



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

LUBIMÖRDI KASUTAMISE PÕHJENDATUS MÜÜRITISES

JUSTIFICATION FOR THE USE OF LIME MORTAR IN MASONRY

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karel Karlson

Üliõpilaskood: 182296EAEI

Juhendaja: Kristo Paalandi, lektor

Kaasjuhendaja: Tanel Tuisk, lektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

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

"....." 2023

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2023

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2023

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Karel Karlson 04.08.1999

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Lubimõrdi kasutamise põhjendatus müüritisel“,

mille juhendaja on

Kristo Paalandi ja Tanel Tuisk,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Karel Karlson 182296EAEI

Õppekava, peeriala: EAEI02/17 - Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine,
ehitiste projekteerimine

Juhendaja(d): Kristo Paalandi, Tanel Tuisk

Lõputöö teema:

„Lubimördi kasutamise põhjendus müüritises“

„Justification for the use of lime mortar in masonry“

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida lubja mördi kasutamise positiivsete ja negatiivsete külgede kohta
2. Määrata katsetega eri vanuses lubimördi ja lubja/tsemendi segamördi ning neist laotud müüritiste survetugevused
3. Võrrelda katseliselt määratud müüritiste survetugevusi teoreetiliste valemitega
4. Kontrollida lubimördist ja silikaattelistest laotud müüritise kandevõime piisavust näidisprojekti alusel

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Uurida lubja kasutamise mõju mördi ja müüritise omadustele	28.11.22
2.	Katsetoodikate ja katsete ajakava paika panemine koos katseteks vajalike materjalide hankimisega	19.11.22
3.	Katsete läbiviimine	27.04.23
4.	Katsetulemuste analüüsimine ja järelduste tegemine	08.05.23
5.	Müüritiste katseliste kandevõime võrdlemine teoreetilistega	15.05.23
6.	Lubimördist ja silikaattelistest müüritise kandevõime kontrollimine näidisprojekti raames	15.05.23

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "21" mai 2023 a

Üliõpilane: Karel Karlson ".....".....2023 a
/allkiri/

Juhendaja: Kristo Paalandi ".....".....2023 a
/allkiri/

Kaasjuhendaja: Tanel Tuisk ".....".....2023 a
/allkiri/

Programmijuht: Irene Lill ".....".....2023 a
/allkiri/

SISUKORD

Tähiste loetelu	8
SISSEJUHATUS	11
1. LUBJA KASUTAMISE PLUSSID JA MIINUSED MÖRDIS	12
1.1 Lubja kasutamise plussid	12
1.2 Lubja kasutamise miinused	14
2. SILIKAATTELLISTE TAASKASUTAMINE	16
3. KATSETES KASUTATUD EHTUSMATERJALID	18
3.1 Silikaattellis	18
3.2 Mört nr 1 (tsementmört)	18
3.3 Mört nr 2 (lubja ja tsemendi segamört)	19
3.4 Mört nr 3 (lubja ja tsemendi segamört)	19
3.5 Mört nr 4 (lubimört)	20
4. KATSETES KASUTATUD SEADMED JA TARVIKUD	21
4.1 Seadmed	21
4.2 Tarvikud	22
5. SILIKAATTELLISE SURVETUGEVUS	23
5.1 Katsetoodika	23
5.2 Tulemuste analüüs	24
6. SILIKAATTELLISE TÕMBETUGEVUS	29
6.1 Katsetoodika	29
6.2 Tulemuste analüüs	29
7. MÖRTIDE SURVETUGEVUS	32
7.1 Katsetoodika	32
7.2 Tulemuste analüüs	35
8. MÜÜRITISTE SURVETUGEVUS	37
8.1 Katsetoodika	37
8.2 Tulemuste analüüs	39
9. MÜÜRITISE TEOREETILINE SURVETUGEVUS	43
9.1 Eurokoodeks 6	43
9.2 Taani Ehitusuuringute Instituudi valem	43
9.3 Hilsdorfi valem	44

9.4 Teoreetiliste survetugevuste võrdlus müüritise katseliselt määratud survetugevusega	45
10. MÜÜRITISE KANDEVÕIME KONTROLL NÄIDISPROJEKTI ALUSEL	47
10.1 Hoonele mõjuvad koormused ja müüritise parameetrid.....	47
10.2 Mõrdist nr 4 laotud poolkivi sein	51
10.3 Mõrdist nr 4 laotud poolkivi sein tellisfassaadiga	55
KOKKUVÕTE	59
SUMMARY	61
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	63
LISAD	65
Lisa 1 Silikaattellise Silroc BRICK 65 toimivusdeklaratsioon	66
Lisa 2 Uninaksi müüri segu NAKS M100 toimivusdeklaratsioon	67
Lisa 3 Meistri lubimört/müürimört 0-2 mm toimivusdeklaratsioon.....	68
Lisa 4 Uninaksi lubikrohv NAKS LK1 toimivusdeklaratsioon	69
Lisa 5 Katsetes kasutatud seadmed 1	70
Lisa 6 Katsetes kasutatud seadmed 2	71
Lisa 7 Silikaattelliste survetugevuse koondkatsetulemused.....	72
Lisa 8 Silikaattelliste tõmbetugevuse koondkatsetulemused.....	73
Lisa 9 Mõrtide valmistamise koostis ja hilisemad toimingud katsekehadega.....	74
Lisa 10 Mõrdi nr 1 (tsementmört) koondkatsetulemused.....	75
Lisa 11 Mõrdi nr 2 (lubja ja tsemendi segamört) koondkatsetulemused.....	76
Lisa 12 Mõrdi nr 3 (lubja ja tsemendi segamört) koondkatsetulemused.....	77
Lisa 13 Mõrdi nr 4 (lubimört) koondkatsetulemused	78
Lisa 14 Müüritiste katsekehade valmistamine ja toimingud katsekehadega.....	79
Lisa 15 Mõrdist nr 1 (tsementmört) laotud müüritiste koondkatsetulemused.....	80
Lisa 16 Mõrdist nr 2 (lubja ja tsemendi segamört) laotud müüritiste koondkatsetulemused	81
Lisa 17 Mõrdist nr 3 (lubja ja tsemendi segamört) laotud müüritiste koondkatsetulemused	82
Lisa 18 Mõrdist nr 4 (lubimört) laotud müüritiste koondkatsetulemused	83
Lisa 19 Mõrdi ja müüritise katsete läbiviimise ajatabel	84
GRAAFILINE OSA	85

