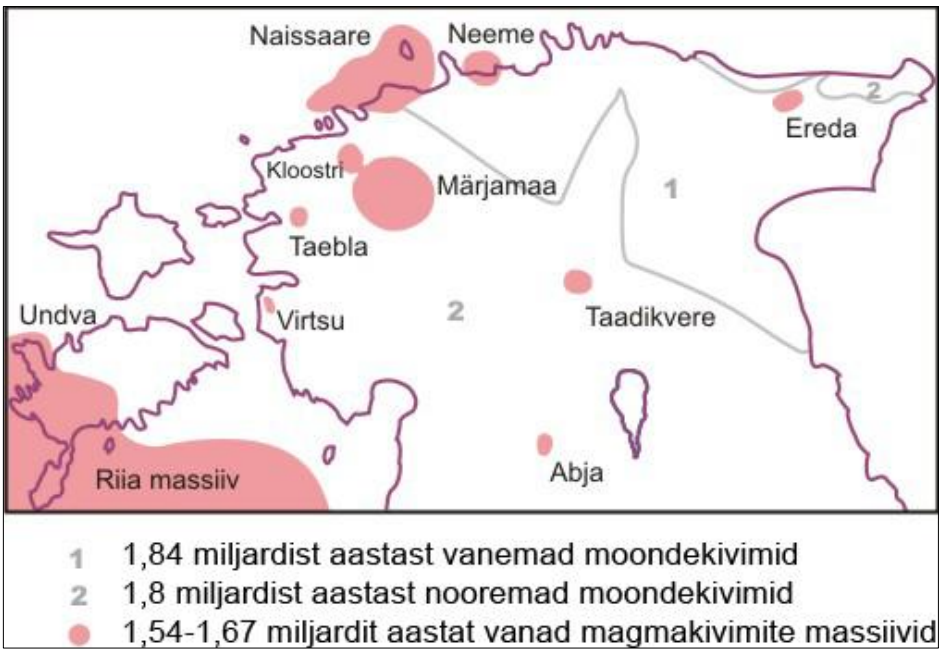
Töö autor soovib koostöö eest tänada ettevõtteid OÜ Langeproon Inseneriehitus ja OÜ Alus-Geoloogia ning töö juhendajat Mait Metsa.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Eesti geoloogiline ehitus

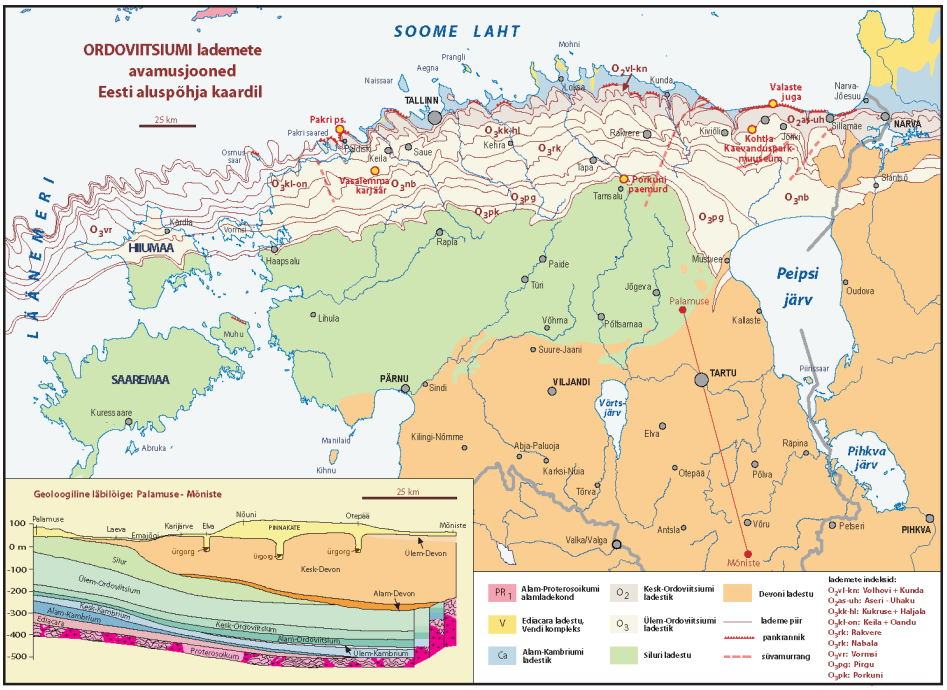
Eesti paikneb Ida-Euroopa kraatoni Vene lava loodeosas Balti kilbi lõunanõlval 44-51 km paksuse maakoore alal. Aluskord Eesti alal ei paljandu ning aluspõhi on pinnakatteta kohati ainult alvaritel. Siinset aluspõhja katab kvatenaari ladestu erineva paksusega setteist koosnev pinnakate. (Eesti Vabariik. Maa. Rahvas. Kultuur, 2013, lk. 212)

Eesti aluskorra 1,9-1,8 miljardit aastat tagasi moondunud ja kurrutunud kivimid (gneisid ja migmatiidid) on tekkinud Svekofennia ookeanis. Lisaks sellele leidub Eestis veel 1,67-1,54 miljardit aastat tagasi eksisteerinud mandririfti vulkaanide aluseid magmakoldeid ehk rabakivide massiive (Joonis 1.1). Kurrutus lõppes Eesti aladel umbes 600 miljonit aastat tagasi. (*Ibid.*)



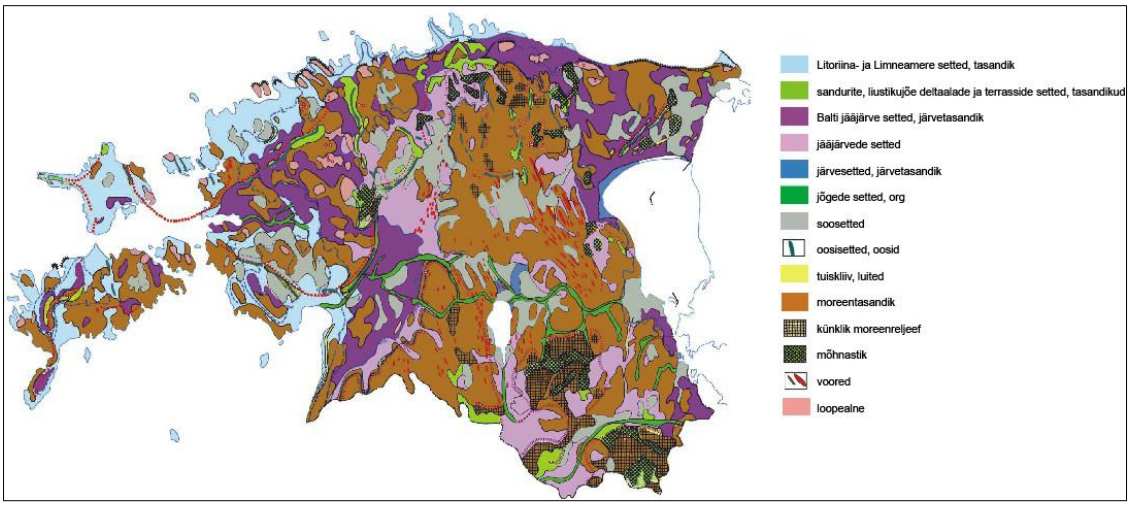
Joonis 1.1. Eesti aluskord (Aluskord ..., 2015)

Aluskorral lasuvad põhiliselt madalmeres settinud ja umbes 570-360 miljonit aastat tagasi kivistunud pealiskorra ediacara, kambriumi, ordoviitsiumi, siluri ja devoni ladestu kivimid (Joonis 1.2). Ediacara ja kambriumi alumise osa kivimid Eesti alal ei paljandu, kambriumi liivakivi ja savi ning ordoviitsiumi liivakivi, savikilda ja lubjakivi kihid paljanduvad Põhja-Eesti pankrannikul ja paemurdudes. Siluri lubjakivid paljanduvad Kesk- Eestis ja Lääne-Eesti saartel ning devoni liivakivid Lõuna-Eesti ürgorge järgivates jõeorgudes. (*Ibid.*)



Joonis 1.2. Eesti aluskord (Ordoviitsium ..., 2015)

Eesti pinnakatte moodustavad kvaternaari ajastu setted, mis koosnevad peamiselt purdsetteist (liiv, kruus, moreen), kemogeneeseist (järvelubi) ja biogeenseist (turvas) setteist (Joonis 1.3). Kvaternaari setete osas on valdavalt Pleistotseeni ehk jääaja setted. Holotseeni ehk pärastjääaja setted katavad siinseid Pleistotseeni setteid vaid katkendlikult ja õhukese kihina. (Pinnakate ..., 2015)



Joonis 1.3. Eesti pinnakatte ja pinnavormide kaart (Pinnakate ..., 2015)

1.2 Pinnasetingimuste uurimine

Objekti pinnasetingimusi uuritakse eelkõige selleks, et saada hoonete ja vundamentide projekteerimiseks või parandustöödeks ja ehitusmeetodite valikuks vajalikke alusandmeid. Selleks on vaja teha mitmesuguseid uurimistöid (Klein *et al.*, 1970, lk. 62):

1) Koostada objekti ümbruse topograafiline plaan.

2) Koguda andmeid naabruses olevate ehitiste või olemasoleva hoone seisundi kohta, mille abil saab teada, millistele probleemidele rohkem tähelepanu pöörata.

3) Uurida ehitusplatsi pinnasetingimusi, milleks tuleks esmalt tutvuda lähiümbruses tehtud varasemate ehitusgeoloogiliste uuringutega ning seejärel korraldada geoloogilised uuringud ehitusplatsil endal. Pinnasekihtide väliuurimine tehakse surfimise või puurimise teel.

4) Uurida hüdrogeoloogilisi andmeid – pinnasvete režiimi ning eriti kõrgeimat ja madalaimat veeseisu. Need selgitatakse üheaegselt pinnasetingimuste uurimisega.

5) Teostada pinnase laboratoorsed analüüsid ning määrata pinnase füüsikalised näitajad.

1.3 Pinnase liigitamine geotehnikas

Pinnase liigitus on vajalik selleks, et ühesuguste omadustega pinnaseid grupeerida. Pinnasteks nimetatakse kõiki looduslikke kivimeid ja setteid ning neid liigitatakse koostise, tekke ja omaduste järgi. Ehitusgeoloogilistel uurimustöödel liigitatakse pinnas erinevatesse rühmadesse lõimise ehk terasuuruse ja plastsuspiiride järgi. Lisaks on vaja eristada pinnase erinevaid geotehnilisi omadusi nagu tugevus, kokkusurutavus, filtratsiooniomadused jm. (Lemberg, 2012)

Eestis anti 1995. aastal välja geotehnilise projekteerimise norm EPN 7.1. Enne seda kasutati pinnase liigitamiseks NSV Liidu standardil (GOST) põhinevat juhendit "Ajutised juhised ehitusgeoloogilisteks uurimisteks Eesti NSV-s". Nendes kahes dokumendis olevad pinnaste nimetused ei ole täpselt kattuvad ning vanemate uuringutega kokkupuutudes tuleb sellega arvestada. Seoses astumisega Euroopa Liitu võeti normide asemel kasutusele standardid ning käesoleval hetkel on pinnaseliigituse aluseks Eurokoodeks 7. (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk. 212)

1.4 Pinnase terastikuline koostis ehk lõimis

Looduslikud pinnased koosnevad väga erineva suurusega osakestest, mille osakaalust tulenevalt pinnas liigitatakse ning antakse sellele nimetus. Pinnase terastikuline koostis mõjutab tema omadusi. Pinnaseid liigitatakse laiemalt jämeda- (kruus ja liiv) ning peeneteralisteks (möll ja savi). Nende kahe pinnaseliigi käitumine erineb üksteisest oluliselt. Põhilised erinevused on toodud tabelis 1.1. (Jaaniso, 2012, lk.14)

Tabel 1.1. Jäme- ja peeneteralise pinnase põhilised erinevused (Jaaniso, 2012)

Omadus	**Jämedateraline pinnas**	**Peeneteraline pinnas**
Tugevus	sõltub normaalpingest purunemispinnal	ei sõltu normaalpingest
Kokkusurutavus	suhteliselt vähene	erinev väga laiades piirides, võib olla väga suur
Veejuhtivus	hästi juhtiv	halvasti juhtiv
Tihendatavus staatilise koormusega	halb	tihenemine võimalik
Tihendatavus dünaamilise koormusega	hea	halb, vedeldumisel suur
Tihenemise kiirus staatilise koormuse puhul	suur, enamasti toimub koos koormuse rakendamisega	väike, võib kesta aastaid pärast koormuse rakendamist

1.4.1 Pinnase visuaalne hindamine

Esialgne hinnang pinnasele antakse puuraukude puurimisel ja puuraukudest pinnaseproovide võtmisel visuaalsel vaatlusel, millest lähtuvalt valitakse edasised uurimismeetodid. Põhiliselt määratakse jämeda- ning peeneteralised pinnased selle järgi, kas individuaalsed pinnaseterad on silmaga nähtavad või mitte. Seetõttu on adekvaatne visuaalse vaatluse põhjal eristada terasuuruse järgi kruus- ning liivpinnaseid, kuid kuna savi- ning möllpinnaste terad on niivõrd väikesed, siis nende eristamiseks ei saa sellist meetodit kasutada. Küll aga võimaldab seda rullimiskatse. Pinnase esialgne määratlemine on lihtsam, kui mõista pinnasetüüpide omavahelisi erinevusi. (Venkatramaiah, 2006, lk. 92)

Kruus- ja liivpinnase eristamine

Visuaalsel meetodil on kõige lihtsam eristada kruus- ja liivpinnaseid, sest nende terade suurus on silmaga nähtav. Pinnase liigitus fraktsioonideks standardi EVS 1997-1:2003 järgi on toodud tabelis 1.2 ja selle alusel on kruusaterad määratletud suurusega 2-60 mm ning liivaterad suurusega 0,06-2 mm. Andes pinnaseproovile esialgset määratlust tuleb silmaga hinnata, millise suurusega pinnaosakesed on ülekaalus. (Venkatramaiah, 2006, lk. 92)

Liiv- ja möllpinnase eristamine

Möll võib värvuselt olla veidi tumedam, kuid liiva peenterasid ning mölliosakesi ei ole silmaga kuigi lihtne eristada. Neid kahte pinnaseliiki saab objektil eristada nõndanimetatud dispersiooni testiga, kus lusikatäis pinnaseproovi valatakse veega täidetud purki. Liivaterad settivad purgipõhja paari minuti jooksul, mölliosakeste settimine võib kesta aga 15 minutit kuni üks tund. (Venkatramaiah, 2006, lk. 93)

Möll- ja savipinnase eristamine

Möll- ning savipinnaste eristamine on peamiselt võimalik vaid laboratoorsete katsetega. Umbkaudse hinnangu andmiseks sobivad aga järgmised testid (Venkatramaiah, 2006, lk. 93):

1) Raputamise test. Tükike pinnaseproovi asetatakse peopesale ning seejärel raputatakse seda. Kui tegemist on möllpinnasega, siis raputamise tagajärjel tuleb vesi pinnase peale ning annab sellele läike. Kui seejärel pinnast mudida, siis niiskus läheb tagasi pinnasesse ja läige kaob. Savipinnase puhul vesi ei saa nii vabalt eralduda ja seetõttu raputamise tagajärjel proovile läiget ei tule.

2) Tugevuse test. Pinnasest vormitakse väike kuubik ning seejärel see kuivatakse. Pärast kuivatamist proovitakse proovikeha käte vahel lõhkuda. Kui proov murdub kergesti, siis on tegemist mölliga. Savi puhul on proovikeha lõhkumine raskem. Samuti on tegemist möllpinasega, kui kuivatatud proovikeha pealt saab lahtisi pinnaosakesi ära pühkida. Kui niisket pinnast näppude vahel suruda, siis savipinnas kleepub, kuivab aeglaselt ning seda pole nii lihtne näppudelt pühkida.

3) Rullimise test. Võetakse tükike niisket pinnast ning hakatakse seda käte vahel rullima. Kui tegemist on savi- või möllpinnasega, siis on proovi võimalik rullida pikaks nööriks.

4) Dispersiooni test. Lusikatäis pinnast kallatakse veega täidetud purki. Kui on tegemist mölliga, siis pinnaosakesed settivad purgipõhja 15 minuti kuni ühe tunni jooksul. Saviosakeste settimine võib kesta aga üle päeva.

1.4.2 Pinnase liigitus terastikulise koostise alusel

Geotehnikas on pinnase klassifitseerimise aluseks lõimis, mis määratakse sõel- või setteanalüüsiga. Pinnase liigitus fraktsioonideks määratleti 1977. aastal rahvusvahelisel geotehnika konverentsil (ICSMFE) Tokyos ning enamik riike on selle omaks võtnud. (Lemberg, 2012) Pinnaseosakeste liigitus fraktsioonideks on toodud tabelis 1.2.

Tabel 1.2. Pinnaseosakeste liigitus fraktsioonideks suuruse järgi (EVS 1997-1:2003)

Fraktsioon	**Alamfraktsioon**	**Osakeste suurus d (mm)**
Rahnud	-	>200
Veerised	-	60-200
Kruusaterad	Kruusa jämeterad	20-60
	Kruusa keskterad	6-20
	Kruusa peenterad	2-6
Liivaterad	Liiva jämeterad	0,6-2
	Liiva keskterad	0,2-0,6
	Liiva peenterad	0,06-0,2
Mölliosakesed	Mölli jämeosakesed	0,02-0,06
	Mölli keskosakesed	0,006-0,02
	Mölli peenosakesed	0,002-0,006
Saueosakesed	-	<0,002

Eesti projekteerimisnormide alusel jaotatakse pinnased põhilise terasuuruse alusel kahte rühma – jämedateralised ja peeneteralised pinnased, mida eristatakse alla 0,06 mm suuruste pinnaosakeste sisalduse järgi. Mõlemas rühmas on kaks alamrühma. Jämepinnased jagunevad kruuspinnasteks ja liivpinnasteks, peenpinnased jagunevad vastavalt saueosakeste sisalduse järgi möllpinnasteks ning savipinnasteks. (Lemberg, 2012) Pinnaseliigitus Eesti projekteerimisnormide alusel on toodud tabelis 1.3.

Tabel 1.3. Pinnaseliigitus EVS 1997-1:2003 järgi

Pinnase-rühm	**Pinnaseliik**	**Pinnase alamliik**	**Peenosise (<0,06 mm) sisaldus %**	**Saueosakeste suhteline sisaldus peenosises (<0,002mm/ <0,06mm) %**
Jämedateraline pinnas (jämepinnas): teri suurusega < 0,06 mm ≤ 40 %	Kruuspinnas: teri suurusega 2-60 mm > 50 %	Kruus	<5	
		Möllikas kruus	5-15	<20
		Savikas kruus		≥20
		Mölline kruus	>15-40	<20
		Savine kruus		≥20
	Liivpinnas: teri suurusega 2-60 mm < 50 %	Liiv	<5	
		Möllikas liiv	5-15	<20
		Savikas liiv		≥20
		Mölline liiv	>15-40	<20
		Savine liiv		≥20
Peeneteraline pinnas (peenpinnas): teri suurusega <0,06 mm > 40 %	Möllpinnas: teri suurusega <0,002 mm/ <0,06 mm ≤ 20 %	Möll	>40	<10
		Savimöll		10-20
	Savipinnas: teri suurusega <0,002 mm/ <0,06 mm > 20 %	Möllsavi		>20-40
		Savi		>40

Märkused:

1. Alamliigi põhinimetusete "kruus", "liiv" ja "möll" ette võib lisada enamesineva alamfraktsiooni nimetuse (jäme-, kesk-, peen-), nt peenliiv, jämeliiv.

2. Kui see ei kajastu juba pinnase nimetuses, võib kruusa- või liivafraktsiooni sisalduse alusel kanda pinnasele lisanimetuse: kui seda on 10 kuni 25%, lisatakse täiendsõna "kruusaga" või "liivaga" ning kui 25 kuni 50%, siis "rohke kruusaga" või "rohke liivaga" (nt "kruusaga mölline peenliiv", "rohke liivaga savimöll".

3. Jämedateralist pinnast võib jaotada lõimiseteguri $C_u=d_{60}/d_{10}$ ja jaotusteguri $C_c=d_{30}^2/(d_{10}*d_{30})$ järgi: pinnas on ühtlane siis, kui $C_u<6$ ja $1<C_c<3$ ning ebaühtlane, kui $C_u\geq 6$ ja $1>C_c>3$.

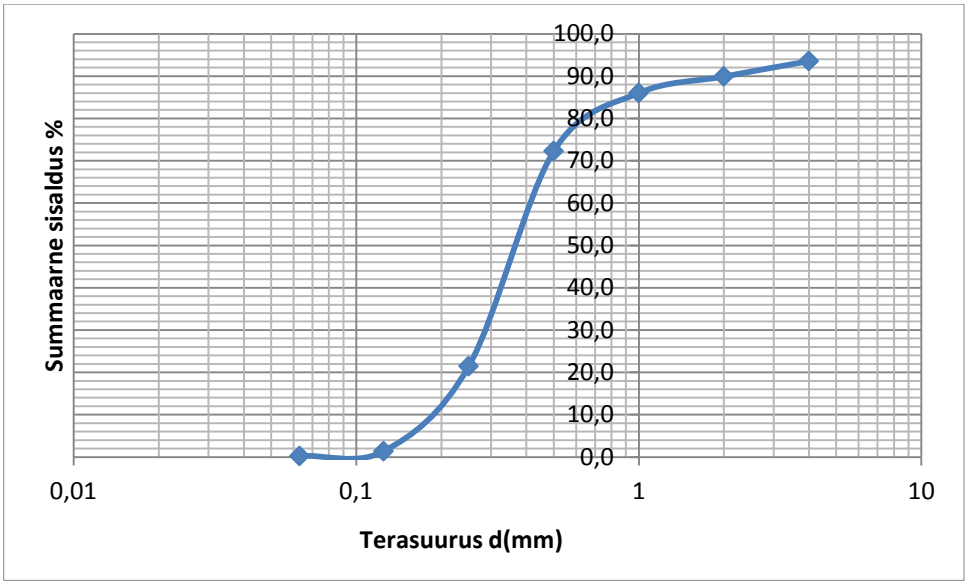
Sõelanalüüs

Lõimise määramiseks sõelutakse 200-2000 grammi eelnevalt kaalutud ning õhkkuiva pinnast läbi sõeltekomplekti. Mida jämedamad on pinnase osakesed, seda suurem peab olema sõelutava pinnase kogus. Jämedamate pinnaosakeste (d>0,06 mm) hulk määratakse sõelanalüüsi teel. Peenemate osakeste (d<0,06 mm) hulga määramisel hinnatakse terade läbimõõdu sõltuvust nende langemiskiirusega vees pipettanalüüsil või aeromeetriga. (Jaaniso, 2012, lk. 15)

Sõelanalüüsi teostamiseks hõõrutakse esmalt pinnast portselanuhmris nuiaga, millel on kummist ots, kuni on eraldunud kokkukleepunud terad. Seejärel pannakse kokku sõelte komplekt nii, et sõelte aukude suurus väheneb ülalt alla ja kõige alumise sõela alla pannakse põhjanõu. Eelnevalt ettevalmistatud pinnaseproov kallatakse ülemisele sõelale ning kaetakse kaanega. Sõelumine toimub kogu sõelakomplekti raputamise teel 10-15 minuti vältel. Jääke sõelal sõelutakse lisaks veel valge paberlehe kohal, kuni lakkab pinnaosakeste tulek läbi sõela. Paberlehele langenud terad valatakse järgmisele, peenemate aukudega sõelale, kus jätkub nende sõelumine koos seal olevate teradega. (Oll, 1977, lk. 10)

Jäägid sõeltel ja pinnas kõige peenema sõela all kaalutakse ning seejärel võrreldakse erinevate fraktsioonide masside summat sõelumiseks võetud esialgse pinnaseproovi massiga ning sõelumiskaod jaotatakse fraktsioonide vahel proportsionaalselt nende massiga. (*Ibid.*)

Saadud tulemused kantakse graafikule, mille horisontaalteljel on tera läbimõõdu logaritm ning vertikaalteljel antud läbimõõdust väiksemate terade massi ja kogumassi suhe protsentides. Ühendades graafikule kantud punktid saadakse lõimisekõver (Joonis 1.4). (Jaaniso, 2012, lk. 16)



Joonis 1.4. Lõimisekõver

Lõimisekõveralt (Joonis 1.4) saab hinnata uuritava pinnase terade suurust ja jaotust. Graafiku horisontaalne osa viitab vastava läbimõõduga fraktsiooni puudumisele pinnases, vertikaalne osa viitab aga sellise läbimõõduga fraktsiooni suuremale hulgale. Mida pikem on graafik, seda ebaühtlasema koostisega on pinnas. Pinnase ebaühtluse täpsemaks iseloomustamiseks määratakse joonisel kaks iseloomulikku diameetrit d_{60} ja d_{10}. Antud diameetrite suhet nimetatakse lõimiseteguriks (*Ibid.*):

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \qquad (1.1)$$

Jämedateralist pinnast võib jaotada lõimiseteguri C_u järgi ühtlaseks, kui C_u<1 ja ebaühtlaseks, kui $C_u \geq 6$. (EVS 1997-1:2003)

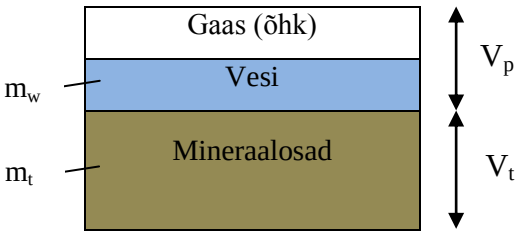
Setteanalüüs

Setteanalüüs on sisuliselt sõelanalüüsi jätk ja seda tehakse kas aeromeetriga või pipettanalüüsi meetodil. Peenemate kui 0,06 mm suuruste pinnaseosakeste suurus määratakse setteanalüüsil nende langemiskiiruse järgi destilleeritud vees. Analüüsi põhimõtteks on see, et mida suurem on osakene, seda suurem on selle langemiskiirus vedelikus. Aeromeetri kasutamine lõimise määramiseks baseerub Stokes'i valemile 1.2, mis annab seose terasuuruse, langemiskiiruse ja settimist mõjutavate muude tegurite vahel. (Jaaniso, 2012, lk. 12)

$$d = \sqrt{\frac{18\eta H_R}{g(\rho_s - \rho_w)T_0}} \qquad (1.2)$$

1.5 Pinnase füüsikaliste omaduste määramine

Pinnased koosnevad tahketest pinnaosakestest ja nende vahelistest pooridest. Geotehnikas mõistetakse pooride all vee ning gaasi mahtu pinnases. Kuna gaasi mass on võrreldes terade ning vee massiga tühine, siis seda arvutustes ei arvestata. Pinnase füüsikaliste omaduste ehk teisisõnu ka kaalulis-mahulis suhete all mõistetakse selliseid pinnase omadusi nagu mahumass, poorsus, veesisaldus, küllastusaste jm. Eeltoodud omadusi defineeritakse joonisel 1.5 toodud suuruste kaudu, kus V_p tähistab pooride mahtu, V_t terade mahtu, m_w vee massi ning m_t terade massi. (Cernica, 1995, lk. 7)



Joonis 1.5. Pinnase koostisosad ning nende mahulis- kaalulis suhted (Oll, 1977, lk. 33)

Mahumass

Mahumass on pinnase mass mahuühikus ning see leitakse seosega (Jaaniso, 2012, lk. 19):

$$\rho = \frac{m_t + m_w}{V_t + V_p} \qquad (1.3)$$

Mahumass tuleb määrata võimalikult täpselt, enamasti tehakse seda lõikerõnga meetodil. Lõikerõngas, milleks on lahtiste otstega silinder, surutakse üleni pinnasesse. Lõikerõnga pinnasesse süvistamisel ei tohi kasutada lööke ega vibreerimist, et vältida pinnase tihenemist. Enne rõnga väljavõtmist toestatakse selles asuv pinnas altpoolt plaadiga ning seejärel tasandatakse rõnga ülemine pind sirge noaga. Niiskuskao vältimiseks kaetakse rõnga ülemine pool samuti plaadiga. Rõngast väljaspool asuv pinnas pühitakse ära ning seejärel kaalutakse lõikerõngas koos plaatidega. Lahutades saadud kaalust rõnga ning plaatide kaalu, saadakse rõngas oleva pinnase mass. Rõnga mahu kaudu saadakse teada

pinnase maht ja seejärel on võimalik arvutada mahumass valemiga 1.3. (Jaaniso, 2012, lk. 20)

Mahumassi määramisel kasutatav lõikerõngas peab olema võimalikult õhukueseseinaline, otsast teritatud servaga ning piisavalt suure läbimõõduga, et vältida pinnase tihenemist proovi võtmisel. Rõnga läbimõõt peab olema seda suurem, mida jämedamad on pinnaseosakesed. Puhaste savide korral piisab 40 mm läbimõõduga rõngast, liivadel on vajalik läbimõõt 100 mm ning kruusateri sisaldaval moreenil vähemalt 300 mm. (*Ibid.*)

Erimass

Erimass on pinnase osakeste mahumass mahuühikus ning see avaldub seosega (Jaaniso, 2012, lk. 20):

$$\rho_s = \frac{m_t}{V_t} \qquad (1.4)$$

Kuna pinnased koosnevad suhteliselt vähestest mineraalidest (kvartsist ja savimineraalidest), siis nende mineraalide mahumass ei erine oluliselt. Savimineraalidel on see 2700-2850 kg/m^3, kvartsil 2660-2670 kg/m^3. Eeldusel, et pinnaseliik on teada, saab erimassi piisava täpsusega leida otsese katselise määranguta. Keskmised osakeste mahumasside väärtused on esitatud tabelis 1.4. Kui pinnastes leidub teisi mineraale või orgaanilist ainet, tuleb erimass määrata katseliselt. (*Ibid.*)

Tabel 1.4. Pinnase osakeste mahumassi keskmised suurused (Jaaniso, 2012)

Pinnase liik	**Mahumass kg/m^3**
Liiv	2670
Savimöll	2700
Möllsavi	2720
Savi	2750

Pinnase veesisaldus

Pinnase veesisalduse all mõistetakse pinnase poorides esineva veemassi suhet pinnase kuivmassi, väljendatuna protsentides või suhtarvuna. Pinnase veesisaldusest sõltuvad savipinnase mehaanilised omadused ning see avaldub valemiga (Oll, 1977, lk. 19) :

$$w = \frac{m_w}{m_t} \quad (1.5)$$

Veesisalduse määramiseks kaalutakse loodusliku veesisaldusega pinnaseproov ja seejärel kuivatatakse püsiva kaaluni temperatuuril 105°C, kuna sellisel temperatuuril eraldub pinnasest kogu vaba vesi ja suurem osa seotud vett. Antud kuivatamise tempreratuur on tulemuste omavaheliseks võrreldavuseks kokkuleppeline ning sellest tuleb kinni pidada. Savipinnastel toimub kuivatamine vähemalt 5 tundi ja liivpinnastel 3 tundi. Pärast seda kaalutakse proov uuesti ja loodusliku veesisaldusega ning kuivatatud proovi vahest saadakse kätte vee mass pinnases, mille kaudu saab avaldada veesisalduse protsendi. (Jaaniso, 2012, lk. 21)

Kuivmahumass

Pinnase kuivmahumass (kuivtihedus, skeleti mahumass) ρ_d on kuiva pinnase mass kogumahus, mis avaldub valemiga (Oll, 1977, lk. 31):

$$\rho_d = \frac{m_t}{V_t + V_p} \quad (1.6)$$

Kuna

$$V_t + V_p = \frac{m_t + m_w}{\rho} \quad ja \quad m_w = w * m_t \ ,$$

siis saab kuivmahumassi leida ka valemist (*Ibid.*):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+w} \quad (1.7)$$

Juhul, kui suurema pinnaseproovi loodusliku veesisalduse säilitamine on raskendatud, siis saab pinnase mahumassi tuletada ka kuivmahumassist. Sellisel juhul määratakse ρ_d otseselt teimimisega, kuivatades lõikerõngas oleva pinnase. Lisaks on vaja võtta pinnaseproovid veesisalduse määramiseks, mida on proovi väiksuse tõttu oluliselt lihtsam isoleerida. Pinnase mahumass arvutatakse sellisel juhul seosega (Jaaniso, 2012, lk. 22):

$$\rho = \rho_d (1+w) \quad (1.8)$$

Poorsus

Poorsus iseloomustab pooride mahtu pinnase kogumahust ning on avaldatav valemiga 1.9. (Jaaniso, 2012, lk. 22)

$$n = \frac{V_p}{V_t + V_p} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad (1.9)$$

Geotehnikas kasutatakse poorsuse iseloomustamiseks sagedamini mõistet poorsustegur, mis on pooride mahu suhe pinnase skeleti mahtu. Poorsustegur iseloomustab pinnase tihedusastet, pinnaste kokkusurutavust, pinnasest vee väljavoolamise kiirust jms. Pooride mahu muutus näiteks pinnase tihendamisel on võrdeline poorsusteguriga, kuid poorsusega mitte. Pooride mahu muutusega muutub ka kogumaht, kuid terade maht jääb samaks. Poorsustegur avaldub kujul (*Ibid.*):

$$e = \frac{V_p}{V_t} = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (1.10)$$

Juhul kui on teada poorsus või poorsustegur, siis saab need teineteisest avaldada seostega (*Ibid.*):

$$e = \frac{n}{1-n} \qquad n = \frac{e}{1+e} \quad (1.11)$$

Küllastusaste

Küllastusaste iseloomustab, kui suur osa pooride mahust on veega täidetud ning seega on defineeritav kui vee ja pooride mahu suhe, mis on leitav valemiga (Budhu, 2007, lk. 36):

$$S_r = \frac{m_w}{\rho_w V_p} = \frac{m_w}{\rho_w V_t e} = \frac{m_w \rho_s}{\rho_w m_t e} = \frac{w \rho_s}{\rho_w e} \quad (1.12)$$

Küllastusastme Sr suurus on vahemikus nullist üheni. Täielikult veega küllastunud pinnasel Sr=1 ja täiesti kuival pinnasel Sr=0. Küllastusastet võib avaldada ka protsentides, kus Sr= 100% iseloomustab täielikult veega küllastunud pinnast ning Sr= 0% täielikult kuiva pinnast. (*Ibid.*)

Mahukaal

Geotehnilistes arvutustes on otstarbekam mahumass korrutada raskuskiirendusega ja kasutada arvutustes saadud suurust mahukaalu, mis avaldub seosega (Jaaniso, 2012, lk. 23):

$$\gamma = \rho g \ \ (\mathrm{kN/m^3}) \quad (1.13)$$

Analooglselt saab kasutada arvutustes ka kuivmahukaalu (Valem 1.14) ja terade mahukaalu ehk erikaalu (Valem 1.15) (Jaaniso, 2012, lk. 23).

$$\gamma_d = \rho_d g \ \ (\text{kN/m}^3) \qquad (1.14)$$

$$\gamma_s = \rho_s g \ \ (\text{kN/m}^3) \qquad (1.15)$$

Tihedusaste

Tihedusaste *Id* iseloomustab liivpinnase tihedust, mis leitakse seosest (Gonzalez de Valejo *et al.*, 2011, lk. 28):

$$\mathrm{I}_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \qquad (1.16)$$

Pinnase poorsustegur maksimaalselt tihedas olekus (e_{min}) määratakse kuiva pinnase vibreerimise ning tampimisega silindris, kuni pinnase kaal enam ei suurene. Seejärel arvutatakse ρ_{max} ja e_{min}. (Jaaniso, 2012, lk. 24)

Pinnase poorsusteguri maksimaalselt kohevas olekus (e_{max}) leidmiseks kallatakse kuiv pinnas silindrisse, mille põhja on asetatud traadist kobestaja. Kui silinder on täitunud, tõmmatakse kobestaja välja. Seejärel kaalutakse silindris olev pinnas ja leitakse ρ_{min} ja e_{max}. (*Ibid.*)

Pinnase liigitus vastavalt tihedusastmele on toodud tabelis 1.5.

Tabel 1.5. Liivpinnase jaotus tiheduse järgi (Jaaniso, 2012)

$\mathrm{I_d}$	**Kirjeldus**
0-1/3	kohev
1/3-2/3	kesktihe
2/3-1	tihe

1.6 Pinnase liigitus plastsusomaduste järgi

Savi on teatud veesisalduse juures plastne, mis tähendab, et pinnas laseb ennast hästi vormida ning oma kuju muuta ilma, et see puruneks ja praguneks. Teatud veesisalduse juures savi plastsus kaob ning savi muutub kõvaks. Kui lisada plastsele savile teatud koguses vett võib jõuda teise piirini, kus pinnase plastsed omadused kaovad ning savi muutub voolavaks. Vee hulk, mis on vajalik, et viia algselt kõva savi voolavasse olekusse, sõltub saviosakeste hulgast pinnases ning nende mineroloogilisest koostisest. Seetõttu iseloomustatakse savipinnast nende veesisalduste kaudu, mille juures läheb see kõvast

olekust plastsesse ja plastsest voolavasse. Eelpool nimetatud savipinnaste plastsus- ja voolavusomaduste määremise ettepaneku tegi 1911. aastal Rootsi keemik ning agronoom Albert Mauritz Atterberg. Tema väljatöötatud plastsuspiirid, mida tuntakse ka kui Atterbergi piirid, on praeguseni kasutusel savipinnaste liigitamisel. (Jaanso, 2012, lk. 25)

Plastsuspiir

Veesisaldust, mille juures väikenegi veehulga vähenemine muudab plastse savi kõvaks, nimetatakse plastsuspiiriks w_p. Platsuspiiri määramine on jäänud Atterbergist alates samaks. (Jaaniso, 2012, lk. 25) Selleks võetakse ettevalmistatud pinnaseproovist tükike pinnast ning hakatakse seda peopesaga siledal paberilehel rullima. Rullida tuleb kerge survega ning tekkiva pinnasenööri pikkus ei tohi ületada peopesa laiust. Rullimisel väheneb pinnasetüki veesisaldus ning rullida tuleb seni, kuni moodustub 3 mm läbimõõduga pinnasenöör, mis hakkab pudenema 3-10 mm pikkusteks tükkideks. Sellises olekus pinnasetükid on saavutanud plastsuspiiri. Juhul, kui pinnasenöör hakkab pudenema enne, kui ta läbimõõt on 3 mm, siis on proovi niiskus liiga väike. Proovile lisatakse vett, segatakse spaatliga ja korratakse katset. Juhul, kui 3 mm läbimõõduga pinnasenöör ei hakka pudenema, siis tuleb niiskuse vähendamiseks proovi kuivatada ning korrata katset. Pudenenud tükid korjatakse alumiiniumtopsi, mis koheselt suletakse kaanega, et vältida pinnase veesisalduse edasist vähenemist. Tükikesi kogutakse topsi vähemalt 10 g. Seejärel kaalutakse proov koos alumiinumtopsiga, pärast mida kuivatatakse proov 105°C juures. Kahe kaalumise vahest saadakse pinnase veesisaldus, mida loetaksegi plastuspiiriks. (Oll, 1977, lk. 27)

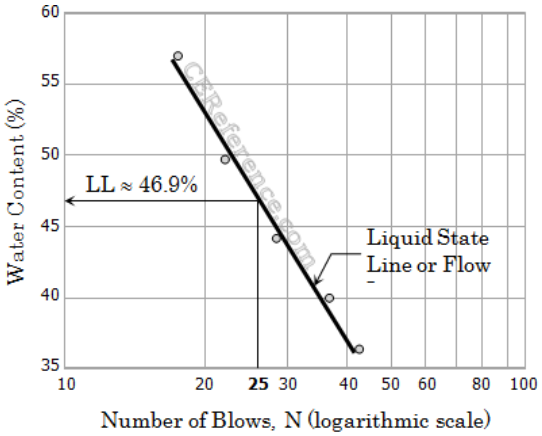
Voolavuspiir

Voolavuspiiriks loetakse veesisaldust, mille juures pinnas muutub tinglikult voolavaks. Voolavuspiiri määramiseks on väljatöötatud mitu moodust, millest üks on Casagrande meetod. Tegemist on austerlase Arthur Casagrande poolt väljatöötatud meetodiga, mille juures asetatakse eelnevalt ettevalmistatud pinnasepasta 8 mm paksuselt spetsiaalsesse Casagrande aparaadi (Joonis 1.6) kaussi ja tehakse sellesse vaotõmbajaga vagu, mille laius kausi põhjas on 2 mm. Ettevalmistatud pinnasepastat segatakse enne kaussi asetamist spaatliga, saades ühtlase pinnasesegu. Aparaadi käepideme ühe pöörde jooksul kukub kauss alusele 10 mm kõrguselt. Käepidet pööratakse kiirusega kaks pööret sekundis ja loetakse löökide arv. Pinnas loetakse olevat voolavuspiiril, kui vagu 25 löögi järel täitub 13 mm pikkuselt. Soovituslik teimi löökide arv on 15-45 löögi vahel. Löökide arvu

kontrollimiseks tuleb teha sama pinnasepastaga kordusteim, mille määratud löökide erinevus võib olla kuni 3. Tulemuseks võetakse kahe määramise keskmine ning seejärel võetakse vao ümbrusest 15-20 g pinnasepastat, pannakse topsi, suletakse kaanega ning kaalutakse. Antud proov kuivatatakse temperatuuril 105°C ning kaalutakse uuesti. Kuiva ja märja proovi kaalude erinevusest saab leida proovi veesisalduse. (Budhu, 2007, lk. 50)

Joonis 1.6. Casagrande aparaat

Eelnevalt kirjeldatud katseid tuleb teha vähemalt kolme erineva veesisaldusega pastaga, et saada erinev löökide arv. Teimi tulemused kantakse poollogartmilisele graafikule (Joonis 1.7), mille horisontaalteljel on löökide arvu logratim ja vertikaalteljel veesisaldus *w*. Punktide vahelt tõmmatakse korrelatiivsirge, mille abil määratakse 25-le löögile vastav veesisaldus, mis on ühtlasi ka pinnase voolavuspiiriks w_L. (Budhu, 2007, lk. 51) Savipinnase jaotus voolavuspiiri järgi on toodud tabelis 1.6.



Joonis 1.7. Voolavuspiiri graafik Casagrande meetodi järgi (Consistency of Soil ..., 2015)

Tabel 1.6. Pinnase jaotus voolavuspiiri järgi (EVS 1997-1:2003)

Nimetus	**Voolavuspiir w_L %**
Väheplastne	<35
Keskplastne	35-50
Väga plastne	50-70
Üliplastne	>70

Voolavuspiiri saab Casagrande aparaadiga leida ka ühe teimi andmetel. Selleks on R. Karlsoni poolt esitatud empiirilised valemid (Jaaniso, 2012, lk. 26):

$$w_L = \frac{w_n}{1{,}419 - 0{,}3 \log n} \quad ; \tag{1.17}$$

$$w_L = w_n \left(\frac{n}{25}\right)^{0{,}121} \quad ; \tag{1.18}$$

kus n – löökide arv, mille puhul vagu täitub 13mm pikkuselt;

w_n – katsetatava pinnase veesisaldus.

Lisaks eelpool kirjeldatud Casagrande aparaadile kasutatakse voolavuspiiri määramiseks ka mitmesuguseid koonusteime, millest enamkasutatavad on Vassiljevi ja Rootsi koonus. Vastavalt NL GOST-le oli voolavuspiiri leidmisel aluseks Vassiljevi koonus. See kujutab endast 76 g raskust 30° tipunrugaga koonust, mis lastakse vajuda pinnaseproovi. Savi loetakse olevat voolavuspiiril, kui koonus vajub savisse 10 mm. (Lemberg *et al.*, 1992, lk. 55) Rootsi koonuse kaal on 60 g ja tipunurk 60°. Koonus ühendatakse statiiviga, mille abil on võimalik täpselt fikseerida pinnasesse tungimise sügavust. Pinnas loetakse olevat voolavuspiiril, kui koonuse süvis on 10 mm. (Jaaniso, 2012, lk. 26)

Erinevate meetodite puhul on voolavuspiiri väärtused mõnevõrra erinevad. Casagrande aparaadiga määratud voolavuspiir on veidi suurem Vassiljevi koonusega määratust, kuid Rootsi koonuse puhul pole erinevus niivõrd märkimisväärne. Eesti savipinnaste kohta on 145 parelleelteimi andmetel Vassiljevi koonuse ja Casagrande aparaadi kasutamise vahel saadud järgmine empiiriline seos (Lemberg *et al*, 1992, lk. 57):

$$w_{LC} = 1{,}37w_{LV} - 5{,}42 \ , \qquad (1.19)$$

kus w_{LC} – voolavuspiiri Casagrande aparaadiga;

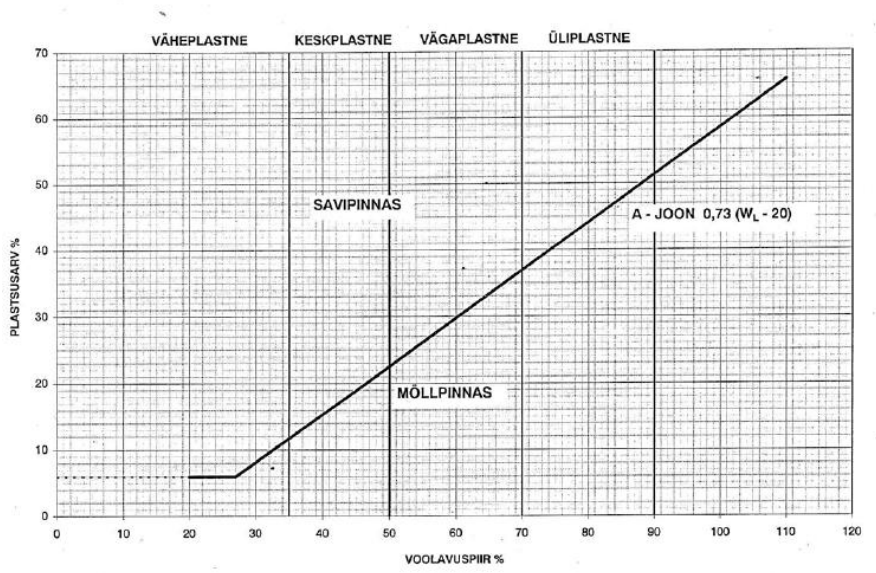
w_{LV} – voolavuspiir Vassiljevi koonusega.

Plastsusarv ja voolavusarv

Plastsusarv I_p iseloomustab pinnase "savikust". Mida suurem on I_p, seda rohkem on pinnasel savile iseloomulikke omadusi ning seetõttu kasutatakse antud näitajat pinnaste liigitamisel. Platsusarv on voolavuspiiri ja plastuspiiri kaudu leitav seosega (Jaaniso, 2012, lk. 27):

$$I_p = w_L - w_p \qquad (1.20)$$

Standardi EVS 1997-1:2003 järgi on plastsusomadustega pinnase liigitamise aluseks Casagrande plastsusdiagramm (Joonis 1.8). Diagrammi horisontaalteljel on voolavuspiir w_L ning vertikaalteljel plastsusarv I_p. Diagrammi jagab kaheks A-joon, mille avaldis on I_p=0,73(w_L - 20).



Joonis 1.8. Plastsusdiagramm

Platsusdiagrammi järgi liigitatakse pinnas (EVS 1997-1:2003):

savipinnas (S) – I_p> 6, asub ülalpool A-joont;

möllpinnas (M) – I_p≤ 6, asub allpool A-joont.

Voolavusarv I_L leitakse pinnase loodusliku niiskuse ja voolavus- ning plastuspiiri kaudu valemiga 1.21. Selle väärtus määrab savipinnase oleku (Tabel 1.7). (Jaaniso, 2012, lk. 27)

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} \qquad (1.21)$$

Tabel 1.7. Pinnase jaotus voolavusarvu järgi (EVS 1997-1:2003)

Nimetus	**Voolavusarv I_L**
Kõva	<0
Poolkõva	0-0,25
Sitke	0,25-0,5
Poolpehme	0,5-0,75
Pehme	0,75-1,00
Voolav	>1,00

Plastsusnäitajad määratakse rikutud struktuuriga proovidest. Savi tugevus voolavuspiiril on ligikaudu 2-2,5 kPa. Praktikas see aga päris nii ei ole. Loodusliku struktuuriga savi, mille voolavusarv I_L=1, tugevus võib olla oluliselt suurem. Näiteks savidel, mille I_L>1, võib tugevus olla suurem kui 14 kPa ja seega ei saa öelda, et pinnas voolab. (Jaaniso, 2012, lk. 27)

1.7 Vee mõju pinnasele

Vesi mõjutab pinnase mahukaalu, tugevust ning ehitise vundamendi vajumise ajalist kulgu. Vundamendi rajamisel allapoole pinnasevee taset tuleb arvestada suuremate veetõrje kuludega. Vee külmumine võib põhjustada külmakerkeid. (Jaaniso, 2012, lk. 28)

Liivpinnas on tavaliselt sõmer keha, kuid teatud niiskuse puhul on tal kapillaarne nidusus ning edasise niiskumise suurenemisel valgub liivpinnas laiali. Savipinnased on väikese

niiskuse juures tahked kehad, kuid niiskuse suurenemisel muutub savipinnas plastseks ja voolavaks. (Oll, 1977, lk. 18)

Vesi esineb pinnases pinnaseosakestega füüsiliselt seotud veena, vaba veena, auruna, külmunud olekus ning kristallisatsiooniveena ja keemiliselt seotud veena (Oll, 1977, lk. 29). Pinnaseosakeste ümber tekib elektromolekulaarsete jõudude toimel seotud veekiht, mis jaguneb tugevasti ja nõrgalt seotud vee kihtideks. Tugevasti seotud vesi adsorbeerub pinnasele õhus leiduvast veeaurust. Vaba vesi esineb pinnasepoorides kapillaar- või gravitatsiooniveena. (Oll, 1977, lk. 18)

1.7.1 Veejuhtivus

Veejuhtivus iseloomustab pinnase omadust lasta pooride kaudu vett läbi. Vee liikumine toimub pinnase gravitatsioonijõu, kapillaarjõu, temperatuuride vahe, osmootilise rõhu või mõne muu teguri mõjul. Suurema poorsusega pinnased juhivad vett paremini kui väikese poorsusega pinnased. (Cernica, 1995, lk. 31)

Vee liikumine võib olla turbulentne või laminaarne. Kuna pinnastes on vee liikumise kiirus ja pooride suurused üsna väikesed, siis on voolamine neis pea alati laminaarne. Turbulentne voolamine võib esineda ainult väga jämedateralistes pinnastes ning kalju lõhedes. (Gonzales de Valejo *et al*., 2011, lk. 31)

Laminaarse voolamise korral kasutatakse pinnase veeläbilaskvuse uurimisel tavaliselt Darcy seadust (*Ibid.*):

$$v = kI \qquad (1.22)$$

kus v – filtratsioonikiirus;

k – pinnase filtratsioonimoodul, mis on sõltuv pinnase omadustest, eeskätt pooride mõõtmetest ja hulgast;

$I = (H_1 - H_2)/L$ – hüdrauliline gradient;

$H_1 - H_2$ – vee surve langus;

L – filtratsiooni tee pikkus.