Põhikorruse plaan

Teise korruse plaan

Lõige 1-1, Lõige 2-2

Vaade A, Vaade B

Vaade D, Vaade C

Tähiste loetelu

l_u – silikaattellise pikkus;

w_u – silikaattellise laius;

h_u – silikaattellise kõrgus;

A – katsekeha survepindala;

F – katsekeha purustav jõud;

n – katsetatud katsekehade arv;

f_{ci} – üksiku katsekeha survetugevus;

f_{cim} – üksikute katsekehade keskmine survetugevus;

f_c – üksiku silikaattellise survetugevus;

f_{cm} – üksikute silikaattelliste keskmine survetugevus;

σ – üksikute katsekehade tugevuste (surve-, tõmbetugevus) standardhälve;

v – üksikute katsekehade tugevuste (surve-, tõmbetugevus) variatsioon;

f_b – üksiku silikaattelliste normaliseeritud survetugevus;

f_{bm} – üksikute silikaattelliste keskmine normaliseeritud survetugevus;

d – müürikivi (silikaattellise) kujutegur;

$f_{cim,95}$ – materjali keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures;

$f_{cm,95}$ – silikaattellise keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures;

$f_{b,95}$ – silikaattellise keskmine normaliseeritud survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures;

k_3 – ühepoolse statistilise tolerantsi piirtegur 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo korral;

L – silikaattellise alumiste tugevade vahekaugus paindetugevuse katses, mm;

f_f – üksiku silikaattellise paindetugevus;

f_{fm} – üksikute silikaattelliste keskmine paindetugevus;

f_t – üksiku silikaattellise tõmbetugevus;

f_{tm} – üksikute silikaattelliste keskmine tõmbetugevus;

$f_{tm,95}$ – silikaattellise keskmine tõmbetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures;

a – mördist katsekeha pikkus;

b – mördist katsekeha laius;

h – mördist katsekeha kõrgus;

V – mördist katsekeha ruumala;

m – mördist katsekeha mass;

ρ – mördist katsekeha tihedus;

f – üksiku mördist katsekeha survetugevus;

f_m – üksikute mördist katsekehade keskmine survetugevus;

$f_{m,95}$ – mördi keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures;

t – müüritise vuugi kõrgus;
 f'_i – üksiku müüritise katsekeha survetugevus;
 x – müüritise katsekeha survetugevuse parandustegur;
 f_i – üksiku müüritise katsekeha korrigeeritud survetugevus;
 f_{im} – üksikute müüritise katsekehade keskmine korrigeeritud survetugevus;
 f_k – müüritise normsurvetugevus;
 h_p – müüritise (katsekeha) kõrgus;
 t_p – müüritise (katsekeha) laius;
 K – konstant, mille väärtus sõltub müürikivi liigist ja grupist;
 a – tegur, mis arvestab müüritise katsekeha kuju;
 U_u – purunemise koefitsient;
 g_k – ühtlaselt jaotatud normatiivne alaliskoormus;
 g_d – ühtlaselt jaotatud arvutuslik alaliskoormus;
 q_k – ühtlaselt jaotatud normatiivne muutuvkoormus;
 q_d – ühtlaselt jaotatud arvutuslik muutuvkoormus;
 $\gamma_{G,sup}$ – alaliskoormuse osavaruteguri ülemine väärtus;
 γ_Q – muutuvkoormuse osavarutegur;
 s – normatiivne lumekoormus katusel;
 μ_i – lumekoormuse kujutegur;
 C_e – avatustegur;
 C_t – soojustegur;
 s_k – normatiivne lumekoormus maapinnal;
 s_d – arvutuslik lumekoormus katusel;
 f_d – müüritise arvutuslik survetugevus;
 e_v –vertikaalkoormuse ekstsentrilisus;
 e_h – müüritise ekstsentrilisus põhjustatud horisontaalkoormusest;
 e_{inti} – müüritise algekstsentrilisus;
 h_{ef} – müüritise efektiivkõrgus;
 N_d – müüritisele mõjuv arvutuslik vertikaalne koormus;
 M_{1d} – müüritisele mõjuv arvutuslik paindemoment müüritise ülemises servas;
 M_{md} – müüritisele mõjuv arvutuslik paindemoment müüritise keskel;
 M_d – müüritisele mõjuv arvutuslik paindemoment;
 e_k – müüritise ekstsentrilisus põhjustatud roomest;
 Φ_∞ – müüritise lõplik roometegur;
 e – müüritise ekstsentrilisus põhjustatud koormusest;
 e_{mk} – müüritise ekstsentrilisus selle keskosas;
 A_c – müüritise survetsooni pindala;
 z_e – hoone arvutuskõrgus välise tuulekoormuse määramiseks;

v_b – tuule baaskiirus;

ρ – õhu tihedus;

$\frac{h}{d}$ – hoone kõrguse ja sügavuse (hoone mõõt piki tuule suunaga) suhe;

w_e – välisseinale mõjuv normatiivne tuulerõhk;

w_d – välisseinale mõjuv arvutuslik tuulerõhk;

$q_p(z_e)$ – tuule tippkiirusrõhk;

$c_{pe,10}$ – välisrõhu rõhutegur 10 m² koormatava pindala kohta;

A_m – koormatud müüritise pindala;

λ_h – müüritise saledus;

u – abitegur müüritise ekstsentrilisuse arvutamisel;

χ_m – müüritise keskmise tsooni nõtketegur;

N_{Rd} – müüritise arvutuslik kandevõime;

N_{Ed} – müüritisele mõjuv arvutuslik koormus;

t_{ef} – kahekihilise müüritise arvutuspaksus;

k_{tef} – koefitsient, mis arvestab seinakihtide suhtelist jäikust.