Kui *I*=1, siis filtratsioonikiirus *v* on võrdne filtratsioonimooduliga *k*. Filtratsioonimoodulit kasutatakse pinnase veejuhtivuse iseloomustamiseks. Tema ühikuks on tavaliselt cm/s või m/ööpäevas. (Oll, 1977, lk. 43)

Darcy seadus tuletati algul filtratsiooninähtuste uurimisel liivpinnastes, kuid hiljem on uuritud selle valemi kasutusvõimalust ka teist liiki pinnaste juures. Kruus- ning jämeliivpinnaste puhul esineb filtreeruval veel kriitiline kiirus, mille ületamisel vee laminaarne liikumine asendub turbulentsega ning Darcy seadus muutub kehtetuks. (*Ibid.*)

Savides tekib pinnaosakeste ümber seotud vee kiht, mis vähendab pooriruumi ning seetõttu on neis vee liikumine raskendatud. Seetõttu on savipinnaste filtratsioonikiirus aeglane ning filtratsioon algab alles pärast hüdraulilise gradiendi teatud suuruse ületamist, mida nimetatakse lävigradiendiks. (Oll, 1977, lk. 44)

Pinnase veejuhtivust on vaja teada pinnase süvendisse voolava veehulga arvutusel, drenaaži kavandamisel, pinnase keemilise tugevdamise meetodi valikul ning ka vundamendi vajumise ajalise kulgemise prognoosimisel. Filtratsioonimoodul määratakse laboratoorsete teimidega, välikatsetega või empiiriliste seostega teiste pinnase omaduste näitarvude vahel. (Jaaniso, 2012, lk. 29)

Veejuhtivuse laboratoorne määramine

Veejuhtivuse laboratoorseks määramiseks on mitmeid aparaate. Lihtsaim viis selleks on kasutada püsiva rõhuga permeameetrit. Läbi permeameetri toru, mille ristlõike pindala on *A* ning pinnasega täidetud osa pikkus *L*, voolab aja *t* vältel püsiva rõhkude vahe *h* korral vee hulk, mida saab leida Darcy valemi avaldisega (Jaaniso, 2012, lk. 29):

$$Q = qAt = kA\frac{h}{L}t \qquad (1.23)$$

Rõhu languga torus pinnasega mittetäidetud osas ei ole vaja arvestada, kuna voolutakistus pinnases on sellest tunduvalt suurem. Veehulga Q kaudu saab avaldada pinnase filtratsioonimooduli valemiga (*Ibid.*):

$$k = \frac{QL}{Aht} \qquad (1.24)$$

Püsiva rõhuga permeameetri abil saab määrata peamiselt jämedateralise pinnase veejuhtivust, kuna peeneteralistel pinnastel võib veejuhtivus olla niivõrd väike, et osutub

võimatuks tagada veehulga mõõtmise vajalik täpsus. Seetõttu kasutatakse vähe vettjuhtivate pinnaste filtratsioonimooduli *k* määramiseks langeva rõhuga permeameetrit. Peenes mõõtskaalaga torus tekitab veesammas voolamiseks vajamineva rõhu, mille abil on võimalik veehulka täpsemalt mõõta. Filtratsioonimooduli saab sel juhul avaldada valemiga (Jaaniso, 2012, lk. 30):

$$k = \frac{aL}{At} ln \frac{h_1}{h_2}, \qquad (1.25)$$

kus h_1 – veesamba kõrgus katse algul

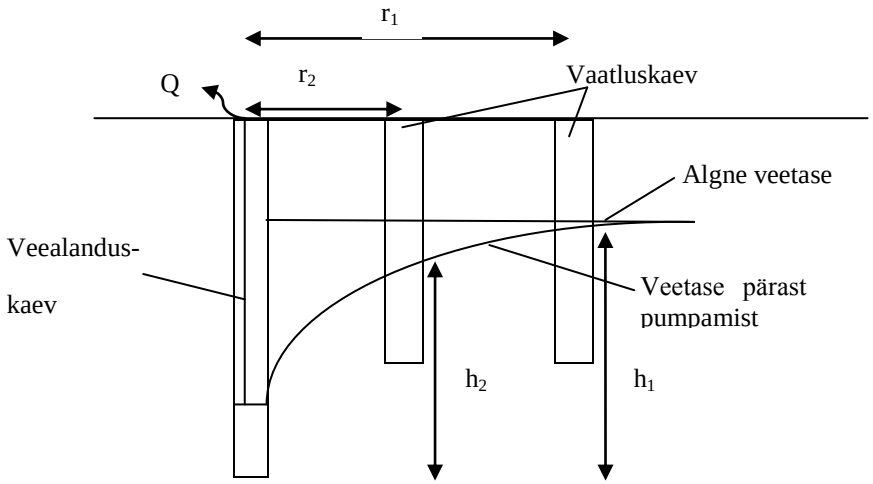
h_2 – veesamba kõrgus katse lõpul ajahetkel t.

Kui pinnases on rohkesti saviosakesi, siis ei õnnestu veejuhtivuse määramine ka langeva rõhuga permeameetri abil. Laboratoorselt saab väikese veejuhtivusega pinnase *k* määrata kaudselt pinnase tihenemise kiiruse kaudu. (*Ibid.*)

Laboratoorne veejuhtivuse määramine pole aga kuigi täpne, kuna kasutatavad pinnaseproovid on vähem või rohkem rikutud struktuuriga. Väikeste proovikehade veejuhtivus ei pruugi täpselt kajastada antud pinnasemassiivi terviku veejuhtivust. Samuti võib looduslikus olekus olla pinnase veejuhtivus erinev vertikaal- ning horisontaalsuunas. (*Ibid.*)

Välikatsed veejuhtivuse määramiseks

Välikatsed on laboratoorsetest täpsemad. Selleks tuleb pinnasesse rajada puurauk, millest pumbatakse vett välja. Pumpamist tehakse seni, kuni püsiva väljapumbatava veehulga juures veetase puuraugus jääb püsivaks. Väljapumpamise tulemusel puuraugu ümbruses veepind alaneb ning tekib depressioonilehter (Joonis 1.9). Mida väiksem on pinnase veejuhtivus, seda järsem on depressioonilehter. Määrates depressioonilehtri kuju veetaseme mõõtmisega vaatluspunktides, saab veejuhtivuse määramiseks vajalikud andmed. Enne katsete läbiviimist peab kõigepealt tutvuma uuritava ala geoloogilise ehitusega, et valida sobivaim arvutusmeetod. (Jaaniso, 2012, lk. 31)



Joonis 1.9. Filtratsioonimooduli määramine proovipumpamisega

Kui puurauk läbib tervikuna enam-vähem ühtlast pinnasekihti, saab filtratsioonimooduli arvutada valemiga (*Ibid.*):

$$k = \frac{2{,}303Q}{\pi(h_1^2 - h_2^2)} log \frac{r_1}{r_2} \qquad (1.26)$$

Empiirilised seosed filtratsioonimooduli määramiseks

Filtratsioonimooduli saab määrata ligikaudselt otseste katseteta empiiriliste seoste abil, lähtudes lihtsamini määratavatest pinnase omaduste näitarvudest. Üks tuntumaid seoseid on Hazen'i valem (Valem 1.27), mis seostab filtratsioonimooduli pinnase efektiivdiameetriga. Antud valem sobib kasutamiseks kohevate või kesktihedate ilma tolmu ja savilisanditeta liivade puhul, kuid see ei arvesta liiva tihedust ega lõimise ebaühtlust. (Jaaniso, 2012, lk. 31)

$$k = Cd_{10}^2, \qquad (1.27)$$

kus C – tegur, mille suurus on ligikaudu 100 cm/s (Shroff *et al*, 2003, lk. 159).

Filtratsioonimooduli saab liivpinnaste puhul avaldada ka poorsusteguri kaudu Casagrande seosega (Shroff *et al.*, 2003, lk. 159):

$$k = 1{,}4e^2 k_{0,85} \qquad (1.28)$$

kus $k_{0,85}$ – filtratsioonimoodul, kui poorsustegur e = 0,85.

Savipinnaste puhul saab veejuhtivuse sõltuvuse poorsusest avaldada valemiga (Jaaniso, 2012, lk. 31):

$$k = k_{0\,\exp}\ \ [C_3(e - e_0)], \qquad (1.29)$$

kus k_0 – filtratsioonimoodul, kui poorsustegur on e_0;

C_3 – katsetest leitav tegur.

Veejuhtivuse ligikaudsed väärtused

Filtratsioonimooduli suurus kõigub pinnastel väga laiades piirides. Täpsemaks veejuhtivuse määratlemiseks tuleks läbi viia laboratoorsed- või välikatsed, kuid kui täpsus pole niivõrd oluline, siis võib filtratsioonimooduli suuruse ligikaudselt hinnata ka antud pinnaseliigile iseloomulike suuruste alusel, mis on toodud tabelis 1.8. (Cernica, 1995, lk. 32)

Tabel 1.8. Filtratsioonimooduli ligikaudsed väärtused (Shroff *et al.*, 2003, lk. 157)

Pinnaseliik	**Filtratsioonimoodul k (cm/s)**
Kruus	10^{2}-1,0
Ühtlane liivpinnas; liiva ja kruusa segapinnased	1,0-10^{-3}
Peenliiv; peenliiva, mölli ja savi segapinnased	10^{-3}-10^{-7}
Savipinnased	10^{-7}-10^{-9}

1.7.2 Kapillaarsus pinnastes

Kapillaarsus on vedeliku omadus tõusta peentes torudes või piludes pindpinevuse mõjul üle vaba veepinna taseme. Pinnasepoorid töötavad sarnaselt torudele ja piludele ning seetõttu tõuseb vesi neis üle oma normaaltasapinna. (Jaaniso, 2012, lk. 34) Kui pinnastes ei esineks kapillaarjõude, siis kihid, mis asuvad pinnasevee tasemest kõrgemal, kuivaksid sademete puudumisel ära (Cernica, 1995, lk. 32).

Kapillaartõusu kõrgus on sõltuv pinnase terastikulisest koostisest ja selle ligikaudseks hindamiseks kasutatakse Haze'i valemit (Jaaniso, 2012, lk. 35):

$$h = \frac{C}{ed_{10}}, \qquad (1.30)$$

kus h – kapillaartõusu kõrgus mm;

C – empiiriliselt leitav tegur, mille suurus on enamasti 10-50 mm^2.

Tihedamate pinnaste nagu savi ja möllpinnaste kapillaartõus on oluliselt suurem, ulatudes mitmete meetriteni, kuid samas nõuab kapillaartõus neis pikemat aega (Jaaniso, 2012, lk. 35).

Kapillaarvee tõus esineb ka halvasti hüdroisoleeritud hoonete vundamentides, kus vesi võib mööda seinakonstruktsiooni tõusta ühe korruse kõrguse võrra ja põhjustada seeläbi ruumide niiskumist (Klein *et al*., 1970, lk. 57).

1.7.3 Vee külmumine pinnases

Vee külmumine pinnases põhjustab külmakerkeid, mis mõjutavad teid ja vundamente. Külmakergete suurus võib ulatuda kümnete sentimeetriteni. Külmakergete oht on suurem, kui pinnasevee tase on külmumistsoonile (Eestis ligikaudu 1,2 m sügavusel) lähemal kapillaartõusu kõrgusest. Kruusades ja jämeliivades on kapillaartõusu suurus väike ning seetõttu külmakergete oht praktiliselt puudub. Puhastes savides on kapillaartõusu kõrgus suur, kuid madal veejuhtivus tagab talveperioodil väikese veehulga. Seetõttu on kõige ohtlikumad just vahepealsed möllpinnased. (Jaaniso, 2012, lk. 36)

Köetavate hoonete vundamentide alune pinnas ei külmu ning seetõttu võib need rajada arvutuslikust külmumispiirist kõrgemale (Klein *et al*., 1970, lk. 124).

1.7.4 Ehitisele mõjuvad veesurved

Veesurve seest

Keldrikorruste niiskuskahjustuste põhjuseks on tihti ehitise ebapiisav välisisolatsioon. Niiskete välisseinte põhjuseks on aga sageli kondentsvesi, mis tekib, kui sooja õhu kõrge õhuniiskus ladestub külmal seinapinnal. Enamasti tekib selline olukord suvel, kui ehitist ei köeta. Keldri välisseinad on külmad ning kui soojem õhk puutub seinaga kokku, siis

niiskus kondenseerub sellel. Korralikule hüdroisolatsioonile vaatamata võib sellisel juhul olla tulemuseks niiskuse küllastumine ja hallitusseente teke. Antud probleemi lahenduseks on katta keldri siseseinad kapillaarselt mitteimavate ehitusmaterjalidega. (Pohl, 1999, lk. 26)

Veesurve väljast

Väliseks veesurveks vundamendi seintele on pinnaseniiskus, mittesurveline ja surveline vesi (Pohl, 1999, lk. 27).

Pinnaseniiskuse all mõistetakse pinnases olevat kapillaarselt seotud ja kapillaarjõudude mõjul kulgevat vett. Pinnaseniiskusega on tegemist juhul, kui vundamendi kõrval olev pinnas on veega mitteküllastunud, näiteks liiv või kruus. Sademetest tulev vesi nõrgub sellisel juhul kergesti läbi jämedateralise pinnase. Pinnaseniiskus kujutab endast väikseimat koormust vundamendile. (Pohl, 1999, lk. 28)

Mittesurveline vesi on sademe-, nõrg- või tarbevesi, mis mõjutab hüdroisolatsiooni väikese hüdrostaatilise survega. Selle koormusega tuleb alati arvestada halbade filtratsiooniomadustega pinnaste korral. Lühiajalise survelise vee tekke välmitiseks on ette nähtud drenaaž. (Pohl, 1999, lk. 29)

Surveline vesi tekitab pideva hüdrostaatilise surve konstruktsioonile. See tekib kõrge põhjaveetaseme ja siduva pinnase korral, kui puudub töötav drenaaž. Survelise vee korral satuvad kandekonstruktsioonid kui ka hüdroisolatsioon tugeva koormuse alla. (*Ibid.*)

1.8 Pinnasevee alandamine drenaažitorudega

Kui pinnaseveetase on keldri põrandast kõrgemal, siis on kõige tõhusamaks veetõrjevahendiks drenaaž, mis kujutab endast pinnasevee ärajuhtimiseks hoone ümbrusesse paigutatud kinniste kanalite süsteemi (Klein *et al*., 1977, lk. 149).

Drenaažitorudena kasutatakse spetsiaalseid plastik- või põletatud savitorusid. Nende paigaldamiseks kaevatakse vundamendi ümbrus kuni taldmikuni lahti. Torud kaetakse filterkangaga, et takistada mullaosakeste sattumist torustiku pooridesse, ning paigaldatakse taldmiku kõrvale killustikust alusele. Torud asetatakse ümber vundamendi perimeetri. (Foundations and concrete work, 2003, lk. 54) Kuivendusdreenidele antakse vee

äravooluks kalle 5-10 mm meetri kohta ning seejärel kaetakse torud poole meetri paksuse killustiku kihiga (Klein *et al*., 1977, lk. 150). Kuivendustorude poolt kogutud vesi juhitakse tavaliselt drenaažikaevudesse, kust äravoolutorudega või pumpamise teel suunatakse vesi hoonest eemale (Foundations and concrete work, 2003, lk. 54).

1.9 Keldrikorruste hüdroisoleerimine

Selleks, et ehitisi pikaajaliselt niiskuse eest kaitsta, tuleb need korralikult hüdroisoleerida. Seda saab teha siis, kui on teada konstruktsioonile mõjuvad veekoormused ja intensiivsus ning kasutavate hüdroisolatsioonimaterjalide ning aluspindade omadused. (Pohl, 1999, lk. 10)

Pinnaseniiskus ja mittesurveline vesi

Pinnaseniiskuse või mittesurvelise vee korral sobivad hüdroisolatsioonide tegemiseks bituumenpakskihtkatted või isolatsioonivõõbad (Pohl, 1999, lk. 31).

Bituumenpakskihtkatted sobivad kõikidele mineraalsetele aluspindadele nagu betoon ja müüritis ning neid saab peale kanda pahteldades või pritsimismeetodil. Aluspind peab olema kandevõimeline ja eralduvate osakesteta. Enne materjali pealekandmist tuleb aluspind korralikult puhastada survepesuga. Seejärel tuleb suuremad ebatasasused siluda mördiga. Täpsem informatsioon materjali pealekandmiseks on toodud tootjapoolsetes juhistes. (Pohl, 1999, lk. 14)

Isolatsioonivõõpasid saab kasutada vaid suletud pooridega aluspindadel. Isolatsioonivõõbad koosnevad tsemendist, täiteainetest ning korrosiooni mittesoodustavatest lisanditest. Isolatsioonivõõbad on elastsed või jäigad. Elastsed isolatsioonivõõbad nakkuvad traditsiooniliste aluspindadega paremini ja nende tõmbe- ja survetugevus on suurem kui bituumenisolatsioonimaterjalidel. Kuna nad on elastsed, siis katavad nad teatud laiusega pragusid ja eelnev aluspinna tasandamine pole vajalik. Täpsem informatsioon materjali pealekandmiseks on toodud tootjapoolsetes juhistes. (Pohl, 1999, lk. 32)

Surveline vesi

Survelise vee korral mõjutavad keldriseinu suured horisontaaljõud. Hüdroisolatsioon peab sellise koormuse puhul vastu võtma tihendusfunktsiooni kaotamata kahanemisest, temperatuurimuutustest ja vajumistest tingitud liikumisi ning ehitusosade pragusid. Selleks sobivad kõige paremini bituumenpakskihtkatted. (Pohl, 1999, lk. 33)

Sokliosa hüdroisoleerimine

Hoone sokliosa mõjutab sademetest tulev pritsmevesi. Seina hüdroisolatsioon sokliosas tuleks teha vähemalt 30 cm maapinnast kõrgemale. Kasutatav isolatsioonimaterjal peab olema sobiv krohvi aluspinnaks ning seega tuleks selleks kasutada mineraalseid isolatsioonivõõpu isegi juhul, kui maapinnas oleva seina jaoks on ette nähtud bituumenpakskihtkate. (Pohl, 1999, lk. 36)

Keldripõranda hüdroisoleerimine

Keldripõrandaid tuleb vee kapillaartõusu korral kaitsta. Raudbetoonpõhjadel võib ühenduskohtades tekkida pragusid, mida jäigad isolatsioonivõõbad ei suuda püsivalt katta. Rohkem töövuuke või betooni täiendav armeering vähendavad pragude tekke tõenäosust. Kui põranda hüdroisolatsioon tehakse elastse isolatsioonimaterjaliga, siis tuleb see ühendada seintel oleva horisontaalisolatsiooniga, et vundamendi ümber oleks justkui hüdroisolatsioonist vann, mis takistab niiskuse läbipääsu. (Pohl, 1999, lk. 38)

Seinte hüdroisoleerimine injekteerimismeetodiga

Vee kapillaartõusu vältimiseks kasutatakse mehaaniliste meetodite kõrval, mille puhul pressitakse roostevabast terasest plekiribad vuukidesse, ka keemilise meetodina puuraukinjekteerimist. Selline meetod vähendab kapillaaride läbimõõtu isoleeritavas müüritises või hüdrofobiseerib kapillaaride siseseinu. Konstruktsiooni injekteeritav materjal takistab vee kapillaartõusu. (Pohl, 1999, lk. 54)

Eristatakse surveta injekteerimist, mille puhul jaotub injektsiooniaine raskusjõu ja müüritise imamisvõime tõttu müüritise poorses koes, ja surveinjekteerimist, mille puhul viiakse injektsiooniaine konstruktsiooni sisse surve abil (Pohl, 1999, lk. 55).

Surveinjektsiooni kasutatakse tavaliselt juhul, kui müüritis on juba ulatuslikult veega imbunud. Selleks puuritakse esmalt müüritisse augud umbes 10-20 cm vahedega.

Puuraukude asetus sõltub müüritise liigist ning seisukorrast. Seejärel sisestatakse aukudesse injektsiooniaine survega 5-20 baari. Surveta injektsioonide puhul sisestatakse injektsiooniaine puuraukudesse enamasti anumatest, mis on asetatud aukudest kõrgemale. (Pohl, 1999, lk. 57)

1.10 Hüdroisolatsioonimaterjalide üldtutvustus

Antud uurimustöös on käsitletud OÜ Langeproon Inseneriehitus poolt pakutavaid hüdroisolatsioonimaterjale. Järgnev ülevaade erinevatest materjalidest põhineb tootja poolt väljaantud teabe põhjal.

1.10.1 Külmpaigaldatavad isekleepuvad rullmembraanid

GRACE Preprufe hüdroisolatsioonisüsteem

Tegemist on enne betoonvalu paigaltatava rullmembraaniga plaatvundamendi ja maa-aluste seinte hüdroisoleerimiseks. Preprufe membraanid on komposiitmaterjalid, mis koosnevad paksust HDPE kilest, survetundlikust nakkekihist ning ilmastikukindlast kaitsekilest. Toote nakkumine betooniga välistab vee sissetungi ehitisse. (Infoleht: Preprufe/Bituthene ..., 2015)

GRACE Preprufe membraanid paigaldatakse siledale alusbetoonile või hästi silutud ja tihendatud liivale. Aluspinna konarused ei tohi olla suuremad kui 12 mm. Membraanile on soovitatav betoon valada 56 päeva jooksul pärast paigaldamist. Antud toodet sobib kasutada uusehitiste juures või ka vana konstruktsiooni täiendavaks hüdroisoleerimiseks. (*Ibid.*)

GRACE Bituthene isekleepuvad bituumenmembraanid

Bituthene membraane kasutatakse horisontaalselt või vertikaalselt vundamentide ning teiste maa-aluste ehitiste hüdroisoleerimiseks. Tooted nakkuvad betooniga hoides ära vee liikumise konstruktsiooni ja membraani vahel. Membraanidele on saadaval valik abimaterjale, tänu millele on võimalik tagada läbiviikude ja membraani lõppude tihedus. (Infoleht: Preprufe/Bituthene ..., 2015)

Bituthene 8000 on vee- ja gaasikindel HDPE/bituumenmembraan, mis on vastupidav 70 m veesambale ja mida võib paigaldada niisketele krunditud horisontaal- või vertikaalpindadele õhutemperatuuril -10 kuni +35°C. (Infoleht: Bituthene 8000 ..., 2015)

Bituthene 4000 on veekindel HDPE/bituumenmembraan, mis on vastupidav 6 m veesambale ja mida võib samuti paigaldada niisketele krunditud horisontaal- või vertikaalpindadele temperatuuril -10 kuni +35°C. Horisontaalpinnal kasutada koos niiskuskindla krundiga Primer B2. (Infoleht: Bituthene 4000 ..., 2015)

1.10.2 Saneerkrohvid ja võõbatavad hüdroisolatsioonimaterjalid

Paks bituumenkate Epasit bdk/2k

Epasit bdk/2k kahekomponentset polümeerbituumenkatet kasutatakse hüdroisolatsioonina ehitiste ja ehitiseosade kaitseks pinnaseniiskuse, nõrgvee ja survevee eest välitingimustes. Antud toode on mõeldud kasutamiseks vertikaal- ja horisontaalpindadel konstruktsiooni veepoolsel küljel. (Infoleht: Paks bituumenkate ..., 2015)

Toode on lahustivaba, elastne, kiududega armeeritud, pragusid sildav pastöösne bituumenemulsioon. Epasit bdk/2k on kergelt paigaldatav, omab head vananemiskindlust, muutub kiiresti vihmakindlaks ning on vastupidav pinnases olevatele agressiivsetele ainetele. (*Ibid.*)

Epasit bdk/2k kantakse pinnale ühtlase kihina silumiskellu või terassiluriga vähemalt kahes kihis. Betoonaluspindadel on nõutav kraapepahteldus, millel tuleb lasta kuivada enne järgmise kihi pealekandmist. (*Ibid.*)

Elastne hüdroisoleerkate Epasit dsf/2k

Epasit dsf/2k on mõeldud kasutamiseks ehitiste ja ehitiseosade kaitseks maapinna niiskuse, survelise ja surveta vee eest. Tegemist on mineraalse hüdroisolatsioonikattega, mida võib paigaldada vertikaalse hüdroisolatsioonina maaga kontaktis olevatel konstruktsioonidel, vertikaalse isolatsioonina seina sokliosas, seina ja põhjaplaadi kokkupuutekohas või hüdroisolatsioonina sisemise veesurve vastu. Samuti võib toodet kasutada sisemise hüdroisolatsioonina välise veesurve vastu või ajutise sisemise veesurve vastu ehituse ajal. (Infoleht: Elastne hüdroisoleerkate ..., 2015)

Toode sobib paigaldamiseks raudbetoonile, täisvuukidega tellismüüritisele või tsementmördile. Epasit dsf/2k on sobiv aluspind krohvidele ja pahtlitele mördiklassidest PI, PII ja PIII ning ka katteplaatidele ja -tahvlitele. Toode kantakse pinnale vähemalt kahes kihis pintsliga, kelluga või sobiva pihustussüsteemiga. (*Ibid.*)

Mineraalsed hüdroisoleerkatted Epasit MineralDicht

Mineraalsed hüdroisolatsioonimastiksid on keskkonnasõbralikud ja neid kasutatakse peamiselt betoonpindadel, müüritistel või olemasolevatel tsementkrohvist aluspindadel. Mineraalsed materjalid on kergelt töödeldavad. (Infoleht: MineralDicht ..., 2015)

MineralDicht materjale kasutatakse nii vertikaalsetel kui horisontaalsetel pindadel. Paigaldusprotsessid on märg-märjale, millega võidab ehitusobjekti ajas. Hüdroisolatsioonimastikseid võib krohvida või katta keraamiliste plaatidega. (*Ibid.*)

MineralDicht tooted lasevad vee auru läbi, kuid samas peatavad survelise vee ning pinnaseniiskuse. MineralDicht sperr on mineraalne kuivmört, mis on ette nähtud ehitise hüdroisoleerimiseks surve- ja kapillaarvee vastu ning see sobib kasutamiseks maapinnaga kokkupuutuval pinnal. Hoone sokliosade katmiseks kasutatakse toodet Epasit MineralDicht sockel. MineralDicht plast sobib nii vertikaalseks hüdroisolatsiooniks pinnasega kokkupuutes olevatel konstruktsioonidel kui ka sisemiseks horisontaalseks või vertikaalseks hüdroisolatsiooniks välise veesurve vastu. (*Ibid.*)