SISSEJUHATUS

Valisin enda lõputöö teemaks: „Lubimördi kasutamise põhjendatus müüritisest“. Teema valimiseks sain inspiratsiooni kivikonstruktsioonide loengus tutvustatud Tallinna Tehnikaülikooli poolt läbi viidud uuringust [1]. Uuring käsitles silikaattelistest müüritisest ja raudbetoon paneelidest vahelagedega hoone lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ja ringlussevõtu võimalusi. Praegu on ühiskonnas ja kogu maailmas väga aktuaalseteks teemadeks loodusressursside säästlik kasutamine, CO₂ heitmete vähendamine ja ringmajandus. Hetkel ehituses laialt levinud materjalide betooni ja tsementmördi keskkonna mõju on tsemendi tootmise tõttu loodusele koormav. Erinevatel hinnangutel moodustab tsemendi tootmine umbes 5% kogumaailmsest CO₂ jalajäljest. Sellest tulenevalt mõtlesin, kuidas muuta silikaattelistest müüritise ehitamist keskkonnasõbralikumaks ja tõhustada telliste taaskasutamise võimalusi pärast müüritise lammutamist. Näiteks viimastel aastatel on ehituses üha rohkem hakanud levima puidu kasutamine, mis on erinevalt betoonist keskkonnasõbralik ehitusmaterjal. Toodud eesmärkide saavutamiseks uurin oma magistritöös, kuidas mõjutaks mördis tsemendi asendamine lubjaga mördi ja sellest laotud müüritise omadusi, et lubimördi kasutamisega püstitatud eesmärgid saavutada. Olin varasemalt kuulnud, et lubimört on tsementmördist keskkonnasõbralikum ja tuleb müüritise lammutamise käigus telliste küljest kergesti lahti võimaldades lihtsamat ja rohkemate silikaattelliste taaskasutamist. Teisalt on lubimört tsementmördist märgatavalt nõrgem, mis võib osutada müüritise ehitamisel ja müüritise vähese kandevõime seisukohalt probleemiks. Antud töö üheks eesmärgiks võtsin katsetega seda tõestada või ümber lükata.

Magistritöös võtsin ülesandeks uurida järgmisi teemasid: lubja kui õhksideaine kasutamise plussid ja miinused mördi ja sellest laotava müüritise osas; silikaattelliste taaskasutamine; lubi-, tsement- ning segamördi survetugevus ja neist laotud müüritiste survetugevuste võrdlus erineva kivinemisajaga; müüritise survetugevuste leidmine teoreetiliste valemitega; näidisprojekti raames eramu seinte kandevõime kontrollimine, kasutades lubimördist ja silikaattelistest müüritist. Lubjast valmistatud mördi omadusi ja nende mõju müüritise omadustele on kavas uurida ja analüüsida varasemalt ilmunud kirjanduse põhjal. Mördi enda ja sellest laotud müüritise survetugevust uurin nii katseliselt kui võrdlen kirjanduses tooduga. Magistritöö lõppeesmärgiks oli teada saada, kas ja kui suures ulatuses on lubimördist ja silikaattelistest müüritist võimalik ehituses kasutada.

1. LUBJA KASUTAMISE PLUSSID JA MIINUSED MÖRDIS

1.1 Lubja kasutamise plussid

Järgnevates lõikudes on toodud lubja ja selle mördis sideainena kasutamise positiivsed küljed nii mördi kui müüritise omadustele. Lisaks mõjude toomisele on nende efekt lühidalt ka lahti kirjutatud. Alljärgnev põhineb raamatutes, teadustöodes ja teistes ametlikes dokumentides avaldatud tabel.

CO₂ jalajälg

Kustutatud lubja tootmise CO₂ jalajälg on portlandtsemendi tootmise jalajäljest mõne võrra suurem, aga tänu lubja kivilinemisele CO₂ toimel on müüritises sideainena kasutatava kustutatud lubja tootmise jalajälg 100 aastases perspektiivis tsemendi omast kaks korda väiksem. Sellest tulenevalt on keskkonna seisukohalt eelistatum mörtides sideainena kasutada tsemendi asemel kustutatud lubja, mille negatiivne mõju keskkonnale on väiksem. Lubjakivist (CaCO₃) 1 tonni õhklubja (CaO) tootmise käigus eraldub Euroopa Lubja Assotsiatsiooni kohaselt [2] 1,092 tonni CO₂-te. Eralduv CO₂ jaguneb järgmiselt: 0,751 tonni kaltsiumkarbonaadi (CaCO₃) keemilisel reaktsioonil kaltsiumoksiidiks (CaO) ja 0,341 tonni lubjakivi põletamiseks kasutatavast kütusest eralduv ja protsessi läbiviimiseks kuluva elektrienergia tootmiseks eralduv. Mördis sideainena kasutatava kustutatud lubja (Ca(OH)₂), mis on saadud õhklubja segamisel veega (kustutamisel), kivilinimine toimub niiskes keskkonnas CO₂ toimel (karboniseerumine). Müüritise ladumiseks kasutatava lubimördi sideaine kustutatud lubi (Ca(OH)₂) soeb kivilinemisega 100 aastaga 80 % selle põletamisel lubjakivist (CaCO₃) keemiliste protsesside käigus eraldunud CO₂-st [2]. Teiste sõnadega öeldes reageerib 100 aastaga 80 % mördi sideainest ära. Sellest tulenevalt võib 100 aastases perspektiivis 1 tonni õhklubja (CaO) tootmise CO₂ jalajäljeks lugeda: $1,09 - 0,8 \cdot 0,751 = 0,4912$ tonni, sest ülejäänud heitmest soeb lubi sideainena aja jooksul endaga. Mördis peamiselt sideainena kasutatava kustutatud lubja (Ca(OH)₂), jalajälg on vastavalt ainete molekulaarmassidele $0,491 \cdot \frac{56}{74} = 0,372$ tonni. Võrdluseks 1 tonni portlandtsemendi tootmisel märjal meetodil eraldub 0,9 tonni CO₂-te [3]. Portlandtsement sideainena endaga aja jooksul CO₂-te ei seo.

Niiskustehnilised omadused

Kasutades mördis sideainena kustutatud lubja on mördil väike vee läbilaskvus tänu lubja kasutamise tekkivale mördi struktuurile. See omakorda tähendab, et lubimördist laotud müüritis on vähem vastuvõtlikum vee läbilaskvusele, mis omakorda vähendab

näiteks müüritise külmakahjustuse riski. Samas on lubimört suure aurujuhtivusega, võimaldades märjal müüritisel kiiremini kuivada ja lastes läbi müüritise toas olev üleliigne niiskus, parandades hoone sisekliimat ja niiskuse kontrolli. [4]

Töödeldavus

Lubisideaine põhine mördisegu on suurema veehoidvusega kui tsemendi põhine segu. See muudab segu plastilisemaks ja mugavamani kasutatavamaks. Samuti on lubimördi kasutusaeg selle aeglase tardumise tõttu kordades pikem kui tsementmördil. Tänu neile omadustele on lubimördiga müüritist mugav laduda ning hilisem vuukide täitmine või viimistlemine on võrreldes tsementmördiga lihtsamini teostatavam. See omakorda soodustab töö parema kvaliteedi saavutamist. [4, 5]

Elastsus

Lubimört on võrreldes tsementmördiga elastsem, võimaldades müüritise koormamisel mördil enne purunemist suuremaid deformatsioone. Suurem mördi elastsus ja deformeeritavus võimaldavad müüritises jõudude paremat ja ühtlasemat jagunemist vähendades sellega pingeid mördis. Eelmainitu omakorda annab müüritisele suurema kandevõime ja vähendab pragude tekkimise riski võrreldes sama tugeva, aga jäigema mördiga nagu näiteks nõrk tsementmört. [5]

Nakkeomadused

Lubimört on tänu kustutatud lubja (Ca(OH)_2) terade väiksele suurusele heade kleepuvate ja nakkuvate omadustega. Väikene terade suurus võimaldab segul tungida õõnsustesse ja pragudesse, kuhu suurema terade suurusega mört ei mahu. Mida rohkem on väikeseid õõnsuseid ja pragusid, kuhu segu on tunginud, seda läbipõimunum on müüritise puhul mördi ja tellise vaheline kontakt. Tänu krobelisemale ja suuremale kokkupuute pinnale on kahe materjali nake parem. Heade nakkeomadustega ei tööta surutud müüritises mört ainult survele vaid paneb tellised lisaks survele tööle ka tõmbele. Selle tulemusel on müüritise survetugevus suurem kui võiks eeldada ainult telliste ja mördi survetugevuse põhjal. [6]

Iseparanev

Mördis sideainena kasutatava kustutatud lubja (Ca(OH)_2) kivinemine toimub niiskes keskkonnas CO_2 toimel (karboniseerumine). Selline kivinemisprotsess on aeglane. Allika [2] kohaselt kivineb 100 aastaga lubimördist laotud müüritises 80 % kustutatud lubjast (Ca(OH)_2). Mördi kivinemise käigus tekib kustutatud lubjast (Ca(OH)_2) kaltsiumkarbonaat (CaCO_3). Lubjarikastes mörtides tänu sideaine pikaajalisele karboniseerumisele kristalliseeruvad aja jooksul mörti tekkinud väiksemad praod kinni.

Seetõttu saab lubjarikaste mörtide puhul rääkida mördi iseeneslikule paranemisele. Mida suurem on lubjapõhise sideaine osakaal mördis, seda paremad on selle iseparandavad omadused, sest pragude kinnikasvamiseks on mördis rohkem karboniseeruvat materjali. [4, 5]

Lammutatavus

Lubi on õhksideainena väikese tugevusega ehitusmaterjal. Sellest ei saa järeldada, et lubimördist laotud müüritis oleks nõrk. Müüritisel töötab lubimört telliste vahel survele hästi ja seob tellised üheks terviklikuks. Tõmbele ja nihkele töötades lubimört suuri koormuseid vastu ei võta, mille tõttu on lubimördist müüritise lammutamine lihtsam kui tsementmördist laotud müüritist. Tsementmördist laotud müüritiste korral, olenevalt tellise ja mördi tugevusest on telliseid üksteisest ja mördist keeruline eraldada, sest tihti purunevad tugeva vuugi tõttu ka tellised. Lubimördist laotud müüritise puhul selliseid probleeme ei ole ja telliseid on lihtne mördist eraldada, võimaldades seeläbi telliseid hilisemalt taaskasutada. [4]

1.2 Lubja kasutamise miinused

Järgnevates lõikudes on toodud lubja ja selle mördis sideainena kasutamise negatiivsed küljed nii mördi kui müüritise omadustele. Lisaks mõjude toomisele on nende efekt lühidalt ka lahti kirjutatud. Alljärgnev põhineb raamatutes, teadustöodes ja teistes ametlikes dokumentides avaldatud teabel.

Tugevus

Õhksideainel põhineva lubimördi kivinemine toimub niiskes keskkonnas CO₂ toimel (karboniseerimine), mis on väga aeglane protsess. Vees mördi kivinemine ei toimu. [4] Raamatu [7] kohaselt on sellise mördi survetugevus 28 päeva vanuselt keskmiselt $0,4 - 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$.

Vees lahustuv

Lubimördis kristalliseerunud kaltsiumhüdroksiidi (Ca(OH)₂) kristallid moodustavad sideainekivi, mis on püsiv ainult kuivas keskkonnas. Vees tekkinud kristallid lahustuvad ja sideainekivi laguneb. Seetõttu takistab liigne vesi mördis sideaine karboniseerimist ning vee vool näiteks müüritisele sadav vihm näol uhub karboniseerimata sideainet

sellest välja. Sellest tulenevalt ei saa lubimörtsi kasutada väliskeskkonna mõjudele avatud müüritiste ladumiseks nagu näiteks tellisvoodrid. Selle ladumiseks tuleb kasutada tsemendi ja lubja segamörtsi.