Saneerimissüsteem Epasit MineralSanoPro

Saneerimissüsteemi Epasit MineralSanoPro kasutatakse koos vertikaalse ja horisontaalse hüdroisolatsiooniga. Kompleksne hüdroisolatsioon tõkestab niiskuse sissetungi müüritisse ning Epasit MineralSanoPro võimaldab jääkniiskusel müüritisest välja kuivada. (Infoleht: MineralSanoPro ..., 2015)

Saneerimissüsteem MineralSanoPro koosneb prits- nakkekihist Epasit MineralSanoPro hb ning saneerkrohvist Epasit MineralSanoPro Ipf-WTA, mis püüab veega transporditavad soolad müüritises kinni ja saneeritud pind jääb seetõttu niiskuslaikudeta. Saneerkrohvil on kolm põhilist omadust: vähene imavus, hea veeauru läbilaske võime ja suur poorsus. (*Ibid.*)

Epasit saneerkrohvi MineralSanoPro Ipf-WTA tungib niiskus mõne millimeetri sügavusele, seejärel vesi aurustub. Kuna veeaur ei oma võimet vees lahustunud sooli

transportida, siis need kristalliseeruvad ning ladestuvad saneerkrohvi poorides. Krohvi pealispind jääb niiskuslaikudeta ja vabaks soolakristallidest ning samuti on müüritis niiskuse ja soolade kahjuliku mõju eest kaitstud. (*Ibid.*)

1.10.3 Betooni hüdroisolatsioon ja kaitse kristallatsiooni baasil

XYPEX tooted

XYPEX tooted on mõeldud betoonpinna hüdroisolatsiooniks ning betoonpinna kaitseks. Toodetes sisalduvate aktiivsete kemikaalide mõjul tekib katalüütiline reaktsioon, mis moodustab mittelahustava kristallisatsiooni betooni hargnevates poorides ja kapillaarsetes pragudes. (Infoleht: XYPEX ..., 2015)

XYPEX tooted on kuivpulbersegud, mis koosnevad portlandtsemendist, peenestatud räniliivast ja erinevate omadustega kemikaalidest. Kristallformatsioon imandub hästi kapillaaridesse ja on vastupidav tugevale veesurvele ning kemikaalidele. XYPEX toodetega töödeldud betooni struktuur on järgnevalt pidevalt kaitstud niiskuse sissepääsu eest. Betoon saab maksimaalselt hingata ja jääb täielikult kuivaks, samaaegselt hoitakse ära kondensvee teke. (*Ibid.*)

XYPEX tooted kantakse niiskele betoonpinnasele kasutades jäika harja või pihustit. Betoonpind ei vaja eelnevat pinna kruntimist või tasandamist, küll aga peab olema see puhastatud lahtistest osakestest. Tooted sobivad paigaldamiseks nii konstruktsiooni sise- kui välisküljele. (*Ibid.*)

1.10.4 Vundamendiseinte drenaaži- ja kaitsematid

INTERPLAST ISO-DRAIN 8 Geo

Antud toode on välja töötatud maa-aluste vundamendiseinte ääre pinnase drenaažiks ja vundamendiseinte mehhaaniliseks kaitseks. Tootel on püsiv õhuvahe ning geotekstiil filtreerib vees hõljuvad osakesed. INTERPLAST drenaažimatid on vasutupidavad ja hea drenaaživõimega. Drenaažimatte kasutatakse täiendavalt keldriseinte hüdroisolatsiooni ning soojustuse peal. (Infoleht: ISO-DRAIN ..., 2015)

1.10.5 Injektsioonimaterjalid kapillaarniiskuse tõkestamiseks betoonis

Epasit msf

Epasit msf on välja töötatud tiheda müüritise või betooni kapillaarniiskuse tõkestamiseks puuraukmeetodil. Antud injektsioonivedelikku võib kasutada nii surveta kui survelise injektsioonimeetodiga. Epasit msf on sinise värvusega vett sisaldav lahus, mis moodustab imavates ehitusmaterjalides vett hülgava tsooni. (Infoleht: Mauersanit ..., 2015)

Puuraugud tuleb puurida konstruktsiooni allapoole kaldu, 30 kraadise nurga all. Paksema kui 60 cm seina puhul tuleb puurida augud kahelt poolt. Puurimisel kasutada spetsiaalset puurvasarat. Puuraugu sügavus tuleb teha umbes 5 cm lühem seina paksusest. (*Ibid.*)

Puuraukude läbimõõt peab surveta injektsioonimeetodil olema kuni 30 mm. Surveinjektsioonmeetodi puhul tuleb pehme kivimi juures kasutada 10 mm lamellpakreid, kõva kivimi puhul aga 12 mm tüübleid. Puuraukude vahekaugus peab olema umbes 10 cm ning aukude paigutus on olenevalt materjali imavusest ühes või kahes reas. (*Ibid.*)

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Töö peamiseks eesmärgiks on pinnaseuuringute abil välja selgitada Tabivere vallas asuva elamu keldri niiskuskahjustuste põhjused ja pakkuda tekkinud probleemile lahendus koos vajalike tööde maksumuse hinnanguga.

Töös lahendatavad ülesanded:

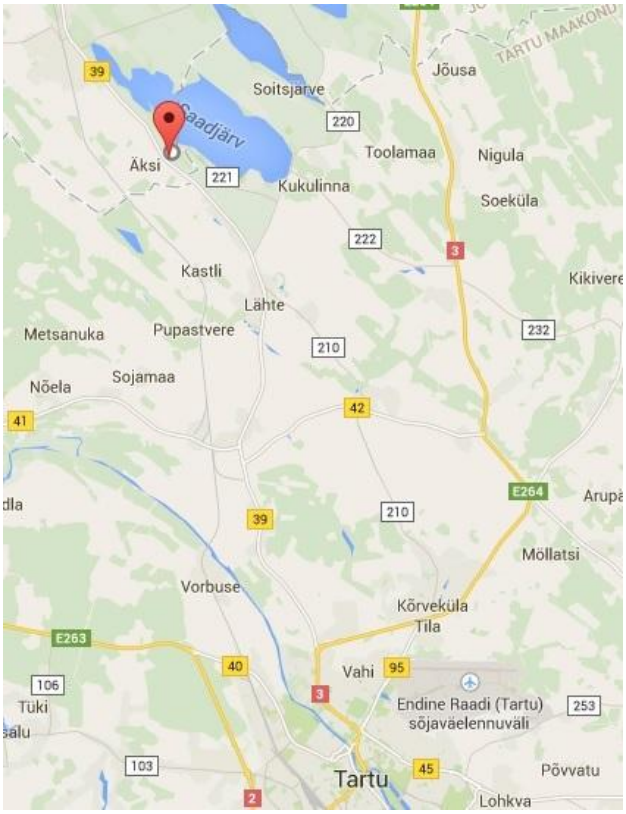
- Tutvutakse üldtunnustatud pinnaseuuringute läbiviimise põhimõtetega ja laboratoorsete teimidega vastavalt Eestis kasutatavatele standarditele.
- Tutvutakse keldri niiskuskahjustuste lahenduste meetoditega ja materjalidega.
- Antakse uuritava hoone ja selle keldri niiskuskahjustuste ülevaade.
- Teostatakse uurimustöös käsitletava hoone krundi geotehnilised uuringud ja määratakse nende abil pinnase liigitus ning füüsikalised omadused.
- Leitakse geotehniliste uuringute abil uurimustöös käsitletava hoone krundi pinnasevee tasemed ja määratakse hoone läheduses asuva Mudajõe veerežiim.
- Antakse geotehniliste uuringute tulemuste alusel elamu keldri niiskusprobleemidele lahendused koos vajalike tööde maksumuse hinnanguga.

3. MATERJALID JA METOODIKA

3.1 Uurimustöös käsitletava elamu kirjeldus

Asukoht

Käesolevas magistritöös analüüsitav hoone asub 20 kilomeetri kaugusel Tartust Tabivere vallas Voldi külas (Joonis 3.1) 0,72 ha suurusel krundil (katastriüksuse tunnus 77301:002:0551), mis külgneb Saadjärvest väljavoolava Mudajõega (Joonis 3.2). Lähim kaugus majast jõeni on 25 meetrit. Hoonest paarsada meetrit allavoolu asub vana villaveski tamm. Hoone asub Vooremaa maastikukaitsealal Saadjärve voorestikus (Voorema jääaja vabaõhumuusem, 2007, lk. 10).



Joonis 3.1. Hoone asukoht kaardil märgistatuna punase noolega (Google Maps ..., 2015)

Saadjärve voorestik algab Pandivere kõrgustiku lõunanõlvalt ning ulatub Tartu lähistele, Kõrvekülani. Põhja pool on voorestik laiem (27 km) ja voored suuremad, lõuna pool kitseneb voorestik viie kilomeetrini. Vooremaa pinnamoe moodustavad lainjas-künklikud moreentasandikud, mõhnad, oosid ja voorte lagedel-nõlvadel leiduvad sulglohud, mis on tekkinud mandrijää taandumise tagajärjel. Uuritav elamu asub devoni liivakividel paikneval moreentasandikul. Moreen on liustiku poolt kokkukuhjatud sorteerimata pinnas

ning see koosneb erinevas suuruses purdosakestest. (Voorema jääaja vabaõhumuuseum, 2007, lk. 10)

Joonis 3.2. Elamu paiknemine Mudajõe suhtes, uuritav hoone märgistatud punase kastiga (Maa-ameti geoportaal ..., 2015)

Hoone arhitektuuriline lahendus

1975. aastal ehitatud kahekorruselise koos keldrikorrusega lamekatuse ja kiviseintega elamu juurde kuulub ühekorruseline garaaž koos majandushoone ja viimase peale ehitatud kasvuhoonega (Joonis 3.3). Elamu paigutus koos kõrvalhoonega moodustab hoonete vahel kinnise puhkeõue. Maja tagaõues paikneb tarbeaed. Elamukompleksi plaanid ja lõiked on toodud lisas 1.

Hoone keldrikorrusel asub koridor, köögiviljade panipaik, katlaruum ning jahitrofeede tuba (jooniste peal nimetusega majandusruum). Esimesel korrusel on sissekäigu tuulekoda, esik-garderoob, WC, köök ja suur elutuba. Väliukse ees asub terass ning väikese basseiniga siseõu. Teisel korrusel on koridor, pesemisruum ja WC, kolm magamistuba ning rõdu. Kõrvalhoones asub kaks sõidumasina garaaži ning tööruum ja saun. Teisele korrusele viib trepp, kus on elamust köetav kasvuhoone.

Joonis 3.3. Elamukompleks pildistatuna Mudajõe äärest

Elamu tehnilised näitajad on toodud tabelis 3.1. Andmed on võetud hoone ehitusprojektist.

Tabel 3.1. Elamu tehnilised näitajad

Hoone ehitusalune pind	
elamu	89,0 m^2
kõrvalhoone	104,8 m^2
Elamu elamispind	59,80 m^2
abipind	45,57 m^2
üldpind	105,07 m^2
Keldriruumide maj. pind	54,32 m^2
küttesõlm, panipaigad	24,20 m^2
kaetud terrassi pind	16,80 m^2
Majandushoone arv. pind	21, 80 m^2
Garaaži- tööruumi pind	43,20 m^2
kasvuhoone pind	19,80 m^2
Elamu ehituslik kubatuur	616,0 m^3
maapealne osa	436,0 m^3
keldri osa	180,0 m^3
Majandushoone- garaaži kubatuur	201,6 m^3
Kogupind	238,87 m^2

Elamu vundamendi ja keldriseinte ning -põrandate pindala on määratud lisas 1 olevate projektjooniste ning kohapeal teostatud kontrollmõõtmiste alusel. Keldrikorruse pinnad on toodud tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Vundamendi, keldriseinte ja -põrandate pindala

Hoone osa	**Pindala**
Vundament	57,6 m^2
Sokkel	28,8 m^2
Keldriseinad	134,52 m^2
-koridor	22,49 m^2
-köögivilja ruum	16,14 m^2
-hoidiste ruum	15,25 m^2
-puuvilja ruum	14,62 m^2
-jahituba (majandusruum)	38,21 m^2
-katlaruum	27,81 m^2
Keldripõrandad	60,17 m^2
-koridor	6,55 m^2
-köögivilja ruum	4,35 m^2
-hoidiste ruum	4,95 m^2
-puuvilja ruum	5,42 m^2
-jahituba (majandusruum)	27,7 m^2
-katlaruum	11,2 m^2

Konstruktsioonid

Hoone vundament on valmistatud 40 cm paksusest monoliitbetoonist. Keldrikorruse siseseinad ja korsten on laotud silikaattellistest ning keldriruumide siseviimistluseks on kasutatud krohvi ja lubivärvi, välja arvatud jahitrofeede toas, mis on kaetud laudisega. Keldri hüdroisolatsiooni kohta andmed puuduvad.

Elukorruste sise- ja välisseinad on laotud Narva plokkidest. Hilisemal renoveerimisel on seinad täiendavalt soojustatud EPS-plaatidega. Välisviimistluseks kasutatud heledat pritskrohvi.

Keldri niiskuskahjustused

Hoonel on selle ehitamise ajast saati olnud probleeme keldri niiskuskahjustustega. Mitmel korral on kelder üleujutanud ning vett on olnud vaja sealt välja pumbata. Pikaajalise niiskumise tagajärjel on keldri välis- ja siseseintelt krohv mahakoorunud ning kohati on näha ka hallituse jälgi.

Kõige suuremad kahjustused on hoone põhjapoolses küljes (Joonis 3.4 ja Joonis 3.5). Lamekatuse tõttu on ka sadeveed juhitud just sinnapoole hoonet.

Joonis 3.4. Niiskuskahjustused keldri koridoris

Joonis 3.5. Niiskuskahjustused hoidiste ruumis

Väljaspool elamut on näha, kuidas maapind on hoone põhjapoolses küljes vundamendi suunas kerges languses (Joonis 3.6).

Joonis 3.6. Maapinna langus sokli suunas hoone põhjapoolses küljes

Elamu lõunapoolses küljes asub keldrikorrusel puitlaudisega viimistletud jahituba (jooniste peal nimega majandusruum) ning siseviimistluse tõttu pole niiskuskahjustused seal nii selgelt eristatavad (Joonis 3.7). Niiskusest annavad seal aimu aga soolaga töödeldud jahiloomade nahad, mis soolasisalduse tõttu tõmbavad endasse niiskust. Nimetatud nahad on käega katsudes niisked, mis viitab sisemisele veekoormusele keldriruumides. Keldri siseseintel on samuti seina alumises osas krohv maha koorunud, mis viitab vee kapillaartõusule seintes (Joonis 3.8).

Joonis 3.7. Keldris asuv jahituba (jooniste peal nimega majandusruum)

Joonis 3.8. Keldri siseseintel olevad niiskuskahjustused

Hoone omanikud soovivad keldris asuva jahitrofeede ruumi külalistetoana kasutusele võtta ja seoses sellega leida lahendus niiskuskahjustustele ning nendest tingitud hallituse tekkele.

3.2 Geotehnilised uuringud

Geotehnilised uuringud peavad andma uuritava keldri niiskuskahjustuste põhjuste kohta kõik pinnase ja pinnasevee vajalikud lähteandmed. Tulenevalt käesolevas uurimustöös käsitletud hoone krundi pinnase liigist, selle asendist vundamendi suhtes ning omaduste määramise vajalikust usaldusväärsusest, valitakse pinnase omaduste määramise meetodid, mida on käsitletud peatükis 1. Pinnase liigitamine ja füüsikaliste omaduste määramine teostatakse vastavalt standardile EVS 1997- 1:2003.

3.3 Keldri niiskuskahjustuste lahendused

Keldri niiskuskahjustuste lahenduste aluseks on pinnase geotehnilised uuringud ja keldrikonstruktsioonide visuaalne hinnang. Keldrikonstruktsioonide hüdroisoleerimisel võetakse aluseks OÜ Langeproon Inseneriehitus poolt pakutavad tooted ning nende tootjapoolsed juhendmaterjalid.

4. PINNASEUURINGUTE TULEMUSED JA ANALÜÜS

4.1 Puuraukude puurimine

Kuna antud krundil ega ka selle lähinaabruses ei olnud varasemalt geotehnilisi uuringuid tehtud, siis korraldati töö autori poolt puuraukude puurimine. Puurimistööd teostati 25.02.2015 vibropuurimismeetodil diameetriga 102 mm ettevõtte Alus-Geoloogia OÜ puuragregaatiga Geotech 604 (Joonis 4.1). Hoone ümbruses tehti kokku 3 auku: maja ojapoolses küljes, aiapoolses küljes ja siseõues. Aukude ning jõevee tasemete absoluutsed kõrgused mõõdeti GPS seadeldisega. Puuriti 4 meetri sügavuseni ja uuringute käigus devoni aluspinnasteni ei jõutud. Puuraukude asukohad on näidatud lisas 2 oleval asendiplaanil.

Joonis 4.1. Puuragregaat Geotech 604

Puuraukudest võeti erinevatel sügavustel koti- ja niiskusproove ning anti esialgne hinnang pinnaseliikide kohta, millest lähtuvalt sai edasisi laboriuuringuid teha. Pinnaseuuringute protokoll on toodud tabelis 4.1. Puuraugud PA-2 ja PA-3 asuvad vundamendi lähedal ning nende tegemisel ilmnes, et 1,7 meetri sügavuseni on ehitusprahist, kruusast ning liivast koosnev täitepinnas. Täitepinnase ülemised kihid olid niivõrd kohevad, et puurseadeldis vajus umbes 50 cm puhtalt puuri raskusjõu mõjul pinnasesse. Samuti oli hoonest 7 meetri kaugusel asuvas puuraugus PA-1 60 cm ulatuses täitepinnast. Sellest järeldub, et esialgselt oli hoonealune krunt madalamal ning täitepinnasega on püütud hoone ümbrust tõsta. Looduslik pinnas oli visuaalsel hinnagul kõigis puuraukudes sarnase konsistentsiga savi- või möllpinnas.

Tabel 4.1. Puuraukude tegemise protokoll

Puur-auk	**Sügavus, cm**	**Proovi number ja tüüp**	**Pinnase iseloomustus visuaalsel hinnangul**
PA-1	0-15	-	Muld
	15-60	-	Täitepinnas: muld, moreen, ehituspraht, liiv
	100-130	Kotiproov Niiskusproovid: Y87850, Y88816, Y87871	Hallikaspruun savi/möllmoreen: väheplastne, sitke, 10-15 % jämepurdu
	200-220	Kotiproov Niiskusproovid: Y86896, Y87859, Y86564	Hallikaspruun savi/möllmoreen: väheplastne, sitke, 10-15 % jämepurdu
	320-350	Kotiproov Niiskusproovid: Y87882, Y87884, Y88847	Hallikaspruun savi/möllmoreen: väheplastne, sitke, tihedam ja kuivem ülemistest proovidest
PA-2	0-15	-	Muld
	15-165	Kotiproov sügavusel 120-150	Täitepinnas: liiv, kruus, ehituspraht, moreen
	170-200	Kotiproov Niiskusproovid: Y87900, Y87846, Y87864	Hallikaspruun savi/möllmoreen: väheplastne
	300-330	Kotiproov Niiskuseproovid: Y86835, Y86822, Y87873	Hallikaspruun savi/möllmoreen
	370-400	Kotiproov Niiskuseproovid: Y88866, Y86880, Y88865	Hallikaspruun savi/möllmoreen
PA-3	0-30	-	Muld
	30-170	Kotiproov sügavusel 130-160	Täitepinnas: kruus, liiv, moreen
	170-200	Kotiproov Niiskuseproovid: Y87848, Y87809	Hallikaspruun savi/möllmoreen: väheplastne
	230-260	Kotiproov Niiskuseproovid: Y87826, Y86874, Y87877	Hallikaspruun savi/möllmoreen
	340-360	Kotiproov Niiskuseproovid: Y87889, Y87860, Y86857	Hallikaspruun savi/möllmoreen

4.2 Laborikatsete tulemused

Pinnase laboratoorsed katsed viidi töö autori poolt läbi Eesti Maaülikooli pinnaselaboris. Katsetega määrati pinnase liigitus ja füüsikalised omadused.

4.2.1 Mahumass

Pinnase mahumassi ehk tiheduse määramiseks kasutati lõikerõnga meetodit. Teimidel kasutati erinevatel sügavustel võetud kotiproovide pinnaseid. Katsete tulemused on toodud tabelis 4.2.

Tabel 4.2. Mahumassi määramine

Proov	**Pinnas**	**Rõnga maht cm3**	**Pinnase, rõnga ja klaaside mass g**	**Rõnga ja klaaside mass g**	**Pinnase mass g**	**Pinnase mahumass g/cm3 (Valem 1.3)**
PA2 150	Täitepinnas	49,26	225,50	134,40	91,10	1,85
PA1 200-220	Looduslik	49,26	246,22	134,40	111,82	2,27
PA2 170-200	Looduslik	49,26	245,72	134,40	111,33	2,26
PA3 340-360	Looduslik	49,26	203,40	90,00	113,79	2,31

Katsetest selgus, et täitepinnase (proov PA2 150) mahumass on 1,85 g/cm^3. Looduslike pinnaste mahumassid olid vahemikus 2,26-2,31 g/cm^3. Edasistes arvutustes kasutati lihtsustuse mõttes looduslike pinnaste mahumasse järgmiselt: sügavuseni 200 cm – 2,26 g/cm^3; sügavusel 200-300 cm – 2,27 g/cm^3; sügavusel 300-400 cm – 2,31 g/cm^3.

4.2.2 Looduslike pinnaste veesisaldus ja arvutuste teel leitavad näitarvud

Looduslike pinnaste veesisalduse ja arvutuste teel leitavate näitarvude saamiseks kuivatati puurimisel võetud niiskuseproovid kuivatuskapis temperatuuril 105°C. Proovid kaaluti enne ja pärast kuivatamist. Niiske ja kuiva pinnase kaalude vahest saadi vee mass, mille kaudu avaldati pinnase veesisaldus protsentides (Valem 1.5). Kuna igal sügavusel võeti kolm niiskuseproovi, siis kasutati edasistes arvutustes pinnaseproovide keskmisi veesisaldusi. Kuivmahumass leiti pinnase veesisalduse ja mahumassi kaudu valemiga 1.6. Pinnase erimassiks võeti arvutustel savipinnastele omane suurus 2,75 g/cm^3 (Tabel 1.4). Poorsustegurid avaldati erimassi ja kuivmahumassi vahelise seosega 1.10 ning küllastusaste seosega 1.12. Saadud tulemused on toodud tabelis 4.3.

Tabel 4.3. Proovide veesisaldused ning arvutuste teel leitavad näitarvud

Puur-auk	Sügavus cm	Topsi nr	Topsi mass g	Topsi ja niiske pinnase mass g	Niiske pinnase mass g	Topsi ja kuiva pinnase mass g	Kuiva pinnase mass (m_t) g	Vee mass (m_w) g	Pinnase vee-sisaldus (w) %	Keskm. vee-sisaldus (w) %	Mahu-mass (ρ) g/cm^3	Kuiv-mahu-mass (ρ_d) g/cm^3	Erimass (ρ_s) g/cm^3	Poorsus-tegur (e)	Küllastus-aste (S_r)
PA-1	**100-130**	Y87850	29,60	162,30	132,70	146,05	116,45	16,25	13,95	**13,95**	2,26	1,98	2,75	0,39	0,99
		Y88816	29,00	122,40	93,40	110,40	81,40	12,00	14,74						
		Y87871	29,00	142,95	113,95	129,70	100,70	13,25	13,16						
	200-220	Y86896	29,80	187,55	157,75	171,05	141,25	16,50	11,68	**12,01**	2,27	2,03		0,36	0,93
		Y87859	29,80	156,10	126,30	142,40	112,60	13,70	12,17						
		Y86554	29,40	153,65	124,25	140,15	110,75	13,50	12,19						
	320-350	Y87882	29,05	135,90	106,85	127,50	98,45	8,40	8,53	**8,45**	2,31	2,13		0,29	0,80
		Y87884	29,55	119,75	90,20	113,20	83,65	6,55	7,83						
		Y88847	29,60	140,00	110,40	130,90	101,30	9,10	8,98						
PA-2	**170-200**	Y87900	30,10	169,45	139,35	152,45	122,35	17,00	13,89	**13,01**	2,26	2,00		0,38	0,95
		Y87846	29,70	149,95	120,25	135,00	105,30	14,95	14,20						
		Y87864	29,50	144,50	115,00	133,15	103,65	11,35	10,95						
	320-350	Y86835	29,65	162,30	132,65	150,55	120,90	11,75	9,72	**9,08**	2,31	2,12		0,30	0,84
		Y86822	30,00	146,40	116,40	137,35	107,35	9,05	8,43						
		Y87873	28,90	136,30	107,40	127,35	98,45	8,95	9,09						
	370-400	Y88866	31,20	179,30	148,10	168,05	136,85	11,25	8,22	**7,98**	2,31	2,14		0,29	0,77
		Y86880	29,95	149,50	119,55	140,25	110,30	9,25	8,39						
		Y88865	30,20	155,25	125,05	146,70	116,50	8,55	7,34						
PA-3	**170-200**	Y87848	29,65	167,15	137,50	150,00	120,35	17,15	14,25	**13,63**	2,26	1,99		0,38	0,98
		Y87809	29,75	143,60	113,85	130,50	100,75	13,10	13,00						
	230-260	Y87826	29,90	168,80	138,90	153,15	123,25	15,65	12,70	**13,73**	2,27	2,00		0,38	1,00
		Y87814	29,95	155,05	125,10	139,15	109,20	15,90	14,56						
		Y87877	30,00	143,60	113,60	129,70	99,70	13,90	13,94						
	340-360	Y87889	29,60	141,60	112,00	130,50	100,90	11,10	11,00	**10,39**	2,31	2,09		0,31	0,91
		Y87860	29,60	154,35	124,75	142,75	113,15	11,60	10,25						
		Y86857	29,65	152,05	122,40	141,00	111,35	11,05	9,92						

Tulemustest selgub, et sügavustel 100-260 cm on pinnaste veesisaldus vahemikus 12,01-13,95% ning sügavustel 320-400 cm vahemikus 7,98-10,39%. Küllastusaste näitab, et uuritavad pinnasekihid on veega küllastunud.