2. SILIKAATELLISTE TAASKASUTAMINE

Mida suurem osakaal on müüritise ladumiseks kasutatavas mördisegus sideaine hulgas kustutatud lubjal ja väiksem tsemendil, seda lihtsam on hilisemas faasis müüritise lammutamine ja selle telliste taaskasutamine. Sideainena moodustab kustutatud lubi võrreldes tsemendiga kivinedes mördis nõrgema struktuuri. Nõrgema struktuuriga, eriti ainult lubja baasilisest mördist müüritist on lihtsam lammutada, sest müüritise lammutamiseks on vaja rakendada vähem jõudu ja purunemine toimub ennekõike vuukides. Samuti on lammutusjärgne telliste puhastamine mördi jääkidest nõrgemast mördist kergem, jättes puhastatavad tellised terveks. Lihtne telliste puhastatavus leidis kinnitust ka katseliselt võrreldes 28 päeva vanuseid silikaattelistest müüritise katsekehi. Mida rohkem oli mördis kustutatud lubja ja vähem tsementi, seda lihtsamini tuli mört telliste küljest lahti. Lubimördist laotud müüritiste korral tuli mört telliste küljest ka 56 päeva vanuste müüritise katsekehade korral ilma suuremat vaeva nägemata ära, mis tegi telliste puhastamise lihtsaks ja kiireks. Tsementmördiga laotud müüritiste puhul, eriti just tugevat mördi kasutades, saavad müüritise lammutamisel paljud tellised kahjustada, sest tugeva mördi korral ei toimu müüritise purunemine alati ainult vuukides vaid tekivad praod ka tellistesse ning lõpuks purunevad. Samuti on hilisem telliste puhastamine mördist keerulisem ja aeganõudvam protsess kui lubimördi korral. Sellest tulenevalt on lubimördi või vähese tsemendisisaldusega lubjast ja tsemendist segamördi kasutamine soovituslik, soodustades sellega telliste hilisemat taaskasutamise võimalikkust. Ka allikas [4] on toodud lubja põhiste mörtide plussina välja mördi kerge eemaldamine ja asendamine.

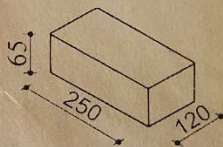
Antud juhul silikaattelliste, aga laiemalt kõigi materjalide taaskasutamine on keskkonna seisukohalt oluline. Esiteks ei ole vaja telliseid taaskasutades toota uusi, tänu millele hoitakse kokku loodusressursse telliste tootmiseks kasutatavate toormaterjalide näol. Teiseks vähendab telliste taaskasutamine tootmata jäänud ehitusmaterjali näol CO₂ ja teisi heitmeid. Kui suur kogus CO₂ heitmeid tänu telliste taaskasutamisele täpselt oleks võimalik kokku hoida on raske hinnata, sest tootmata jäävad küll uued tellised, aga samas tuleb telliste taaskasutamiseks vana müüritis lammutada ja tellised puhastada ning selle keskkonna jalajälje kohta info puudub. Kindlalt saab aga öelda, et uute telliste tootmise keskkonna jalajalg on suurem kui tellise taaskasutamisega seotud jalajalg. Teisest küljest tõstatab telliste taaskasutamine üles küsimuse, kuidas määrata uuele ringile saadetud telliste omadused, antud juhul survetugevuse või milliseid arvulisi väärtusi peaks sellistest tellistest laotud müüritiste projekteerimiseks kasutama. Sellele tähtsale küsimusele täna veel ühtset ja kindlat vastust/lahendust ei ole. Enne telliste

massilist taaskasutamist tuleb teemaga tegeleda ja paika panna konkreetsed reeglid, sest hoone ehitamisel ei saa kasutada ehitusmaterjale, mille omadustes ei saa olla kindel. Teiseks, kui telliste survetugevuse määramine on keeruline ja ressursimahukas protsess või mõnda muud moodi keeruline on lihtsam kasutada uusi kui taaskasutatud telliseid.

3. KATSETES KASUTATUD EHITUSMATERJALID

3.1 Silikaattellis

Katsete tarbeks telliti üks alusetäis Silroc BRICK 65 silikaattelliseid. Saadeti koosnes 312-st tellisest mõõtmega 250 × 120 × 65 mm. Tellised kuuluvad survetugevuse alusel I kategooriasse ja survetugevuse klassi M20 ehk nende keskmine normaliseeritud survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures (normsurvetugevus) on $20,0 \frac{N}{mm^2}$. Painde- ega tõmbetugevust antud tellistele deklareeritud ei ole. Mõõtmeterantside järgi kuuluvad tellised kategooriasse T1, mis tähendab mõõtmete varieeruvust ± 2 mm. Saadetisega kaasas olnud tooteinfo on toodud joonisel 3.1 ja müüja (Bauroc) kodulehel olev toote toimivusdeklaratsioon [8] on lisas 1.

UAB "Aliteka" Varėnos raj. Matuizos, Statybininkų g. 19		CE 2268
LST EN 771-2 GAMYBOS KONTROLĖS ATITIKTIES SERTIFIKATAS 2268-CPR-370		
LT: I kategorijos Silikatiniai mūro gaminiai		
Gniuždomasis stipris: vidurkis, N/mm ²	>24.69	(⊥ guldomajam paviršiui)
Klasė	20	
Matmenys: ilgis (mm), plotis (mm), aukštis (mm)	250x120x65	
Matmenų tikslumo kategorija	T ₁	
Sausojo tankio (bruto) klasė	1,8	
Tuštymių tūris	-	
Šilumos laidumo koeficientas, λ _{10 dry}	0,81 W/m K	
Bloko šiluminė varža R	0,148 (m ² K)/W	
Kiekis padėkle	0,6084 m ³	312 vnt.
Data/Data/Дата	2022-09-19	
Partijos nr.	56	

Joonis 3.1 Telliste saadetisega kaasas olnud toote infoleht

3.2 Mõrt nr 1 (tsementmõrt)

Mõrdiks nr 1 on Uninaksi müüri seguga NAKS M100 ja vee segamisel saadav segu. Tegu on survetugevuse klassi M10 kuuluva tsementmõrdiga, mille normsurvetugevus on

$10,0 \frac{N}{mm^2}$. Tootja poolt saadud info kohaselt sisaldab kuivsegu 15 % sideainet, milleks on peamiselt portlandtsement, aga vähesel määral ka kustutatud lubi ning 87 % täiteainet, milleks on kvartsiiv maksimaalse tera suurusega 3 mm. Lisaks põhikomponentidele sisaldab kuivsegu veel polümeere ja plastifikaatorit. Katsete tarbeks kulus kuivsegu kaks kotti, iga kott 25 kg. Kuivsegu müüja (Uninaks) kodulehel olev toote toimivusdeklaratsioon [9] on toodud lisas 2.