4.2.3 Täitepinnase sõelanalüüsid

Kuna visuaalsel hinnangul oli täitepinnaseks jämedateraline pinnas, siis teostati pinnaseliigituse määramiseks sõelanalüüsid. Analüüsiti PA-2 120-150 cm sügavusel võetud ning PA-3 130-150 cm sügavusel võetud pinnaseproove. Enne sõelumist kuivatati proovid õhukuivaks ning nühiti nuiaga, kuni kokkukleepunud pinnaseosad olid eraldunud (Joonis 4.2). Sõelumiseks kasutati Eesti Maaülikooli pinnaselaboris asuvat mehhaanilist sõela avadega 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125 ja 0,063 mm. Proove sõeluti 15 min ning seejärel kaaluti sõeltele jäänud pinnase massid. Saadud tulemused on toodud tabelites 4.4 ja 4.5.

Joonis 4.2. Pinnaseproovi ettevalmistamine sõelanalüüsiks

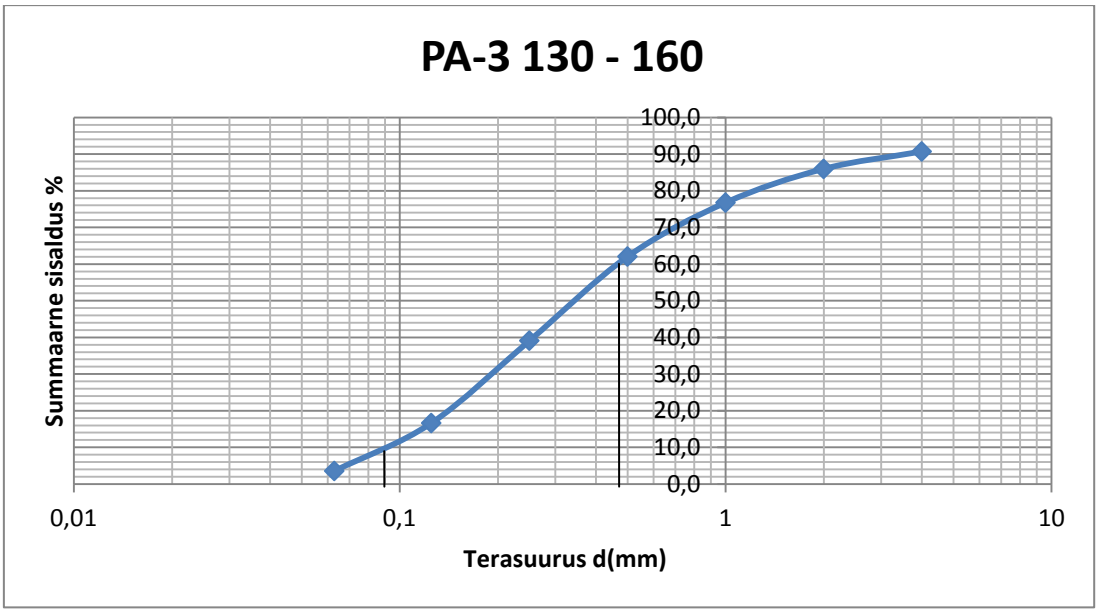
Tabel 4.4. Pinnaseproovi PA3 130-150 sõelanalüüsi tulemused

Pinnaseproov				PA3 130-160			
Sõelumiseks võetud pinnase mass g				519,85			
Sõelumiskadu g				9,15			
Sõela suurus mm	**Jääk sõelal g**	**Parand g**	**Parandatud jääk g**	**Fraktsioonid**		**Fraktsioonide summa %**	
				d, mm	**%**	**Jääk sõelal**	**Läbi sõela**
4	47,50	0,84	48,34	>4	9,3	9,3	90,7
2	24,25	0,43	24,68	4-2	4,7	14,0	86,0
1	47,00	0,83	47,83	2-1	9,2	23,2	76,8
0,5	75,15	1,32	76,47	1-0,5	14,7	38,0	62,0
0,25	117,20	2,06	119,26	0,5-0,25	22,9	60,9	39,1
0,125	114,85	2,02	116,87	0,25-0,125	22,5	83,4	16,6
0,063	66,75	1,17	67,92	0,125-0,63	13,1	96,4	3,6
0,063 all	18,00	0,32	18,32	<0,063	3,5	100,0	0,0
	510,70						

Tabel 4.5. Pinnaseproovi PA2 120-150 sõelanalüüsi tulemused

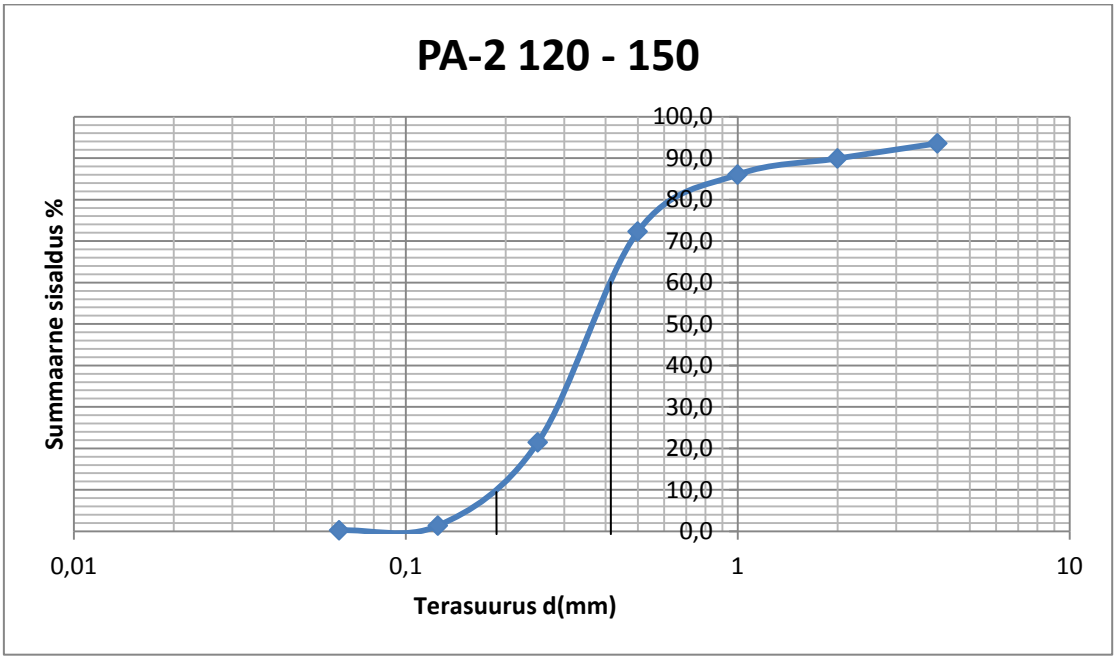
Pinnaseproov				PA2 120-150			
Sõelumiseks võetud pinnase mass g				409,50			
Sõelumiskadu g				5,10			
Sõela suurus mm	**Jääk sõelal g**	**Parand g**	**Parandatud jääk g**	**Fraktsioonid**		**Fraktsioonide summa %**	
				d, mm	**%**	**Jääk sõelal**	**Läbi sõela**
4	26,00	0,32	26,32	>4	6,4	6,4	93,6
2	14,70	0,18	14,88	4-2	3,6	10,1	89,9
1	15,75	0,20	15,95	2-1	3,9	14,0	86,0
0,5	55,60	0,69	56,29	1-0,5	13,7	27,7	72,3
0,25	205,60	2,56	208,16	0,5-0,25	50,8	78,5	21,5
0,125	81,25	1,01	82,26	0,25-0,125	20,1	98,6	1,4
0,063	4,55	0,06	4,61	0,125-0,63	1,1	99,7	0,3
0,063 all	0,95	0,01	0,96	<0,063	0,2	100,0	0,0
	404,4						

Saadud sõelanalüüsi tulemuste põhjal liigitati pinnas vastavalt standardi EVS 1997:1-2003 määratlusele (Tabel 1.3). Mõlema proovi puhul oli teri suurusega 2-60 mm <50% ning peenosise sisaldus <5%. Järelikult on mõlema katsetatud täitepinnase liigiks liiv. Kuna mõlema proovi puhul oli enamesinevaks alamfraktsiooniks terad suurusega 0,5-0,25 mm, siis on tegemist keskliivaga. Sõelanalüüsi tulemuste põhjal koostati lõimisekõverad, mis on toodud joonistel 4.3 ja 4.4. Lõimisekõverate pealt määrati d_{10} ja d_{60} suurused.



Joonis 4.3. Pinnaseproovi PA3 130-160 lõimisekõver

Pinnaseproov PA-3 130-160 juures on 60%-le fraktsioonide summast vastav tera mõõt d_{60} 0,49 mm ning 10%-le fraktsioonide summast vastav tera mõõt d_{10} 0,09 mm. Nende kahe väärtuse alusel arvutati lõimisetegur $C_u = d_{60}/d_{10}$= 0,49/0,09= 5,4. Vastavalt standardile EVS 1997-1:2003 on tegu ühtlase keskliivaga.



Joonis 4.4. Pinnaseproovi PA2 120-150 lõimisekõver

Pinnaseproov PA-2 120-150 juures on d_{60} 0,41 mm ning d_{10} 0,19 mm. Lõimiseteguriks saadi $C_u = d_{60}/d_{10}$= 0,41/0,19= 2,2. Vastavalt standardile EVS 1997-1:2003 on samuti tegu ühtlase keskliivaga.

4.2.4 Loodusliku pinnase liigitus plastsusomaduste järgi

Kuna proovide võtmisel oli visuaalsel hinnagul loodusliku pinnase puhul tegu savipinnasega, siis kasutati selle liigituse määramiseks plastsusomadusi. Selleks teostati esmalt plastsuspiiri määramine klassikalisel rullmeetodil. Igast puuraugust analüüsiti kolme pinnaseproovi erinevatelt sügavustelt. Pinnaseproove rulliti paberil, kuni tekkisid 3 mm paksused pinnasenöörid (Joonis 4.5), mis pudenesid rullimisel väiksemateks tükkideks. Tükid koguti alumiiniumist topsi (Joonis 4.6) ning seejärel kaaluti topsid, pärast mida kuivatati proovid kuivatuskapis 105°C juures. Kuivatamise järel kaaluti proovid uuesti ning kahe kaalumise vahest leiti pinnase niiskusesisaldused, mis vastavad plastsuspiirile. Plastsusarvud avaldati pinnase plastsuspiiri ning tabelis 4.7 toodud voolavuspiiri kaudu valemiga 1.20. Saadud tulemused on toodud tabelis 4.6.

Joonis 4.5. Pinnase plastsuspiiri määramine rullmeetodil

Joonis 4.6. Alumiiniumtopsi kogutud plastsuspiiri saavutanud pinnasetükid

Tabel 4.6. Pinnase plastsuspiiri määramine

Puurauk	Sügavus cm	Topsi nr	Topsi mass g	Topsi ja niiske pinnase mass g	Niiske pinnase mass g	Topsi ja kuiva pinnase mass g	Kuiva pinnase mass (m_t) g	Vee mass (m_w) g	Pinnase veesisaldus (w_p) %	Pinnase plastsusarv (I_p)	Plastsusarvu asetus A-joone suhtes	Pinnase liigitus plastsusarvu järgi
PA-1	100-130	815	26,45	38,40	11,95	37,20	10,75	1,20	11,16	7,74	>6	savipinnas
	200-220	519	21,70	31,65	9,95	30,85	9,15	0,80	8,74	5,41	<6	möllpinnas
	320-350	911	27,15	36,15	9,00	35,50	8,35	0,65	7,78	0,84	<6	möllpinnas
PA-2	170-200	601	24,90	35,80	10,90	34,85	9,95	0,95	9,55	7,08	>6	savipinnas
	320-350	898	27,95	38,90	10,95	38,20	10,25	0,70	6,83	8,97	>6	savipinnas
	370-400	678	24,50	38,45	13,95	37,35	12,85	1,10	8,56	4,22	<6	möllpinnas
PA-3	170-200	955	26,15	38,70	12,55	37,50	11,35	1,20	10,57	5,78	<6	möllpinnas
	230-260	655	24,40	35,25	10,85	34,35	9,95	0,90	9,05	4,53	<6	möllpinnas
	340-360	837	26,00	35,90	9,90	35,10	9,10	0,80	8,79	4,85	<6	möllpinnas

Tabelis 4.6 toodud platsusarvude kaudu määrati pinnase liik vastavalt standardi EVS 1997-1:2003 juhistele. Tulemustest selgus, et valdavalt on loodusliku pinnase näol tegemist möllpinnasega, kuid kolm proovi andsid tulemuseks savipinnase. Seda võib põhjendada asjaoluga, et moreen koosneb erinevate fraktsioonide segust.

Pinnase voolavuspiiride määramisel kasutati igast puuraugust kolmel erineval sügavusel võetud proove. Iga prooviga tehti kaks voolavuspiiri teimi kasutades selleks Casagrande aparaati. Pinnaseproovidest valmistati pasta (Joonis 4.7), mis asetati aparaadi kaussi. Seejärel tehti kaussi asetatud pinnasesse vagu (Joonis 4.8) ning alustati teimiga. Teimimisel loeti kausi löökide arv, kuni pinnasevagu täitus 13 mm pikkuselt. Katsetamine loeti õnnestunuks, kui löökide arv jäi vahemikku 15-40. Juhul, kui löökide arv ei jäänud eelpool nimetatud vahemikku, siis kuivatati pinnasepasta või lisati sellele vajadusel vett ning korrati katset, kuni löökide arv jäi määratud piiridesse. Ühe proovi teimimisel kasutati erineva veesisaldusega pinnasepastat.

Joonis 4.7. Voolavuspiiri teimideks ettevalmistatud pinnasepasta

Voolavuspiiri määramiseks kasutati empiirilisi seoseid ühe teimi andmetel (valemid 1.17 ja 1.18). Saadud tulemustest võeti edasistes arvutustes aluseks nende keskmine väärtus. Seejärel leiti tabelis 4.6 toodud platsuspiiri ning tabelis 4.7 leitud voolavuspiiri kaudu voolavusarv I_L kasutades valemit 1.21. Voolavuspiiri määramise tulemused on toodud tabelis 4.7.

Joonis 4.8. Pinnasepastasse tõmmatud vagu Casagrande aparaadis

Tabel 4.7. Proovide voolavuspiiri määramine Casagrande aparaadiga

Puur-auk	Sügavus cm	Topsi nr	Löökide arv (n)	Topsi mass g	Topsi ja niiske pinnase mass g	Niiske pinnase mass g	Topsi ja kuiva pinnase mass g	Kuiva pinnase mass g	Vee mass g	Pinnase vee-sisaldus (w) %	Voolavus-piir (w_L) (Valem (1.17) %	Voolavus-piir (w_L) (Valem (1.18) %	Keskmine voolavus-piir (w_L) %	Voolavus-arv (I_L)	Jaotus w_L järgi
PA-1	100-130	992	32	26,20	42,80	16,6	40,20	14,00	2,60	18,57	19,13	19,20	**18,91**	**0,36**	Sitke
		669	20	22,65	38,50	15,85	35,95	13,30	2,55	19,17	18,66	18,64			
	200-220	596	34	24,85	46,50	21,65	43,90	19,05	2,60	13,65	14,17	14,22	**14,15**	**0,60**	Pool-pehme
		593	26	25,35	45,25	19,9	42,80	17,45	2,45	14,04	14,11	14,12			
	320-350	876	36	26,25	41,15	14,9	40,40	14,15	0,75	5,30	5,54	5,57	**8,62**	**0,79**	Pehme
		962	23	26,70	47,05	20,35	44,90	18,20	2,15	11,81	11,69	11,69			
PA-2	170-200	515	40	22,70	43,20	20,5	40,40	17,70	2,80	15,82	16,74	16,86	**16,63**	**0,49**	Sitke
		960	25	28,40	50,70	22,3	47,55	19,15	3,15	16,45	16,45	16,46			
	320-350	947	13	26,90	46,50	19,6	42,85	15,95	3,65	22,88	21,14	21,09	**15,80**	**0,25**	Pool-kõva
		956	40	26,90	54,20	27,3	51,75	24,85	2,45	9,86	10,44	10,51			
	370-400	819	23	27,60	45,10	17,5	43,15	15,55	1,95	12,54	12,41	12,41	**12,78**	**-0,14**	Kõva
		978	35	27,45	42,65	15,2	40,95	13,50	1,70	12,59	13,12	13,18			
PA-3	170-200	817	29	26,85	43,90	17,05	41,55	14,70	2,35	15,99	16,28	16,31	**16,36**	**0,53**	Pool-pehme
		977	24	27,25	44,90	17,65	42,40	15,15	2,50	16,50	16,42	16,42			
	230-260	580	29	23,30	42,05	18,75	40,05	16,75	2,00	11,94	12,16	12,18	**13,58**	**1,03**	Voolav
		676	25	24,60	39,95	15,35	37,95	13,35	2,00	14,98	14,98	14,99			
	340-360	934	24	27,30	45,90	18,6	43,50	16,20	2,40	14,81	14,74	14,74	**13,64**	**0,33**	Sitke
		696	36	24,00	41,30	17,3	39,45	15,45	1,85	11,97	12,51	12,58			

Tabeli 4.7 põhjal selgub, et proovide voolavuspiirid jäävad vahemikku 8,62-18,91%. Kuna w_L<35%, siis on vastavalt standardi EVS 1997-1:2003 liigitusele (Tabel 1.6) kõigi proovide puhul tegemist väheplastse pinnasega. Tulemustest selgub, et kõrgemal asuvate pinnakihtide voolavuspiir on suurem.

Puuraugu PA-1 pinnaseproovid muutuvad proovi sügavuse suurenedes sitkest olekust (sügavus 100-130 cm) poolpehmesse olekusse (sügavus 320-350 cm). Puuraugu PA-2 proovid muutuvad sitkest olekust (sügavus 170-200 cm) kõvasse olekusse (sügavus 370-400 cm). Hoone siseõues tehtud puuraugu PA-3 proovid muutuvad poolpehmest olekust (sügavusel 170-200 cm) sitkesse olekusse (sügavusel 340-360 cm), kusjuures sügavusel 230-260 cm on pinnas hoopis voolavas olekus. Seda võib seletada asjaoluga, et PA-3 ei asu vundamendi otseses läheduses, küll aga on seal 1,65 cm sügavuseni täitepinnasena keskliiv, millel on võrreldes loodusliku pinnasega paremad filtratsiooniomadused. Kuna osa hoone vihmavetest on suunatud siseõue, siis on seal pinnase niiskussisaldus suurem ja seoses sellega ka looduslik pinnas nõrgem.

4.2.5 Pinnaste filtratsiooniomadused

Kuna täitepinnase puhul on tegu liivpinnasega, siis kasutati selle filtratsioonimooduli määramiseks Hazeni'i valemit (1.27). Täitepinnase sõelanalüüsi põhjal koostatud lõimisekõveratelt määrati 10%-le fraktsioonide summast vastav tera mõõt d_{10} (Joonis 4.3 ja Joonis 4.4). Filtratsioonimooduli arvutustes võeti aluseks kahe pinnaseproovi keskmine efektiivdiameeter d_{10}= (0,09+0,19)/2 = 0,14 mm. Täitepinnase filtratsioonimooduliks saadi

$$k_{täide} = Cd_{10}^2 = 100 * 0{,}014^2 = 0{,}0196 \frac{cm}{s} = 2 * 10^{-2} \frac{cm}{s}.$$

Loodusliku pinnase filtratsioonimoodul määrati lihtsustatuna tabeli 1.8 järgi, võttes väärtuseks $k_{looduslik}$= 10^{-7} cm/s. Tulemustest selgub, et täitepinnas on heade filtratsiooniomadustega, looduslik pinnas on aga praktiliselt vett mittejuhtiv.

4.3 Pinnase- ja jõevee tasemed

Kuna antud hoone asub jõekaldal, siis oli oluline kindlaks teha jõeveerežiim, et teada saada, kuidas veetase vundamendi suhtes asetseb. Keskkonnaametilt ja

Keskkonnaagentuurilt Saadjärve ning Mudajõe veetasemete kohta pärides vastust ei saadud, kuna vastavaid uuringuid ei ole seal teostatud. Seetõttu tuli veetasemete kohta informatsiooni koguda lühemaajaliste mõõtmiste alusel. Veetasemete mõõtmistulemused on toodud tabelis 4.8.

Tabel 4.8. Veetasemete mõõtmistulemused

	Veetasemete kõrgus merepinnast (m)			
Kuupäev	**PA1**	**PA2**	**PA3**	**Mudajõgi**
26.02.2015	53.15	53.15	53.23	52.70 (jää)
05.03.2015	53.21	53.22	53.35	52.70 (jää)
15.03.2015	52.96	53.03	53.17	52.60

Esmased veetasemete mõõtmised tehti sulaperioodil päev pärast puuraukude puurimist. Puuraugud jäeti lahti ning kaeti puitlauaga, et saaks jälgida pinnasevee kõikumist. Kuna uuritava perioodi (2015. aasta) talv oli suhteliselt lumevaene, siis võib järeldada, et mõõdetud tasemed maksimumväärtusteni ei küündinud. Seetõttu tuli jõe kohta informatsiooni koguda kohalike elanike käest, et saada aimu, kui kõrgele veetase võib tõusta. Mudajõe režiimi hindamise tegi keeruliseks see, et mõnisada meetrit hoonest allavoolu asub vana villaveski tamm (Joonis 4.9), millel puudub süstemaatiline veetaseme reguleerimine. Tammi reguleeritakse teisaldatavate puitshandooridega, mida on lihtne ära võtta. Seetõttu on Mudajõe veetase küllaltki kõikuv.

Joonis 4.9. Mudajõel asuv villaveski tamm

Kohalike elanike ütluste põhjal võeti Mudajõe maksimaalse veetaseme hindamisel aluseks jõel asuv purre (Joonis 4.10). Küsitluse põhjal selgus, et antud purdest kõrgemale pole jõevesi aastate jooksul tõusnud. Purde kõrgus merepinnast on 52,85 m. Veetasemed on ära märgitud lisas 2 oleval geoloogilisel profiilil.

Joonis 4.10. Mudajõe maksimaalse veetaseme määramise aluseks võetud purre

4.4 Olemasolev drenaaž

Hoone ehitamist alustati 1975. aastal. Kohalike elanike sõnul oli sellel ajal küllaltki põuane suvi ning Mudajõe veetase oli madal. Vundament jõuti valmis ehitada, kuid siis tuli sademeterohke periood ja vundament täitus veega. Ehitamine peatati ning probleemi lahendamiseks otsustati teha krundil maaparandustöid. Tehtud maaparandustööde kohta dokumente säilinud ei ole ja seetõttu tuli antud uurimustöö käigus drenaažitorude asukoht ligikaudselt määrata.

Hoone mõlemas küljes on drenaažikaevud (Joonis 4.11), millest sai aimu, kuidas torud maa sees paiknevad. Samuti sai kaevudest mõõta sissetulevate ning väljaminevate torude kõrgused. Hoone ehitamise ajal juures olnud isikutelt saadi informatsiooni, et drenaažitorud paigaldati terve tagahoovi ulatuses. Selleks, et saada paremat ülevaadet olemasolevast drenaažisüsteemist, kasutas töö autor vanarahva tarkusest tuntud niinimetatud "vitste meetodit", mille juures hoitakse käes kahte peenikest metalltraati ning juhul, kui ollakse veesoone peal, tõmbuvad varraste otsad kokku. Meetodi toimimise kontrollimiseks kasutati kindlalt teadaolevaid drenaaži põhitrasse, mille kohal vardad tõmbusid kokku. Niimoodi kõnniti terve krunt läbi ning ilmsiks tuli süstemaatne torustikuskeem, mis ühtis ka kohalike elanike kirjeldusega.

Joonis 4.11. Drenaažikaev

Saadud tulemused kaardistati ja kanti lisas 2 olevale joonisele. Joonisel on näha, et drenaažitorustik paikneb ruudustikuliselt kogu krundi ulatuses ning läheb ka vundamendi alt läbi. Seda kinnitab ka asjaolu, et samas kohas, kus kaardistati vundamendi alust läbiv drenaažitoru, on keldris kõige suuremate niiskuskahjustusega piirkond (Joonis 3.4).

Drenaaživee äravool on mõlemast kaevust suunatud Mudajõkke (Joonis 4.12). Idapoolsest kaevust suubub jõkke kaks toru. Kohalike elanike sõnul rajati teine äravoolutoru hiljem juurde, kuna esimene ei toiminud kuigi hästi ning sai arvatavasti kannatada, kui rasked veomasinad toru kohal olevast pinnasest üle sõitsid. Läänepoolse äravoolutoru ots on ummistunud ning seda pole enam maapinnalt märgata.

Joonis 4.12. Drenaažitoru äravool Mudajõkke

Kuna drenaažisüsteemi pole selle rajamise algusest hooldatud, siis suure tõenäosusega on torud ummistunud ning nende efektiivsus on küsitav. Krundi geoloogilise profiili (Lisa 2) pealt selgub, et kuna drenaažikaevus on sissetuleva toru kõrgus merepinnast 52,70 m, siis kõrgvete ajal, mil Mudajõe tase võib ulatuda kuni 52,85 m, töötab drenaaž vastupidiselt ning uputab hoone keldri üle.

4.5 Pinnaseuuringute järeldused

Pinnaseuuringute tulemusena määratleti hoone ümbruses asuva pinnase liigitus ja omadused. Vundamendi ümber asub täitena heade filtratsiooniomadustega keskliiv. Looduslikuks pinnaseks on aga halbade filtratsiooniomadustega väheplastne möllpinnas. Kuna täitepinnas juhib vett hästi, siis sadevete ajal nõrgub selles vesi kiiresti loodusliku pinnaseni, milles on aga vee liikumine väga aeglane. Seetõttu tekib vundamendi ümber justkui "bassein". Mõõtmistest selgub, et pinnasevee tase on vundamendi taldmikust pidevalt poole meetri jagu kõrgemal (Lisa 2). Vundamendile mõjuvad veekoormustena pinnaseniiskus ja mittesurveline vesi.

Olemasolev drenaaž töötab suurvete ajal hoopis vastupidi ja juhib vett vundamendini. Drenaažisüsteemi välja lõhkuda pole aga mõtet, kuna pole teada, kuidas pinnas siis vundamendi ümber käituma hakkab. Kuna kelder on ehitatud Mudajõega samale tasemele, siis on vundamendi ümbert vee ärajuhtimine küllaltki keeruline. Järgnevas peatükis on toodud mõningad ettepanekud probleemi lahendamiseks.

5. NIISKUSKAHJUSTUSTE LAHENDUSED

5.1 Vundamendi hüdroisoleerimine

Vundamendi hüdroisoleerimistööde tulemuslikkus sõltub tööde mahust ja põhjalikkusest ning loob võimalused ruumide edaspidiseks kasutamiseks. Ideaalis tuleks keldriseinte ja põranda ümber moodustada hüdroisolatsioonimaterjalidest katkematu "vann", mis tagaks konstruktsioonide täieliku veepidavuse. Töö autor on keldri niiskusprobleemide lahenduseks hüdroisolatsioonimaterjalidega välja pakkunud kolm varianti. Tööde lahendusjoonised on toodud lisas 3.

5.1.1 Variant A. Vundamendi vertikaalne hüdroisoleerimine

Pinnase ja mittesurvelise vee tõrjeks on ette nähtud vundamendiseintele vertikaalse niiskusetõkke paigaldamine koos vundamendi soojustamisega. Selleks kaevatakse vundament taldmikuni lahti, puhastatakse vundamendi pind survepesuga ning hüdroisolatsioonimaterjalina kasutatakse kas võõbatavat paksbituumenkatet Epasit bdk/2k või rullmembraani GRACE Bituthene 4000. Materjalide maksumuste erinevused on toodud peatükis 5.3.

Võõbatava hüdroisolatsioonimaterjali Epasit bdk/2k kasutamisel tuleb eelnevalt aluspind hoolikamalt ettevalmistada. Betoon peab olema kuiv või kergelt niiske, tasane, tugev ja sellel ei tohi olla naket takistavaid osakesi. Aluspinna poorid, vuugid ja tühikud peavad olema täidetud, teravad servad maha lihvitud, konarused tasandatud ja õõnsused kõrvaldatud. Selleks kasutada toodet Epasit MineralDicht sperr. Epasit bdk/2k tuleb kanda pinnale kelluga kahes kihis.

GRACE Bituthene 4000 rullmembraani kasutamisel ei pea aluspinda eelnevalt nii põhjalikult siluma, kuna membraan katab suuremad konarused. Betoon peab olema puhastatud survepesuga ja eelnevalt kaetud ühe kihi GRACE Primer B2 krundiga. Bituthene 4000 paigaldamisel eemaldada membraani kaitsev paberkiht ning suruda kleepuv pool vastu aluspinda. Membraan tuleb hõõruda vastu betooni, et tagada tugev nakkuvus. Järgnevad rullid paigaldada vähemalt 50 mm ülekattega nii külgedel kui otstes. Kui membraan saab paigaldamisel vigastada, siis vigased kohad täiendavalt paigata

Bituthene 4000 tükiga. Hoone nurgad töödelda Bituthene Liquid Membrane vedelmembraaniga.

Hoone sokliosa tuleb samuti hüdroisoleerida. Selleks eemaldada soklilt varasemalt paigaldatud krohv ning EPS soojustus ja seejärel aluspind survepesuga puhastada. Olenevalt sellest, millist hüdroisolatsioonimaterjali kasutatakse, tuleb katta maapinnast kõrgemale jääv sokliosa vähemalt 300 mm ulatuses kas Epasit bdk/2k või Bituthene 4000 materjaliga. Seejärel katta hüdroisolatsioonimaterjal EPS soojustusplaatidega ning krohviga.

Vundamendiosa hüdroisolatsioon katta pinnases kasutamiseks mõeldud EPS plaatidega, mis omakorda katta INTERPLAST ISO-DRAIN 8 Geo drenaažimattidega.

Kirjeldatud tööde käigus paigaldada vundamendi ümber täiendav drenaažitorustik, mille kirjeldus on toodud peatükis 5.2. Antud lahendus on mõeldud esmaseks keldri niiskuskahjustuste probleemi parandamiseks. Kui pärast tööde teostamist esineb keldris jätkuvalt niiskusega probleeme, siis tuleb keldriruumides teostada täiendavad hüdroisoleerimistööd.

5.1.2 Variant B. Keldri vertikaalne ja horisontaalne hüdroisoleerimine

Variant B on eelnevas peatükis 5.1.1 kirjeldatud variandi A jätk, millega püütakse saavutada keldriruumide maksimaalne veetõrje. Vertikaalne hüdroisolatsioon ja täiendav pinnase drenaažisüsteem paigaldatakse sarnaselt peatükis 5.1.1 ning 5.2 kirjeldatule. Lisaks teostatakse keldriruumides horisontaalne niiskustõrje.

Vundamendi ja keldri kandvate siseseinte kapillaarniiskuse tõrjeks on ette nähtud tekitada injekteerimise teel horisontaalne niiskusetõke. Selleks puuritakse seinte alumisse pinda 30 kraadise nurga all 10 cm sammuga avad läbimõõduga 12 mm ning survega injekteerimismeetodil surutakse seintesse Epasit msf injektsioonivedelik, mis tekitab seintes vetthülgava tsooni. Pärast 24 tundi mõjuaega täita puuraugud Epasit msp mördiga.

Keldripõrandate hüdroisolatsiooniks kasutada elastset hüdroisoleerkatet Epasit dsf/2k. Materjali kiht sildab juba olemasolevaid ja aluspinnas tekkida võivaid mikropragusid. Toote paigaldamiseks eemaldada betoonilt olemasolevad kattematerjalid ning pind puhastada. Betoonile tuleb kanda minimaalselt kolm kihti hüdroisoleerkatet. Materjali

pealekandmiseks kasutada pintslit, kellut või sobivat pihustussüsteemi. Kuiva kihi minimaalne paksus peab olema 2,5 mm ning uue kihi võib peale kanda, kui see ei kahjusta eelmist. Kattel tuleb lasta kuivada vähemalt 10 päeva, mille järel võib hüdroisolatsiooni katta krohviga või keraamiliste plaatidega.

Keldriseintelt tuleb vanad kihid eemaldada ja põranda ning seinte ühenduskohad katta veetiheda krohviga Epasit MineralDicht sperr. Ülejäänud seinapinnad katta prits-nakkekrohviga Epasit MineralSanoPro hb ning seejärel saneerkrohviga MineralSanoPro Ipf-WTA. Saneerkrohvi kihi paksus peab olema vähemalt 2 cm. Krohv on valget värvi ning sellele ei ole vaja täiendavat viimistluskihti lisada. Soovi korral võib pinnal kasutada värve ja viimistlusmaterjale, mis ei takista veeauru difusiooni.

5.1.3 Variant C. Keldri seespoolne hüdroisoleerimine kristallatsiooni baasil

Keldri seespoolne hüdroisoleerimine teostatakse XYPEX toodetega, milles sisalduvate aktiivsete kemikaalide mõjul tekib katalüütiline reaktsioon, mis moodustab mittelahustava kristallatsiooni betooni poorides ja kapillaarsetes pragudes. Antud lahenduse puhul ei ole tarvis vundamendi ümber pinnast lahti kaevata.

Keldriseinte ja -põrandate sisemiseks hüdroisoleerimiseks kasutada toodet XYPEX CONCENTRATE. Selleks peab betoonpinnad puhastama mustusest, kile- ja värvitükkidest või muudest pinnakatte osadest. Betoonpinna kapillaarsüsteem peab olema avatud, et XYPEX tooted saaksid nakkuda ja imenduda. Juhul, kui pinnad on liiga siledad, tuleb betoonpinda töödelda kergelt liivapaberiga või happesöövitusega. Betoon peab olema toote pealekandmisel läbinisti märg.

XYPEX CONCENTRATE kantakse pinnale kasutades jäika harja või pihustit. Materjal tuleb kanda pinnale ühe- või kahekordse kihina, kusjuures ühekordne kattekiht ei tohi olla paksem kui 1,25 mm.

Hüdroisolatsioonikihti võib viimistleda värvi või teiste analoogsete katetega 21 päeva möödudes. Plaadisegude, krohvide või kipsiga võib viimistlemist alustada 48 tundi pärast viimase XYPEX kihi pealekandmist.

5.2 Täiendava drenaažisüsteemi rajamine

Samaaegselt keldri hüdroisolatsioonitöödega tuleb teostada vundamendi ümber täiendav drenaažitorustike paigaldus, mille eesmärgiks on hoone ümbruses pinnaseveetaseme alandamine.

Selleks tuleb kaevata vundamendi ümbrus lahti ning pärast vertikaalse hüdroisolatsiooni paigaldamist vundamendiseintele alustada drenaažitorude paigaldamisega. Torudena kasutada selleks spetsiaalselt mõeldud plasttorusid. Torud asetada taldmiku kõrvale killustikust alusele ning katta filterkangaga. Vee äravooluks anda dreenidele kalle 5 mm meetri kohta. Torud katta poole meetri paksuse killustiku kihiga.

Drenaažitorud juhtida olemasolevasse drenaažikaevu hoone kagupoolses küljes. Torude juhtimine drenaažikaevu korraldada kahes järgus – hoone põhjapoolsest küljest suunaga läänest itta ning hoone läänepoolsest küljest suunaga põhjast lõunasse. Hoone nurkadesse paigaldada drenaažitorude ühenduskohtadesse vaatluskaevud, kust on võimalik süsteemi hooldada. Drenaažisüsteemi paigaldusjoonised on toodud lisas 3.

Drenaažikaevust juhitida vesi olemasolevate kanalite kaudu Mudajõkke. Selleks, et vältida drenaažisüsteemi vastupidist töötamist suurvete ajal, paigaldada drenaažikaevust väljavoolavate torude otstesse klapid, mis takistavad vee vastupidist liikumist. Juhul, kui Mudajõe tase tõuseb kõrgemale kui 52,70 m merepinnast, korraldada drenaažikaevudest vee väljapumpamine. Vesi suunata Mudajõkke hoonest allavoolu.

Hoone põhjapoolses küljes paigaldada vihmaveerennide juurde maa-alune sadevee kanal, mis juhib sadeveed hoonest eemale. Kanalile anda kalle 5 mm meetri kohta. Pinnase tagasitäitmisel moodustada kalle hoonest eemale.

5.3 Tööde hinnanguline maksumus

Tööde hinnanguline maksumus on leitud OÜ EKE Nora ehituslike üksushinnete ning OÜ Langeproon Inseneriehitus poolt väljaantud teabe põhjal. Maksumused on toodud tabelites 5.1, 5.2 ja 5.3. Tööde mahud on määratud lisas 1 olevate elamu jooniste ning kohapeal tehtud kontrollmõõtmiste alusel.

Tabel 5.1. Variant A hüdroisolatsiooni- ning drenaažitööde hinnangule maksumus

Töö kirjeldus	Töö maht	Ühik	Töö ühikmaksumused					Töö maksumus				
			Tööaeg in.t	Materjal EUR	Masinad EUR	Töötasu EUR	Summa EUR	Tööaeg in.t	Materjal EUR	Masinad EUR	Töötasu EUR	Summa EUR
Pinnase kaevetööd Bobcat seadmega	75,00	m^3	-	-	2,64	1,12	3,76	-	-	198,00	84,00	**282,00**
Pindade kihtide eemaldamine ning survepesu	57,60	m^2	0,80	-	-	11,20	11,20	46,08	-	-	645,12	**645,12**
Pindade tasanduskrohv MineralDichtSperr	68,40	m^2	0,30	4,80	-	4,20	9,00	20,52	328,32	-	287,28	**615,60**
Hüdroisolatsioon Epasit bdk/2k materjaliga	68,40	m^2	0,30	8,40	-	4,20	12,60	20,52	574,56	-	287,28	**861,84**
Pindade aluskrunt GRACE Primer B2	68,40	m^2	-	0,52	-	0,84	1,36	-	35,57	-	57,46	**93,024**
Hüdroisolatsioon GRACE Bituthene 4000 membraaniga	68,40	m^2	0,60	7,50	-	8,40	16,50	41,04	513,00	-	574,56	**1128,6**
Vundamendi soojustamine EPS plaatidega	57,60	m^2	0,20	5,91	-	2,80	8,71	11,52	340,42	-	161,28	**501,68**
Vundamendi katmine hüdroisolatsioonimatiga	57,60	m^2	0,10	11,03	-	1,40	12,43	5,76	635,33	-	80,64	**715,97**
Geotekstiilkattega drenaažitorude paigaldamine	36,00	m	0,30	1,84	-	4,20	6,04	10,80	66,24	-	151,2	**217,44**
Plastmassist drenaaži kontrollkaevud	2,00	tk	8,00	244,86	-	112,00	356,86	16,00	489,72	-	224,00	**713,72**
Sadevee kanali paigaldamine	30,00	m	0,20	2,77	-	3,30	6,07	6,00	83,10	-	99,00	**182,10**
				Kokku Epasit hüdroisolatsiooniga				137,20	2517,68	198,00	2019,80	**4735,48**
				Kokku GRACE hüdroisolatsiooniga				137,20	2163,37	198,00	2077,26	**4438,63**

Tabel 5.2. Variant B hüdroisolatsiooni- ning drenaažitööde hinnanguline maksumus (lisandub Variant A maksumus)

Töö kirjeldus	Töö maht	Ühik	Töö ühikmaksumused					Töö maksumus				
			Tööaeg in.t	Materjal EUR	Masinad EUR	Töötasu EUR	Summa EUR	Tööaeg in.t	Materjal EUR	Masinad EUR	Töötasu EUR	Summa EUR
Seinte ja põrandate puhastamine ning survepesu	194,70	m^2	0,80	-	-	11,20	11,20	155,75	-	-	2180,53	**2180,53**
Keldriseinte injekteerimistööd	40,00	m^2	3,00	63,09	-	42,00	105,09	120,00	2523,60	-	1680,00	**4203,60**
Põrandate hüdroisoleerimine Epasit dsf/2k materjaliga	60,17	m^2	0,30	8,40	-	4,20	12,60	18,05	505,43	-	252,71	**758,14**
Seinte katmine Epasit hb nakkekrohviga	134,50	m^2	0,30	4,80	-	4,20	9,00	40,36	645,69	-	564,98	**1210,68**
Seinte katmine MineralSanoPro Ipf-WTA saneerkrohviga	134,50	m^2	0,30	5,25	-	4,20	9,45	40,35	706,13	-	564,90	**1271,03**
			Kokku Epasit vundamendi hüdroisolatsiooniga					511,71	6898,53	198,00	7262,93	**14359,50**
			Kokku GRACE vundamendi hüdroisolatsiooniga					511,71	6544,22	198,00	7320,38	**14062,60**

Tabel 5.3. Variant C hüdroisolatsioonitööde hinnanguline maksumus

Töö kirjeldus	Töö maht	Ühik	Töö ühikmaksumused					Töö maksumus				
			Tööaeg in.t	Materjal EUR	Masinad EUR	Töötasu EUR	Summa EUR	Tööaeg in.t	Materjal EUR	Masinad EUR	Töötasu EUR	Summa EUR
Seinte ja põrandate puhastamine ning survepesu	194,7	m^2	0,80	-	-	11,20	11,20	155,75	-	-	2180,53	**2180,53**
Seinte katmine XYPEX CONCENTRATE materjaliga	134,5	m^2	0,40	5,62	-	5,60	11,22	53,81	756,00	-	753,31	**1509,31**
Põrandate katmine XYPEX CONCENTRATE MATERJALIGA	60,17	m^2	0,30	5,62	-	4,20	9,82	18,05	338,16	-	252,71	**590,87**
							Kokku	227,61	1094,16	-	3186,55	**4280,71**

Tabelitest selgub, et kõige odavam viis keldri hüdroisoleerimiseks on variant C (4280 EUR). Selle meetodi eeliseks on veel asjaolu, et mullatöid ei ole vaja teha ning maja ümbrust pole seetõttu tarvis üles kaevata. Teisalt jääb selle lahenduse puhul vundamendile endiselt mõjuma väline veekoormus, mis ei avalda konstruktsioonidele positiivset mõju.

Lahendusvariant A puhul tuleb Epasit hüdroisolatsioonitooteid kasutades ligikaudseks ehitusmaksumuseks 4735 EUR, GRACE rullmembraani kasutades aga 4440 EUR. Rullmembraani eeliseks on veel see, et teda on lihtsam vundamendile kanda ning eelnevalt ei tule pindu niivõrd põhjalikult tasandada. Täiendava drenaažitorustiku ja sadevee kanalite paigaldus aitavad vundamendi ümbruses kaasa pinnasevee taseme alandamisele ning tänu sellele mõjuvad konstruktsioonidele väiksemad veekoormused.

Variant B on mõeldud kasutamiseks juhul, kui lahendusvariant A juures tehtud tööd ei anna rahuldavaid tulemusi ja keldrisse tungib vesi jätkuvalt sisse. Seega on variant B variandi A jätk ning ehitusmaksumuse leidmisel arvestati eelnevad tööd maksumuse sisse. Kasutades vundamendi välispinnal Epasit paksbituumenkatet, tuleb variant B hinnanguliseks maksumuseks 14 360 EUR, kasutades GRACE rullmembraane, kujuneb summaks aga 14 060 EUR.

Kõikide tööde maksumuste hindamisel on juurde arvestatud ka töötasu ehitusmeestele. Maja elanikud saavad keldri hüdroisoleerimise kulusid oluliselt vähendada, kui teevad spetsiifilisi oskuski mittenõudvad tööd omal käel, näiteks seina- ja põrandapindade ettevalmistustööd.

KOKKUVÕTE

Uurimustöö keskendus Tabivere vallas asuva elamu keldri niiskuskahjustuste põhjuste väljaselgitamisele ja probleemide lahenduse leidmisele koos tööde hinnangulise maksumuse arvutamisega. Keldri veekahjustuste põhjuste määramiseks teostati hoone krundil geotehnilised uuringud. Selleks puuriti ettevõtte Alus-Geoloogia OÜ puuragregaatiga kolm puurauku, millest võetud pinnaseproove asuti analüüsima Eesti Maaülikooli pinnaselaboris.

Laboratoorsel analüüsil määrati standardi EVS 1997-1:2003 ja üldtunnustatud meetodite järgi hoone vundamenti ümbritseva pinnase liigitus ning füüsikalised omadused, millest selgus, et elamu on ehitatud halbade filtratsiooniomadustega möllmoreen pinnasele. Vundamendi ümber asub aga täitepinnasena heade filtratsiooniomadustega keskliiv.

Oluliseks faktoriks elamu krundi geotehniliste uuringute teostamisel oli ka hoone lähedal asuv Mudajõgi. Selleks, et saada aimu, kuidas jõgi elamu vundamenti mõjutab, teostati jõe veerežiimi uuringud, mille käigus määrati jõevee tasemed. Selgus, et suurvete ajal, mil Mudajõe tase on kõrge, töötab krundi olemasolev drenaaž vastupidiselt ning juhib vett vundamendini. Puuraukudest mõõdetud pinnaseveetasemed näitasid, et vundament on umbes 50 cm ulatuses pinnasevee tasemest all pool.

Keldri niiskusprobleemide lahenduseks pakkus uurimustöö autor välja kolm varianti hüdroisolatsioonimaterjalidega ning täiendava drenaaži rajamisega. Keldri hüdroisoleerimise lahendused leiti OÜ Langeproon Inseneriehitus poolt pakutavate materjalide alusel.

Esimese lahendusvariandina (variant A) pakuti välja vundamendiseinte välise hüdroisoleerimine paksu bituumenkattega või veekindla rullmembraaniga. Maksumusest selgus, et rullmembraani kasutamine tuleb natukene odavam. Tööde teostamise ajal tuleb rajada ka täiendav drenaažisüsteem ümber vundamendi perimeetri koos sadevete kanalite paigaldamisega.

Teine lahendusvariant (variant B) on eelmise variandi põhjalikum jätk, juhul kui niiskusprobleemid keldriruumides jätkuvad. Selleks teostatakse lisaks vundamendi hüdroisoleerimisele veel seinte kapillaarniiskuse tõke injekteerimismeetodil ja keldriseinte ning -põrandate hüdroisoleerimine veetihedate krohvidega.

Kolmanda lahendusena (variant C) pakuti välja keldri seespoolne hüdroisoleerimine XYPEX toodetega, milles sisalduvate aktiivsete kemikaalide mõjul tekib katalüütiline reaktsioon, mis moodustab mittelahustava kristallatsiooni betooni poorides ja kapillaarsetes pragudes. See lahendus ei nõua mullatöid ning maja ümbrust pole tarvis lahti kaevata.

Kuigi keldri seespoolne hüdroisoleerimine betooni kristallatsiooni baasil (variant C) on kõige odavam ja ei nõua kaevetöid, jäävad vundamendi ümbruses pinnasetingimused samaks. Selle lahendusega on võimalik likvideerida niiskuskahjustused keldri siseruumides, kuid välistesse vundamendi konstruktsioonidesse jäävad need alles. Seetõttu soovitab töö autor probleemi lahendamiseks kasutada vundamendi vertikaalset hüdroisoleerimist (variant A) koos täiendava drenaažisüsteemi rajamisega.

Antud magistritöö eesmärk saavutati. Pinnaseuuringutega tehti kindlaks krundi geotehnilised tingimused ja saadud andmetele tuginedes leiti erinevad keldri hüdroisoleerimise lahendused.

KIRJANDUSE LOETELU

Aluskord. [WWW] http://www.ut.ee/BGGM/eestigeol/aluskord.html (10.05.2015)

Budhu, M. (2007). Soil mechanics and foundations. USA: John Wiley & Sons.

Cernica, J.N. (1995). Geotechnical Engineering: Foundation Design. New York: John Wiley & Sons.

Consistency of Soil (Atterberg limits). [WWW] http://cereference.com/book/geotechnical-engineering/consistency-soil-atterberg-limits#sthash.kyS2o3Dm.dpbs (02.03.2015)

Eesti Vabariik: Maa. Rahvas. Kultuur.(2013)./ Toimetaja Alvar Loog. Tallinn: "TEA" kirjastus.

Ehituskonstruktori käsiraamat. (2012). /Toimetaja Tiit Masso. Tallinn: "Ehitame" kirjastus.

EKE nora: ehituslikud üksushinded. (2013). Tallinn: EKE NORA OÜ

EVS 1997-1:2003. Geotehniline projekteerimine. Osa 1: Üldeeskirjad. 2003. Eesti Standardikeskus.

Foundations and concrete work. (2003). Newtown: The Taunton Press

Gonzales de Vallejo, L.I., Ferrer, M. (2011). Geotechnical engineering. London: Taylor & Francis Group.

Google Maps kaardirakendus. [WWW] https://maps.google.ee (03.02.2015)

Infoleht: Bituthene 4000. (2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Infoleht: Bituthene 8000. (2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Infoleht: Elastne hüdroisoleerkate epasit dsf/2k. (2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Infoleht: ISO-DRAIN 8 Geo. (2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Infoleht: Mauersanit, flüssig epasit msf. Mauersanit, Schlämme epasit msp. (2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Infoleht: MineralDicht. (2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Infoleht: MineralSanoPro. (2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Infoleht: Paks bituumenkate epasit bdk/2k. (2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Infoleht: Preprufe/Bituthene hüdrtoisolatsioonisüsteem.(2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Infoleht: XYPEX muudab betooni veekindlaks. (2015). Tallinn: OÜ Langeproon Inseneriehitus

Jaaniso, V. (2012). Pinnasemehaanika. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool.

Klein, G., Doroškevitš, N., Smirenkin, P. (1970). Alused ja vundamendid. Tallinn: "Valgus" kirjastus.

Lemberg, U. (2012). Pinnase liigitamine geotehnikas. - *Keskkonnatehnika*, 2/12, lk. 16-19.

Lemberg, U., Oll, K. (1992). Casagrande meetodi ja Rootsi ning Vassiljevi koonusmeetodi võrdlev analüüs. - *X Eesti geotehnika konverents*, lk. 55 - 60.

Lemberg, U., Oll, K., Maantoa, T. (1992). Pinnase klassifikatsioonist lõimise järgi. - *X Eesti geotehnika konverents*, lk. 60-76.

Maa-ameti geoportaal. [WWW] http://geoportaal.maaamet.ee/ (03.03.2015)

Oll, N. (1977). Pinnase füüsikaliste omaduste määramine. Tartu: Eesti Põllumajanduse Akadeemia.