3.3 Mört nr 2 (lubja ja tsemendi segamört)

Mördiks nr 2 on Meistri lubimört/müürimört 0-2 mm ja vee segamisel saadav segu. Mördi normsurvetugevus on $1,5 \frac{N}{mm^2}$. Tootja poolt saadud info kohaselt sisaldab kuivsegu 19 % sideainet, mis jaguneb järgmiselt: 13 % kustutatud lubi ja 6 % tsement; ülejäänud 81 % on täitematerjal, milleks on liiv ja purustatud lubjakivi. Sideaine puhul on tegu vääristatud lubjaga (FL). Kuivsegu terasuurus jääb vahemikku 0 – 2 mm. Katsete tarbeks kulus kuivsegu kaks kotti, iga kott 25 kg. Kuivsegu müüja (Meistri) kodulehel olev toote toimivusdeklaratsioon [10] on toodud lisas 3.

3.4 Mört nr 3 (lubja ja tsemendi segamört)

Mördiks nr 3 on Uninaksi lubikrohv NAKS LK1 ja vee segamisel saadav segu. Mördile ei ole tootja poolt deklareeritud survetugevust. Tootja poolt saadud info kohaselt sisaldab kuivsegu 22 % sideainet, mis jaguneb järgmiselt: 19 % kustutatud lubi ja 3 % tsement; ülejäänud 78 % on täitematerjal, milleks on liiv. Sideaine puhul on tegu vääristatud lubjaga (FL). Katsete tarbeks kulus kuivsegu kolm kotti, iga kott 25 kg. Kuivsegu müüja (Uninaks) kodulehel olev toote toimivusdeklaratsioon [11] on toodud lisas 4.

3.5 Mört nr 4 (lubimört)

Mördiks nr 4 on Meistri lubimördi ja vee segamisel saadav segu. Kuivsegu on Meistri enda välja pakutud retsepti järgi eritellimusel valmistatud toode. Kuivsegu koosneb 19 % sideainest, milleks on kustutatud lubi ning 81 % täitematerjalist, milleks on liiv ja purustatud lubjakivi. Sideaine puhul on tegu kaltsiumilise lobjaga (CL). Kuivsegu terasuurus jääb vahemikku 0 – 2 mm. Katsete tarbeks kulus kuivsegu kokku 50 kg. Tegu ei ole tavapärase tarbekaubaga, vaid pigem niššitootega, mille tõttu puudub tootel toimivusdeklaratsioon.

4. KATSETES KASUTATUD SEADMED JA TARVIKUD

4.1 Seadmed

Raputuslaud – standardi [12] kohane, mida kasutati mördisegude konsistentsi määramiseks. Lisas 5 on toodud pilt kasutatud raputuslauast (ülemine vasakpoolne).

Hobart – standardi [13] kohane segisti koos anuma ja segamislabilidaga, mida kasutati kõikide, välja arvatud müüritise ladumiseks kasutatud mördisegude valmistamiseks. Lisas 5 on toodud pilt kasutatud segistist (ülemine parempoolne).

Acculab V-1200 – kaal mõõtepiirkonnaga 1200 g ja skaala jaotisega 0,1 g. Kaalu kasutati mördi proovisegude komponentide (vee ja kuivsegu) ning kivistunud mördi katsekehade kaalumiseks. Lisas 5 on toodud pilt kasutatud kaalust (alumine vasakpoolne).

KERN EMS – kaal mõõtepiirkonnaga 6000 g ja skaala jaotisega 0,1 g. Kaalu kasutati mördisegude, millest tehti mördi survetugevuse katsekehad, komponentide (vee ja kuivsegu) kaalumiseks. Lisas 5 on toodud pilt kasutatud kaalust (alumine parempoolne).

KERN FKB 65K1A – kaal mõõtepiirkonnaga 65 kg ja skaala jaotisega 1 g. Kaalu kasutati müüritiste katsekehade ladumiseks kasutatava mördisegu komponentide (vee ja kuivsegu) kaalumiseks. Lisas 6 on toodud pilt kasutatud kaalust (ülemine vasakpoolne).

Matest Servo-Plus Evolution – hüdrauliline survekatsemasin mõõtepiirkonnaga 3000/250 kN ja skaala jaotisega 0,001 kN. Masinat kasutati müüritiste survetugevuse ning silikaattelliste surve- ja paindetugevuse määramiseks. Lisas 6 on toodud pilt kasutatud survepressist (ülemine parempoolne).

Strassentest – hüdrauliline surve- ja paindekatsemasin. Survepressi mõõtepiirkonnaks on 200 kN ja skaala jaotiseks 1 kN. Survepressi kasutati mördi nr 1 katsekehade survetugevuse määramiseks ja paindepressi kõigi mörtide katsekehade poolitamiseks. Mörtide paindetugevust seejuures ei fikseeritud. Lisas 6 on toodud pilt kasutatud seadmest (alumine vasakpoolne).

Segeer Tonindustrie – mehaaniline survekatsemasin. Masinat kasutati konfiguratsioonis, kus mõõtepiirkonnaks on 2000 kgf-i ja skaala jaotiseks 5 kgf-i. Survepressi kasutati mördi nr 2, 3 ja 4 katsekehade survetugevuste määramiseks. Lisas 6 on toodud pilt kasutatud survepressist (alumine parempoolne).

4.2 Tarvikud

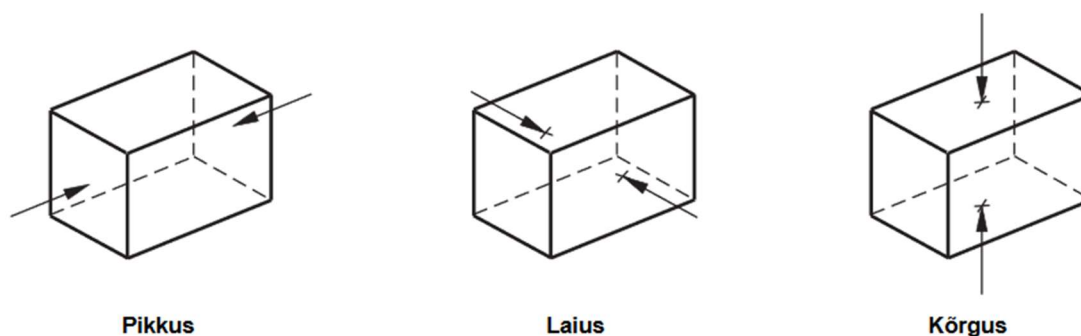
Nihkkaliiber täpsusega 0,05 mm, joonlaud täpsusega 0,5 mm, mõõdulint täpsusega 1 mm, digitaalne stopper täpsusega $\frac{1}{100}$ s, erinevas suuruses anumad, metallkühvel, metalllusikas, tüvikoonusekujuline vorm, tihendustamp, pahtlilabidas, kellu, hüdrauliliste sideainete põhiste mörtide katsekehade tegemiseks mõeldud metallvormid, sfääriliste servadega paindekatse toed, vesilood, metallrestid, polüetüleenist kotid, abrsobentpaber, marli.

5. SILIKAATELLISE SURVETUGEVUS

5.1 Katsemetoodika

Müüritiste katsekehade tegemiseks kasutatavate silikaatelliste survetugevus on määratud lähtudes standardis [14] toodud katsemetoodikast. Kasutatud katsemetoodikasse on võrreldes standardis tooduga sisse viidud mõningad muudatused.

Alusetäiest silikaatelliste saadetest ladustati ligikaudu pooled tellised laborisse temperatuurile $\geq 15\text{ °C}$ ja suhtelisele õhuniiskusele $\leq 65\%$. Ruumipuuduse tõttu toimus ladustamine virna. Telliseid hoiti kirjeldatud tingimustes 28 päeva. Standardis [14] toodud 14 päeva asemel hoiti telliseid laboris kauem, sest virna laotud telliste ümber ei saa õhk vabalt liikuda ning nende standardikohane kuivamine on sellega takistatud. 28 päeva kuivanud telliste hulgast võeti juhuslikult kuus selliselt, et tekkiv valim oleks esinduslik ja iseloomustaks tervet saadetist võimalikult täpselt. Valituks osutunud, kuid transportimise käigus viga saanud katsekehad (näiteks suurte mõrade või katkiste servadega) asendati uutega. Katsekehade mõõtmed määrati lähtudes standardis [15] toodule. Silikaatelliste pikkus (l_u), laius (w_u) ja kõrgus (h_u) mõõdeti nihkkaliibriga katsekehade keskelt joonisel 5.1 näidatud kohtadest. Tulemused dokumenteeriti täpsusega 0,5 mm.



Joonis 5.1 Silikaatelliste mõõtmete mõõtmise kohad, väljavõte standardist [15]

Enne iga katsekeha survekatsesmasinasse Servo-Plus Evolution panemist pühiti tellise ja katsesmasina plaatide koormuspinnad puhtaks. Tellised asetati katsesmasinasse ja tsentreeriti selle suhtes, tagamaks koormuse ühtlast jaotumist. Telliseid katsetati samas asendis nagu neid kasutatakse müüritise ladumisel, ehk tellise koormatavaks pinnaks on $A = 250 \times 120\text{ mm}$ ja kõrguseks $h_u = 65\text{ mm}$. Katsekehi koormati kogu katse vältel kuni purunemiseni ühtlase kiirusega $4 \frac{\text{kN}}{\text{s}} \left(0,133 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2 \cdot \text{s}}\right)$. Telliste maksimaalsed purustavad

jõud (F) dokumenteeriti. Koormamiskiiruse valimisel lähtuti asjaolust, et silikaattellisega vastu võetava poolest maksimaalsest koormusest kuni maksimaalse koormuse rakendumiseni jääks vähemalt standardis [14] toodud 1 min. Antud katsetel tuli selleks ajaks keskeltläbi 1,5 min.

5.2 Tulemuste analüüs

Silikaattellige koormamisel tekkisid praod tellise servadesse ja laienesid kuni servade (üldiselt ühes tükis) eraldumiseni. Eraldunud tükid olid keskelt kergelt kumerad, jättes alles jääva tellise osa keskelt kitsamaks, kui ülemisest ja alumisest servast. Kõik katsetatud silikaattelliged purunesid kirjeldatud viisil, mis oli ootuspärane. Tellise purunemispind on näha joonisel 5.2.



Joonis 5.2 Silikaattellis pärast koormamisel purunemist

Määratud kuue silikaattellige purustavad jõud (F) on kasutades valemit 5.1 arvatud üksikute telliste survetugevused (f_c). Valemiga 5.2 on leitud üksikute katsekehade

survetugevuste aritmeetiline keskmine (f_{cm}), mis iseloomustab terve saadetise telliste tugevust. Kõik silikaattellise survetugevused on arvutatud täpsusega $0,1 \frac{N}{mm^2}$.

$$f_{ci} = \frac{F}{A}, \quad (5.1)$$

kus f_{ci} – üksiku katsekeha survetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;
 F – katsekeha purustav jõud, N;
 A – katsekeha survepindala, mm^2 .

$$f_c = \frac{728201}{250,0 \cdot 119,5} = 24,4 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$f_{cim} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n}, \quad (5.2)$$

kus f_{cim} – üksikute katsekehade keskmine survetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;
 f_{ci} – üksiku katsekeha survetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;
 n – katsetatud katsekehade arv.