Ordiviitsium Eestis ja Lõuna-Soomes. [WWW] http://www.geoeducation.info/geoturism/ordoviitsium/ordoviitsium.htm (28.04.2015)

Pinnakate. [WWW] http://www.ut.ee/BGGM/eestigeol/pinnakate.html (10.05.2015)

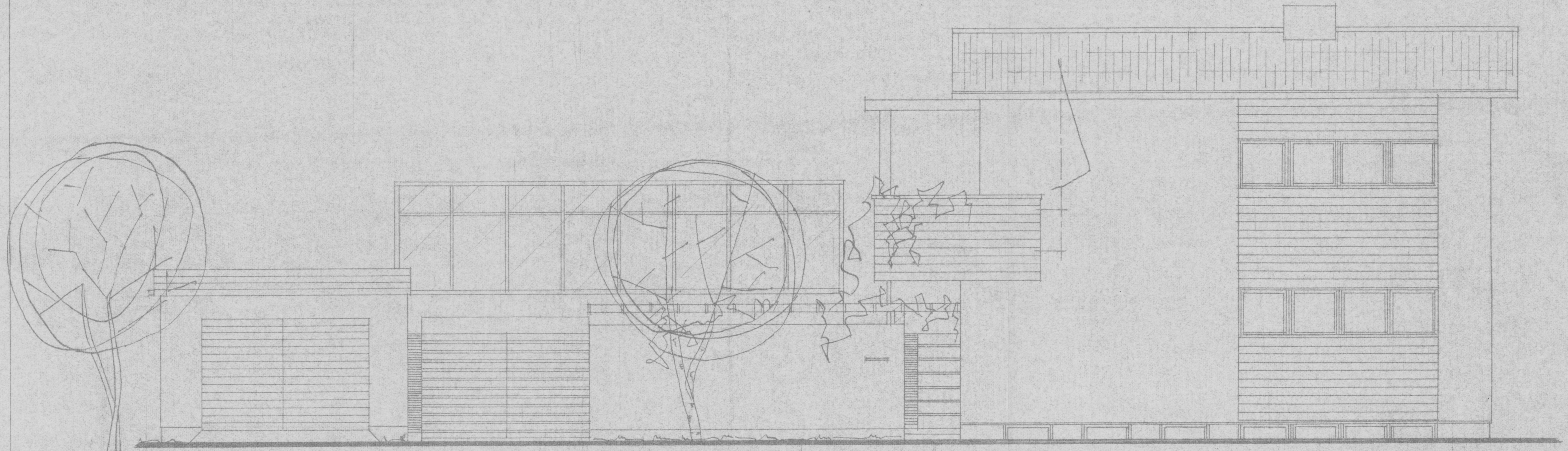
Pohl, R. (1999). Ehitiste hüdroisolatsioon: Mida võimaldavad kaasaegsed hüdroisolatsioonimaterjalid. Tallinn: Schomburg.

Shroff, A.V., Shah, D.L. (2003). Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. India: A.A. Balkema.

Venkatramaiah, C. (2006). Geotechnical Engineering. New Delhi: New Age International.

Vooremaa: Jääaja vabaõhumuusem.(2007)./ Toimetaja Ann Marvet. Tallinn: "Eesti Loodusfoto" kirjastus.

LISA 1. HOONE PLAANID JA LÕIKED



VAADE TÅNAVALT

TORUSTIKU KANAL

HOIDISED 4,95 M²

KÖÖGI-VILLI 4,35 M²

ESIK 5,05 M²

KÜTUS 7,60 M²

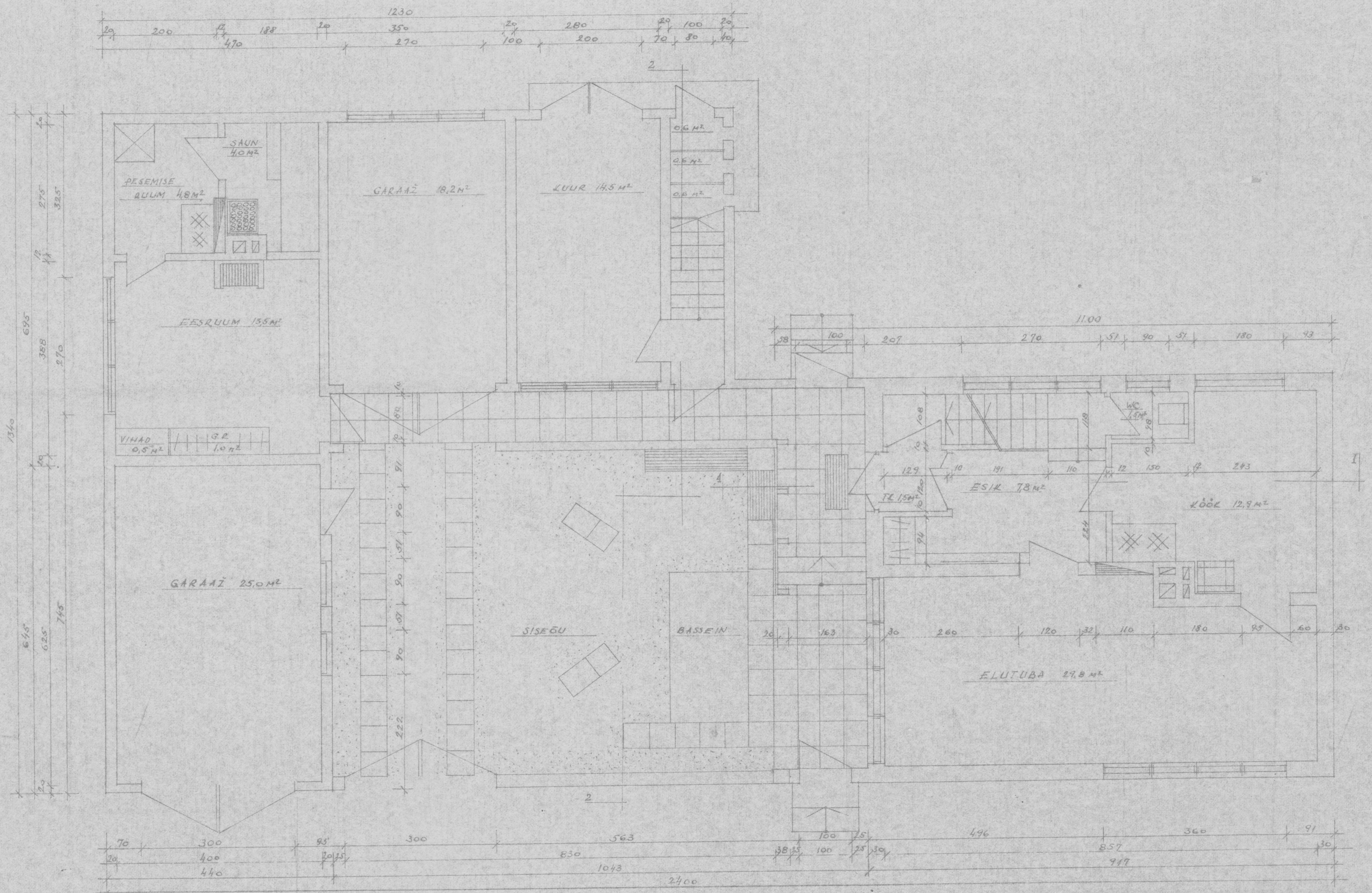
KATEL 3,6 M²

VENT. TORU ⌀100 MM

PUUVILI 5,42 M²

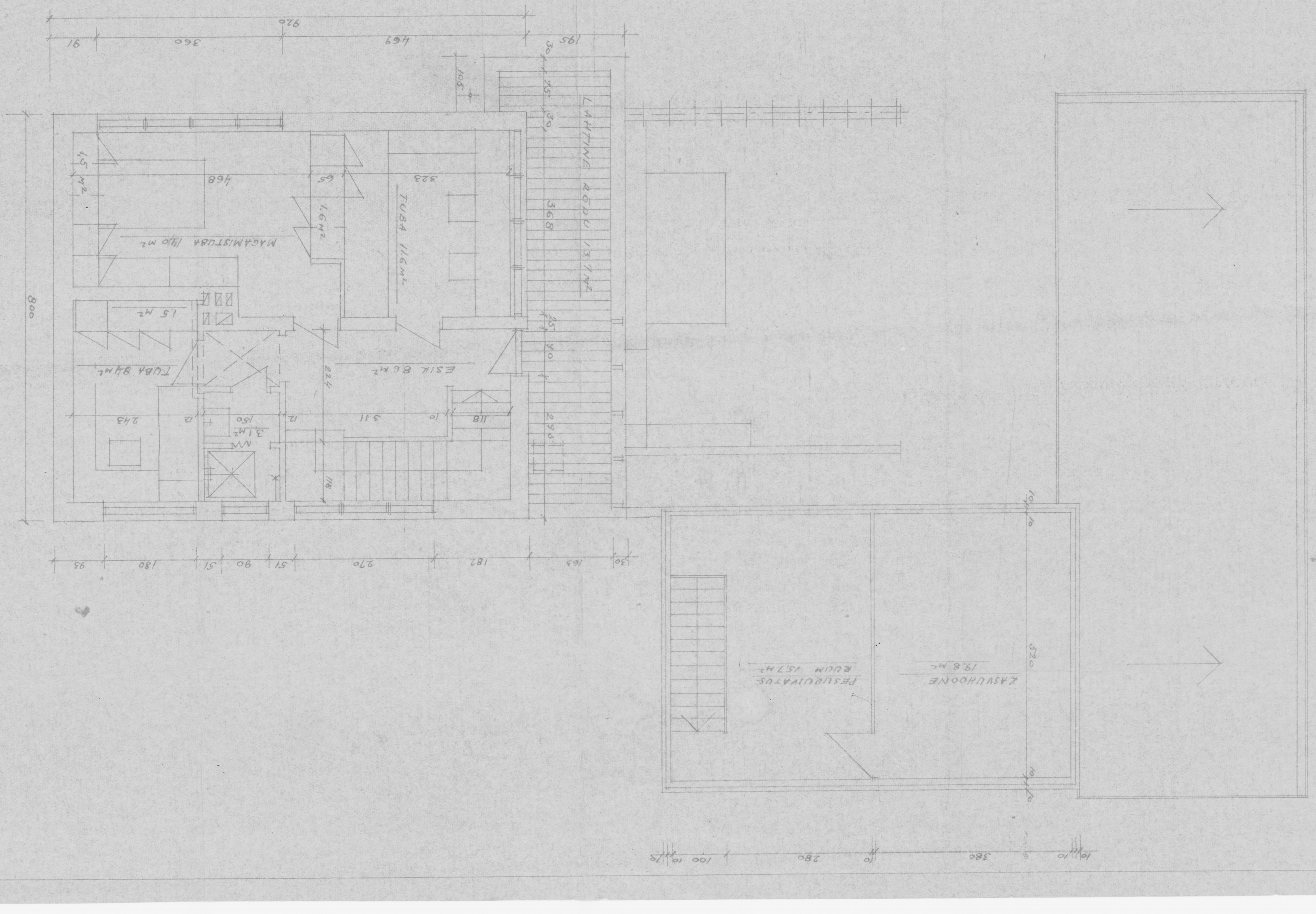
MAJANDUSRUUM 27,7 M²

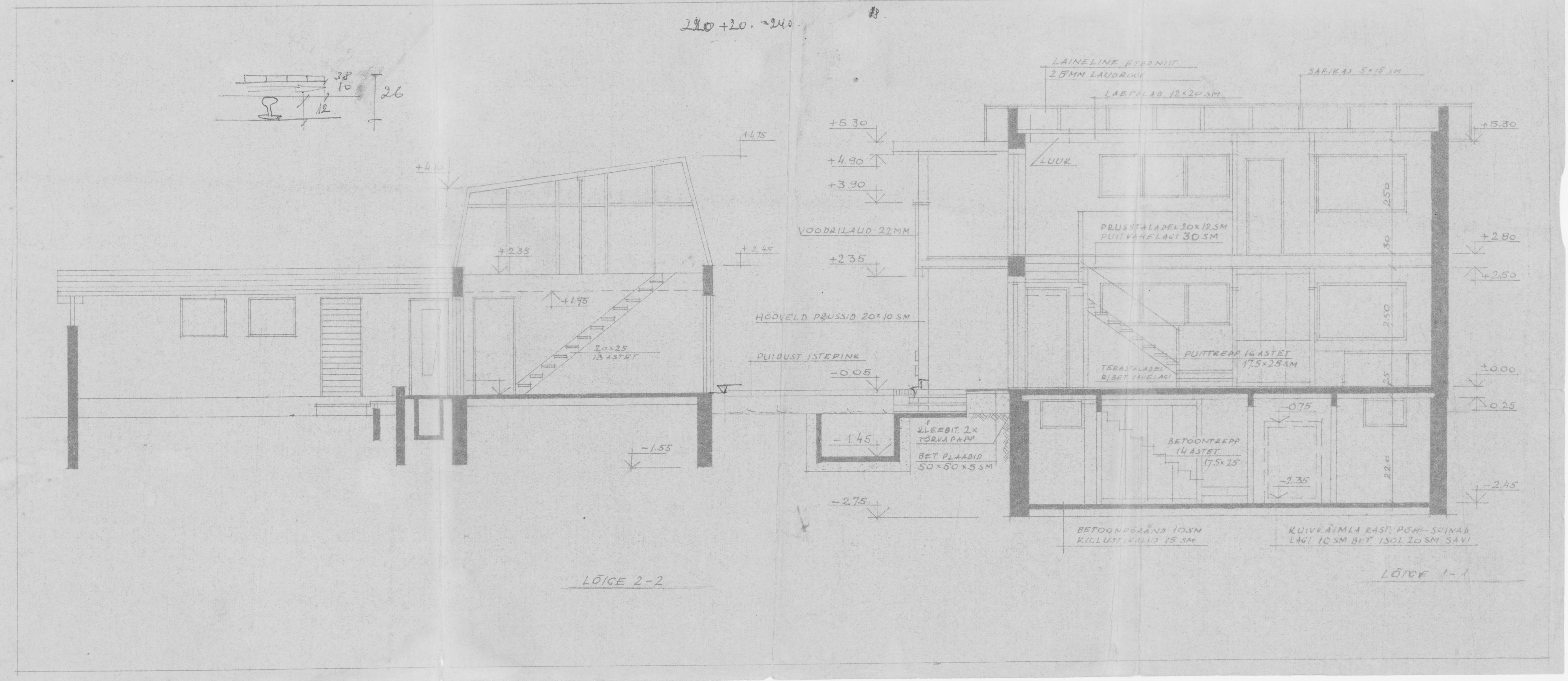
KELDER JA UUNDAMENDID


PESEMISE RUUM 4,8 M²
SAUN 4,0 M²
GARAAŽ 18,2 M²
LUUR 14,5 M²
EESRUUM 13,5 M²
VIHAD 0,5 M²
G.R. 1,0 M²
GARAAŽ 25,0 M²
SISEÕU
BASSEIN
WC 1,5 M²
TK 1,5 M²
ESIK 7,8 M²
KÖÖK 12,9 M²
ELUTUBA 27,8 M²

PÕHIPLAAN

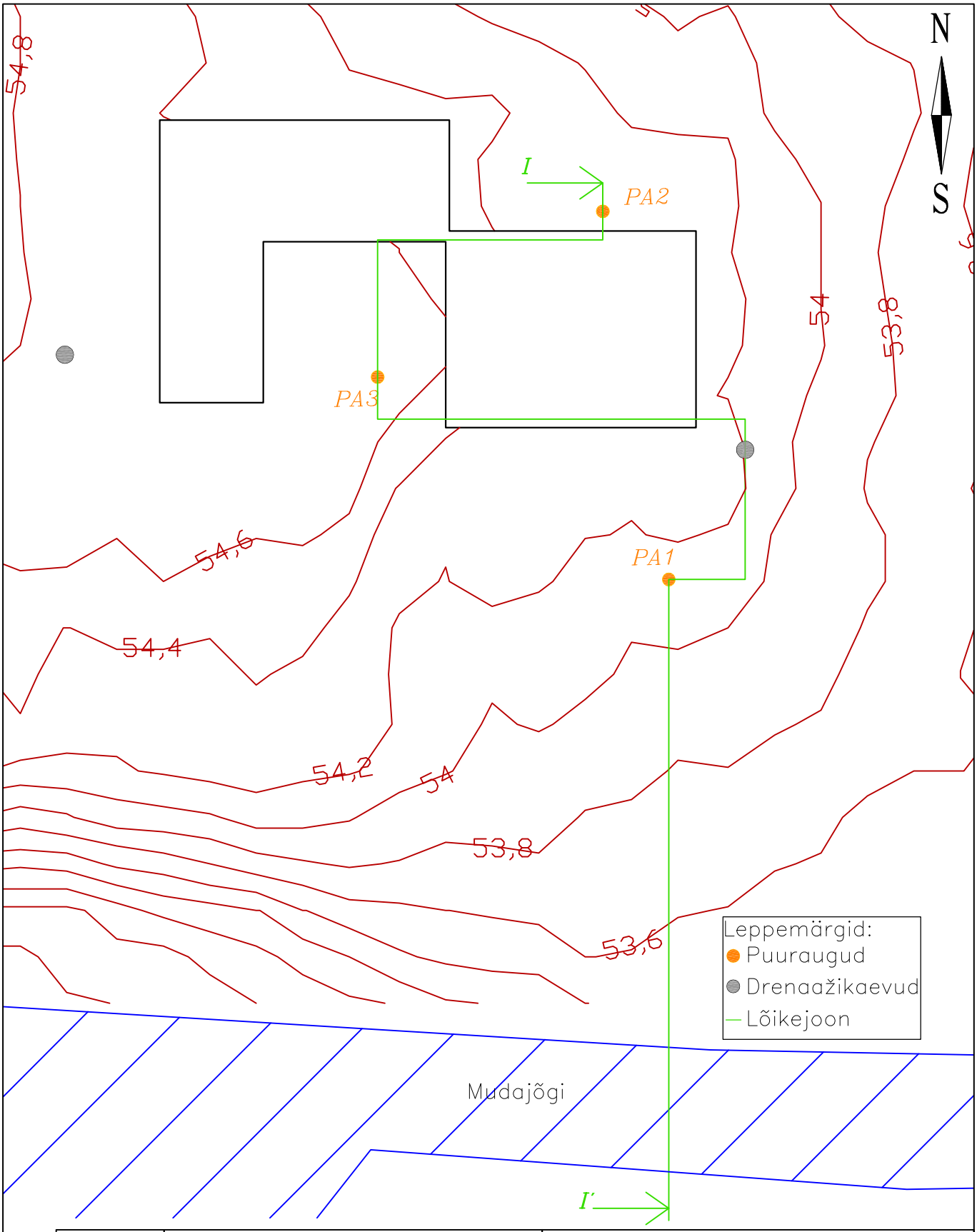
2. MOREUSE PLAAN




220 +20. =240.
38
10
12.
26
+4.10
+4.75
+2.35
+2.45
+1.95
20×25
13 ASTET
-1.55
+5.30
+4.90
+3.90
VOODRILAUD 22MM
+2.35
HÖÖVELD PRUSSID 20×10 SM
PUIDUST ISTEPINK
-0.05
-1.45
KLEEBIT. 2× TÕRVAPAPP
BET. PLAADID 50×50×5 SM
-2.75
LAINELINE ETERNIIT
25MM LAUDROOV
SARIKAS 5×15 SM
LAETALAD 12×20 SM
LUUK
PRUSSTALADEL 20×12 SM
PUITVAHELAGI 30 SM
TERASTALADEL RIBET. VAHELAGI
PUITTREPP 16 ASTET
17.5×25 SM
250
30
250
25
220
+5.30
+2.80
+2.50
±0.00
-0.25
-0.75
BETOONTREPP
14 ASTET
17.5×25
-2.35
-2.45
BETOONPÕRAND 10 SM
KILLUSTIKALUS 15 SM
KUIVKÄIMLA KAST. PÕHI-SEINAD
LAGI 10 SM BET. ISOL 20 SM SAVI
LÕIGE 2-2
LÕIGE 1-1

LISA 2. GEOTEHNILISED JOONISED

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

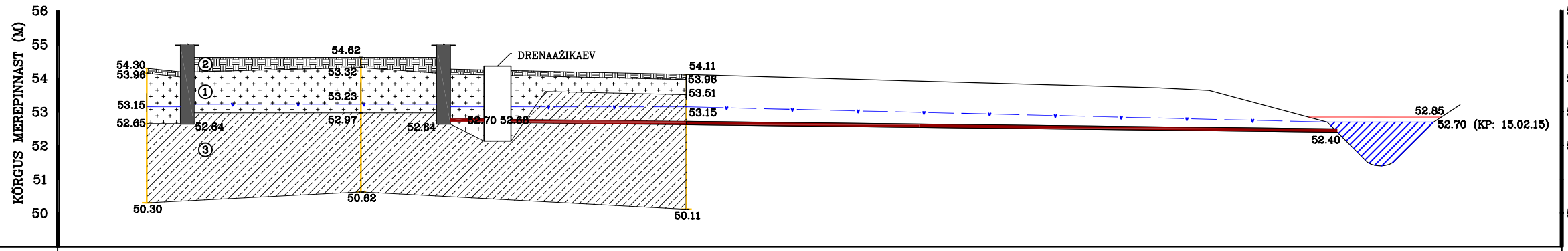


	Tellija: K.Grünberg			Objekt: Elamu Tabivere vallas		
	Nimi	Allkiri	Kuup.	Nimetus: Ehitusgeoloogilised uuringud Puuraukude asendiplaan		
Koostas	K.Grünberg		28.05.15			
Juhendas	M.Mets		28.05.15			
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 1	Lehti 4	Mõõtkava 1:250

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

LÕIGE I–I'



KAEVANDI TÄHIS JA NR.	PA–2	PA–3	PA–1
SUUDME ABS. KÕRGUS	54.30	54.62	54.11
VAHEKAUGUS, m	6.35	9.65	18.90
PINNASEVEE ABS KÕRGUS/KP	53.14/26.02.2015	53.23/26.02.2015	53.15/26.02.2015

① TÄITEPINNAS

② MULD + TÄITEMULD

③ MÖLLMOREEN

DRENAAŽITORUD

PINNASEVEE TASE

VUNDAMENT

MUDAJÕE MAKSIMAALNE TASE

MUDAJÕGI

	Tellija: K.Grünberg			Objekt: Elamu Tabivere vallas		
	Nimi	Allkiri	Kuup.	Nimetus: Ehitusgeoloogilised uuringud Geoloogiline lõige		
Koostas	K.Grünberg		28.05.15			
Juhendas	M.Mets		28.05.15			
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 2	Lehti 4	Mõõtkava 1:150

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Kaevandi tähis ja nr	PA–1	Suudme abs kõrgus	54.11	Puuritud (kuup.) Seade	25.02.2015 Geotech 604 DPL	Pinnasevee sügavus/abs kõrgus	0.96/53.15	Veepind mõõdetud (kuup.)	26.02.2015

	Süga–vus m	Abs. kõrgus m	Pak–sus m	Geoloogiline lõige	Pinnase kirjeldus
	0.15	53.96	0.15		Muld
	0.60	53.51	0.45		Täitepinnas
1					
2	4.00	50.11	3.25		Möllmoreen: hallikaspruun, väheplastne
3					
4					

Kaevandi tähis ja nr	PA–2	Suudme abs kõrgus	54.30	Puuritud (kuup.) Seade	25.02.2015 Geotech 604 DPL	Pinnasevee sügavus/abs kõrgus	1.15/53.15	Veepind mõõdetud (kuup.)	26.02.2015

	Süga–vus m	Abs. kõrgus m	Pak–sus m	Geoloogiline lõige	Pinnase kirjeldus
	0.15	53.96	0.15		Muld
1	1.65	52.65	1.50		Täitepinnas
2	4.00	50.30	2.35		Möllmoreen: hallikaspruun, väheplastne
3					
4					

Kaevandi tähis ja nr	PA–3	Suudme abs kõrgus	54.62	Puuritud (kuup.) Seade	25.02.2015 Geotech 604 DPL	Pinnasevee sügavus/abs kõrgus	1.39/53.23	Veepind mõõdetud (kuup.)	26.02.2015

	Süga–vus m	Abs. kõrgus m	Pak–sus m	Geoloogiline lõige	Pinnase kirjeldus
	0.30	54.32	0.30		Muld
1	1.65	52.97	1.35		Täitepinnas
2	4.00	50.62	2.35		Möllmoreen: hallikaspruun, väheplastne
3					
4					

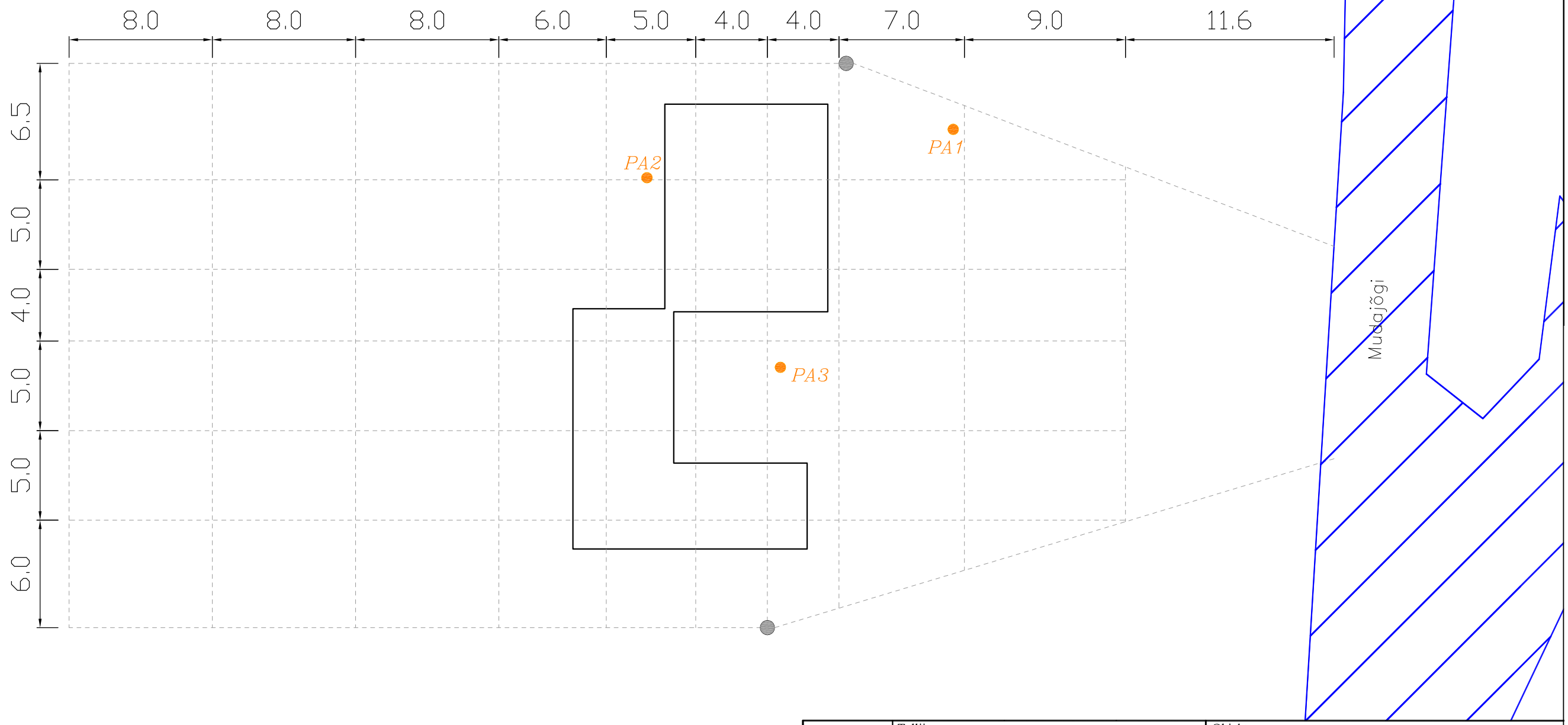
	Tellija: K.Grünberg			Objekt: Elamu Tabivere vallas
	Nimi	Allkiri	Kuup.	Nimetus: Ehitusgeoloogilised uuringud Geotulbad
Koostas	K.Grünberg		28.05.15	
Juhendas	M.Mets		28.05.15	
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 3 / Lehti 4 / Mõõtkava