$$f_{cm} = \frac{24,4+25,8+25,8+26,8+25,4+26,0}{6} = 25,7 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Kasutades valemit 5.3 on arvutatud valimi moodustanud silikaattelliste survetugevuste (f_c) standardhälve (σ) ja valemiga 5.4 survetugevuste variatsioon (v). Kõik silikaattellise survetugevuse variatsioonid on arvutatud täpsusega 0,1 %.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cim})^2}{n-1}}, \quad (5.3)$$

kus σ – üksikute katsekehade survetugevuste standardhälve, $\frac{N}{mm^2}$;
 f_{ci} – üksiku katsekeha survetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;
 f_{cim} – üksikute katsekehade keskmine survetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;
 n – katsetatud katsekehade arv.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(24,4-25,7)^2+(25,8-25,7)^2+(25,8-25,7)^2+(26,8-25,7)^2+(25,4-25,7)^2+(26,0-25,7)^2}{6-1}} = 0,791 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$v = \frac{\sigma}{f_{cim}} \cdot 100, \quad (5.4)$$

kus v – üksikute katsekehade survetugevuste variatsioon, %;
 σ – üksikute katsekehade survetugevuste standardhälve, $\frac{N}{mm^2}$;
 f_{cim} – üksikute katsekehade keskmine survetugevus, $\frac{N}{mm^2}$.

$$v = \frac{0,791}{25,7} \cdot 100 = 3,1 (\%)$$

Üksikute silikaattelliste survetugevustest (f_c) on kasutades valemit 5.5 arvatatud üksikud normaliseeritud survetugevused (f_b) ja valemile 5.2 on leitud nende aritmeetiline keskmine ehk keskmine normaliseeritud survetugevus (f_{bm}).

$$f_b = f_{ci} \cdot 1,0 \cdot d, \quad (5.5)$$

kus f_b – üksiku silikaattelliste normaliseeritud survetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;

f_{ci} – üksiku katsekeha survetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;

1,0 – silikaattellise survetugevuse teisendamisteguri väärtus õhkuivale olekule;

d – müürikivi (silikaattellise) kujutegur.

$$f_b = 24,4 \cdot 1,0 \cdot 0,81 = 19,7 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$f_{bm} = \frac{19,7+20,9+20,9+20,7+20,5+21,1}{6} = 20,8 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Valemis 5.5 kasutatud müürikivi kujutegur (d) on leitud interpoleerimise teel standardi [14] lisa A-d kasutades (tabel 5.1). Silikaattellisele laiussega $w_u = 120$ mm ja kõrgusega $h_u = 65$ mm vastab kujutegur $d = 0,75 + \frac{0,85-0,75}{150-100} = 0,81$.

Tabel 5.1 Müürikivide kujuteguri d sõltuvalt katsekeha mõõtmetest, väljavõte standardist [14]

Laius mm	50	100	150	200	≥ 250
Kõrgus^a mm					
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥ 250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

Valemitega 5.3 ja 5.4 on arvatatud üksikute silikaattelliste normaliseeritud survetugevuste (f_b) standardhälve (σ) ja variatsioon (v).

$$\sigma = \sqrt{\frac{(19,7-20,8)^2+(20,9-20,8)^2+(20,9-20,8)^2+(21,7-20,8)^2+(20,5-20,8)^2+(21,1-20,8)^2}{6-1}} = 0,641 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$v = \frac{0,641}{20,8} \cdot 100 = 3,1 (\%)$$

Valemiga 5.6 on arvatud silikaattellise normsurvetugevus ($f_{cm,95}$) ehk keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures. Samamoodi on normsurvetugevus ($f_{b,95}$) arvatud ka silikaattellise normaliseeritud survetugevuse (f_{cm}) põhjal.

$$f_{cm,95} = f_{cm} - \sigma \cdot k_3, \quad (5.6)$$

kus $f_{cm,95}$ – materjali keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;

f_{cm} – üksikute katsekehade keskmine survetugevus, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;

σ – üksikute katsekehade survetugevuste standardhälve, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;

k_3 – ühepoolse statistilise tolerantsi piirtegur 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures, 6 katsetulemuse korral on $k_3 = 0,823$.

$$f_{cm,95} = 25,7 - 0,791 \cdot 0,823 = 25,0 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$f_{b,95} = 20,8 - 0,641 \cdot 0,823 = 20,3 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

Silikaattelliste survetugevuse katse on teostatud 09.03.2023. Selleks ajaks olid tellised 171 päeva ehk ligi pool aastat vanad. Katse käigus määratud ja hilisemal andmetöötlusel saadud tulemused on koondatud ja esitatud lisas 7 toodud tabelis. Tabelis 5.2 on toodud katsetatud silikaattelliste survetugevuste võrdlus tootja poolt deklareeritud [8] ja katseliselt määratud väärtustega. Silikaattelliste toimivusdeklaratsiooni kohaselt kuuluvad katsetatud tellised survetugevuse I klassi, mis tähendab, et survetugevused esitatakse 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures. Katsetulemuste kohaselt on silikaattellise Silroc BRICK 65 keskmine survetugevus ($f_{cm,95}$) ja keskmine normaliseeritud survetugevus ($f_{b,95}$) 1,4 % suuremad deklareeritud väärtustest. Standardi [16] kohaselt ei tohi standardi [14] järgi määratud keskmine normaliseeritud survetugevus ($f_{b,95} = 20,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$) olla väiksem deklareeritud väärtusest ($20,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$) ega deklareeritud survetugevusklassile vastavast väärtusest ($20,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$). Samuti ei tohi olla üksikute telliste survetugevused (f_c) väiksemad deklareeritud keskmisest survetugevusest rohkem kui 80 % ($19,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$). Väikseim määratud silikaattellise survetugevus on $f_c = 24,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Katsetulemuste põhjal saab öelda, et

silikaattelistel on tagatud deklareeritud survetugevus ja vastavus standardis seatud piirangutele.

Tabel 5.2 Katsetatud silikaattelliste deklareeritud ja katseliselt määratud survetugevuste võrdlus

	Deklareeritud väärtus	Katseline väärtus
Keskmine survetugevus $f_{cm,95}$ [N/mm²]	24,7	25,0
Keskmine normaliseeritud survetugevus $f_{b,95}$ [N/mm²]	20,0	20,3
Survetugevuse klass	20	20

6. SILIKAATTELLISE TÕMBETUGEVUS