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

N S

OLEMASOLEVA DRENAAŽISÜSTEEMI SKEEM



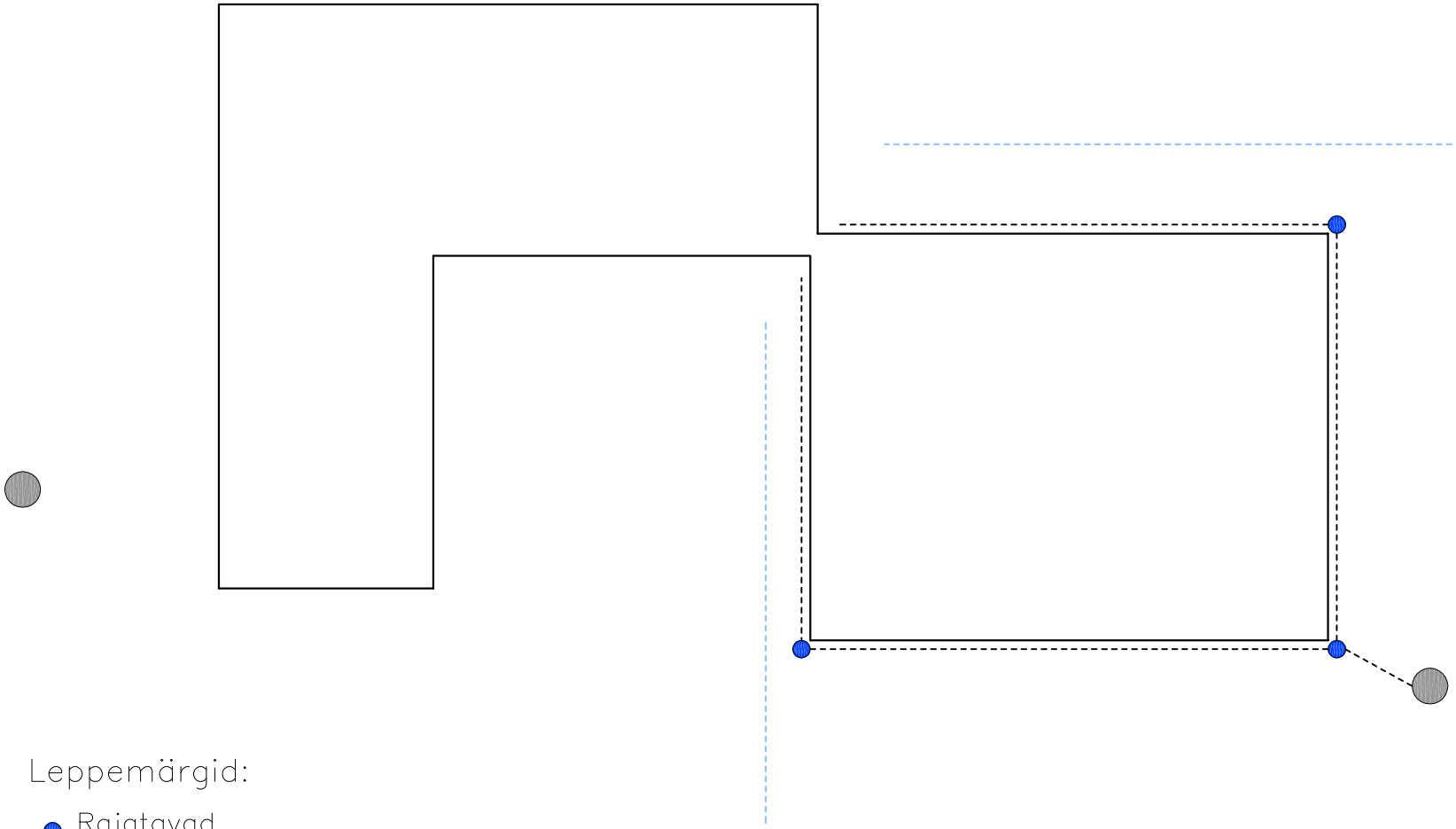
Leppemärgid:
- Puuraugud
- Olemasolevad drenaažikaevud
- Olemasolevad drenaažitorud

	Tellija: K.Grünberg			Objekt: Elamu Tabivere vallas		
	Nimi	Allkiri	Kuup.	Nimetus: Ehitusgeoloogilised uuringud Olemasoleva drenaažisüsteemi skeem		
Koostas	K.Grünberg		28.05.15			
Juhendas	M.Mets		28.05.15			
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 4	Lehti 4	Mõõtkava 1:250

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

LISA 3. NIISKUSKAHJUSTUSTE LAHENDUSJOONISED

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Leppemärgid:

- Rajatavad vaatluskaevud
- Olemasolevad drenaažikaevud
- Rajatavad drenaažitorud
- Rajatavad sade–vee kanalid

	Tellija: K.Grünberg			Objekt: Elamu Tabivere vallas
	Nimi	Allkiri	Kuup.	Nimetus: Niiskuskahjustuste lahendused Rajatava drenaažisüsteemi skeem
Koostas	K.Grünberg		28.05.15	
Juhendas	M.Mets		28.05.15	
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 1 / Lehti 5 / Mõõtkava 1:150

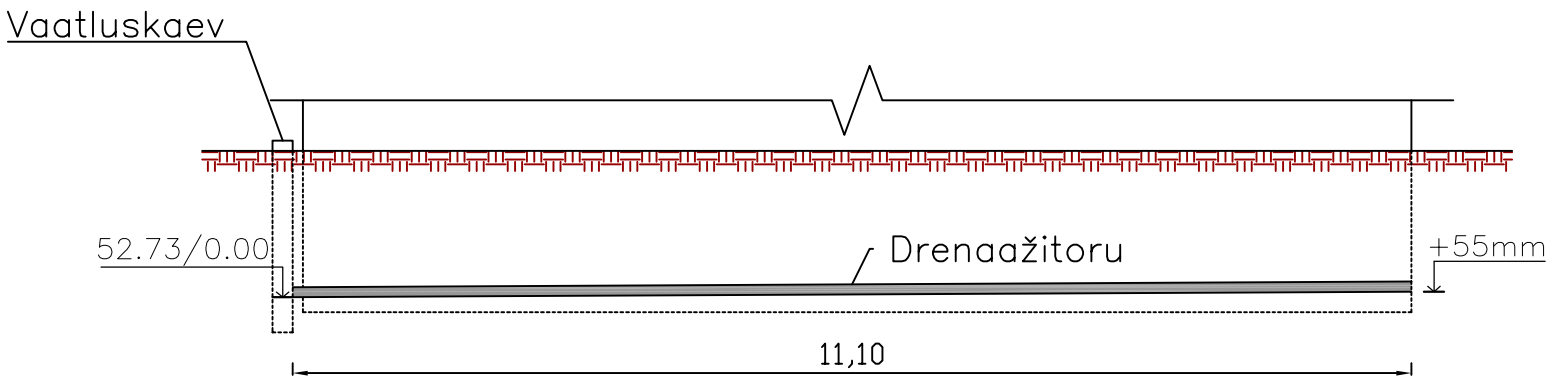
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

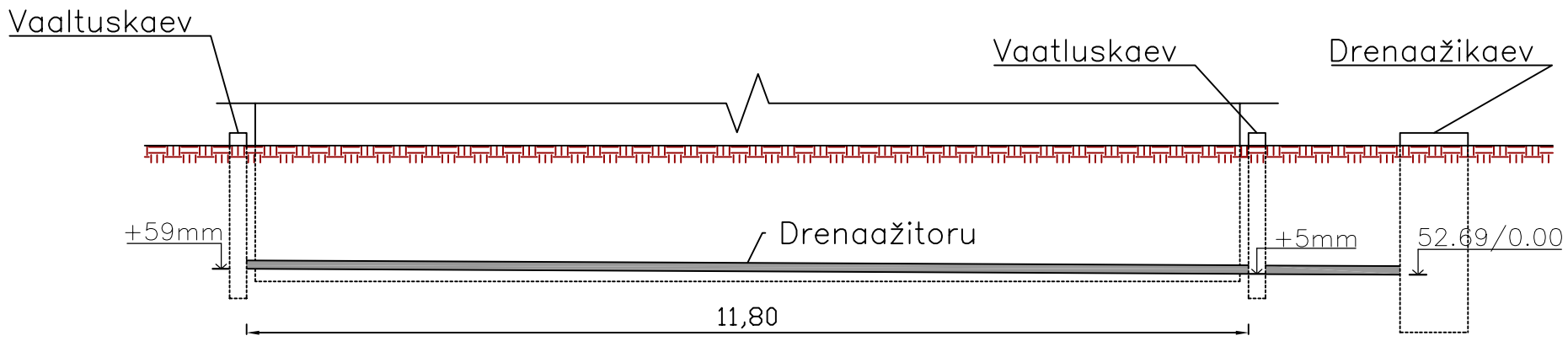
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

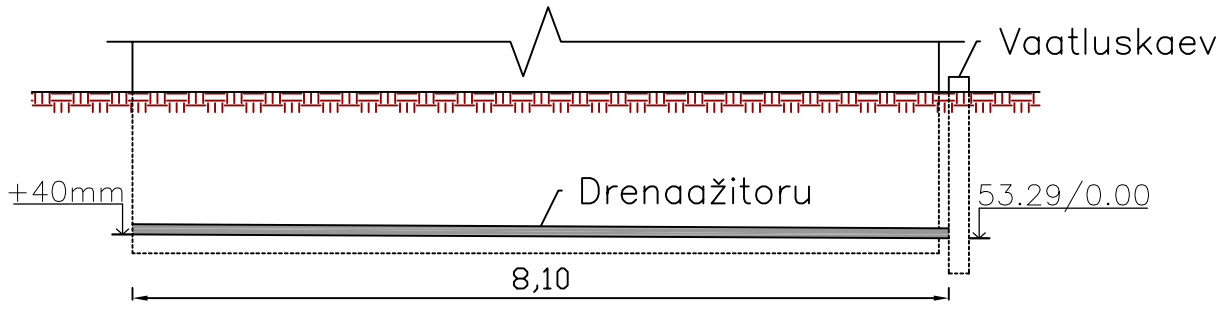
VAADE PÕHJAST



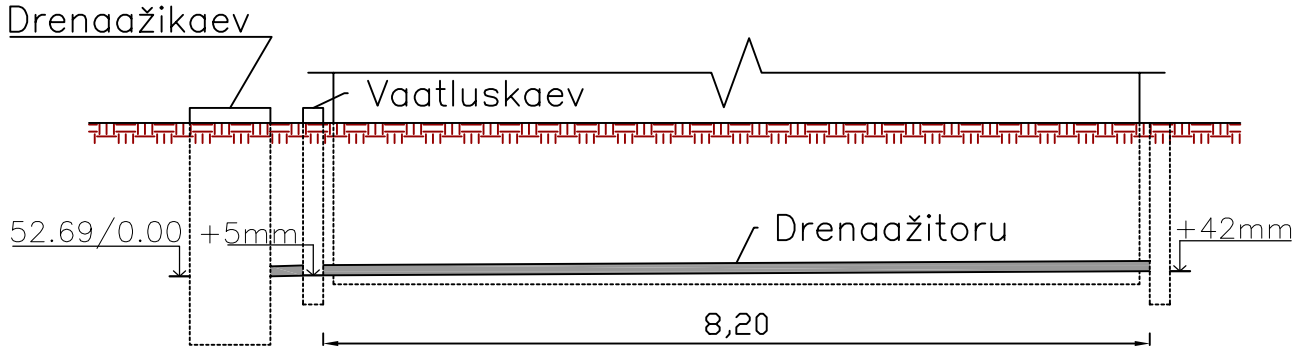
VAADE LÕUNAST



VAADE LÄÄNEST



VAADE IDAST

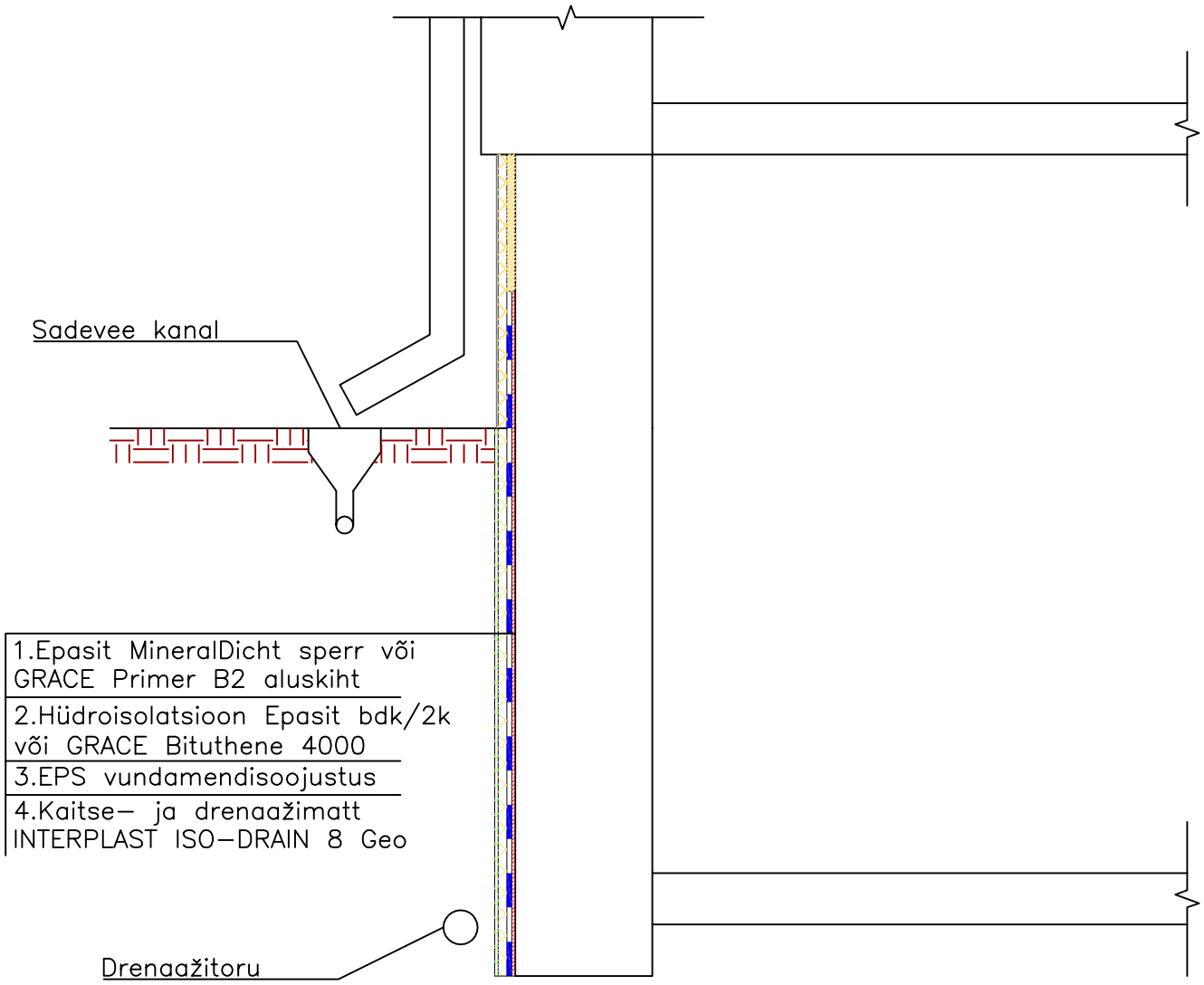


	Tellija: K.Grünberg			Objekt: Elamu Tabivere vallas		
	Nimi	Allkiri	Kuup.	Nimetus: Niiskuskahjustuste lahendused Drenaažitorude paigaldamise skeem		
Koostas	K.Grünberg		28.05.15			
Juhendas	M.Mets		28.05.15			
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 2	Lehti 5	Mõõtkava 1:75

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

VARIANT A

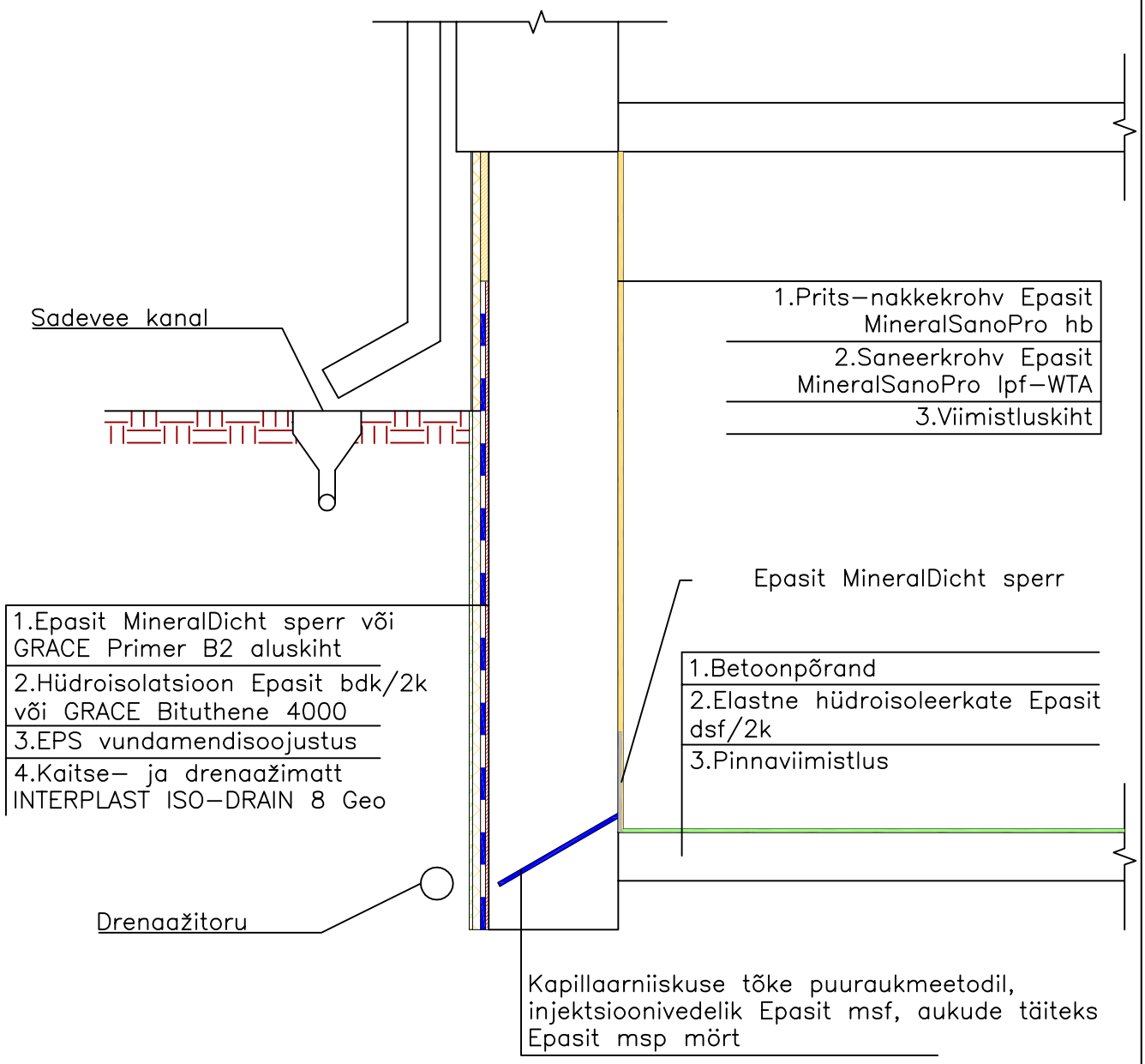


	Tellija: K.Grünberg			Objekt: Elamu Tabivere vallas		
	Nimi	Allkiri	Kuup.	Nimetus: Vundamendi hüdroisoleerimine Variant A		
Koostas	K.Grünberg		28.05.15			
Juhendas	M.Mets		28.05.15			
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 3	Lehti 5	Mõõtkava 1:20

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

VARIANT B

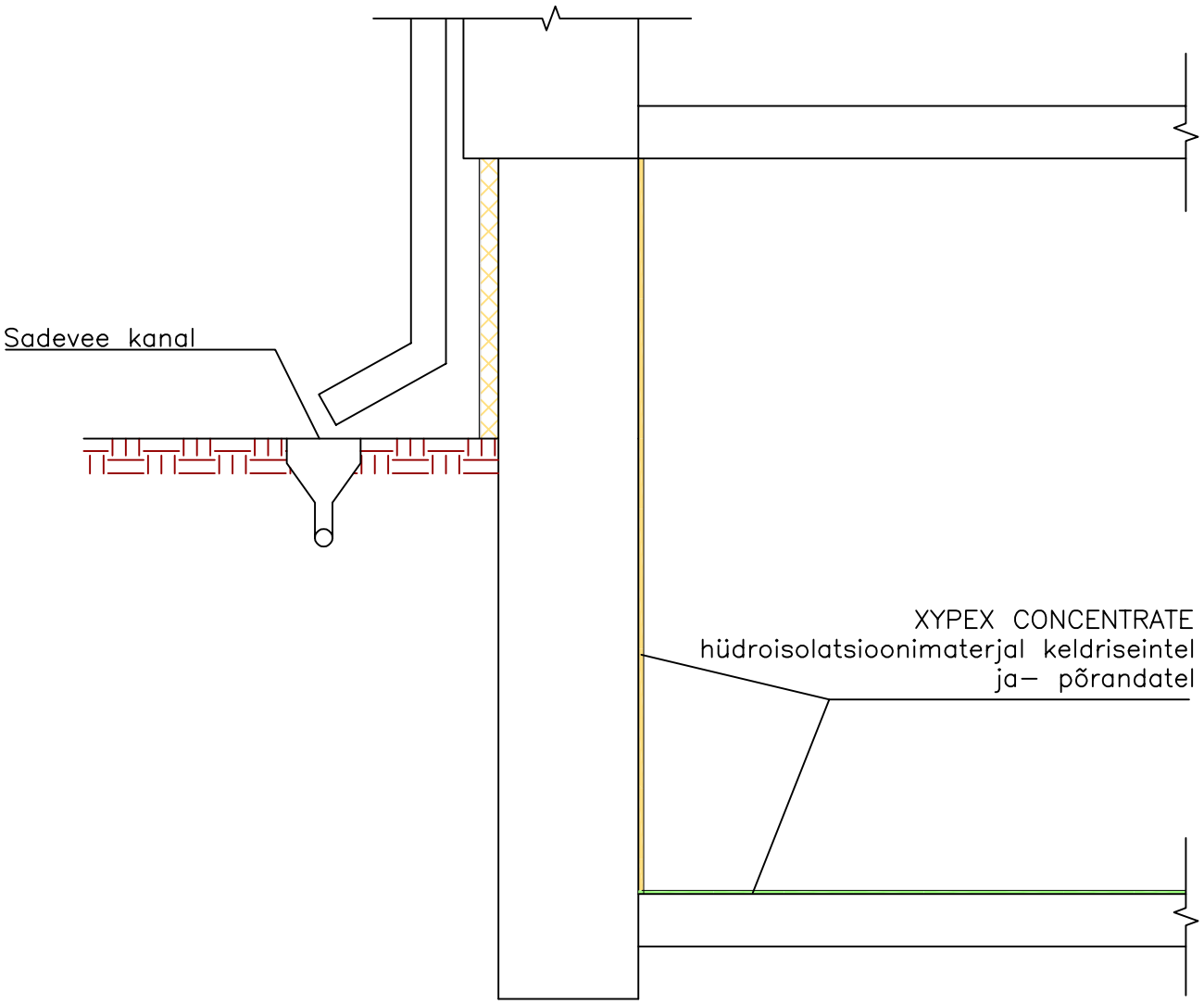


	Tellija: K.Grünberg			Objekt: Elamu Tabivere vallas		
	Nimi	Allkiri	Kuup.	Nimetus: Vundamendi hüdroisoleerimine Variant B		
Koostas	K.Grünberg		28.05.15			
Juhendas	M.Mets		28.05.15			
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 4	Lehti 5	Mõõtkava 1:20

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

VARIANT C



	Tellija: K.Grünberg			Objekt: Elamu Tabivere vallas		
	Nimi	Allkiri	Kuup.	Nimetus: Vundamendi hüdroisoleerimine Variant C		
Koostas	K.Grünberg		28.05.15			
Juhendas	M.Mets		28.05.15			
TTÜ Tartu Kolledž				Leht 5	Lehti 5	Mõõtkava 1:20

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT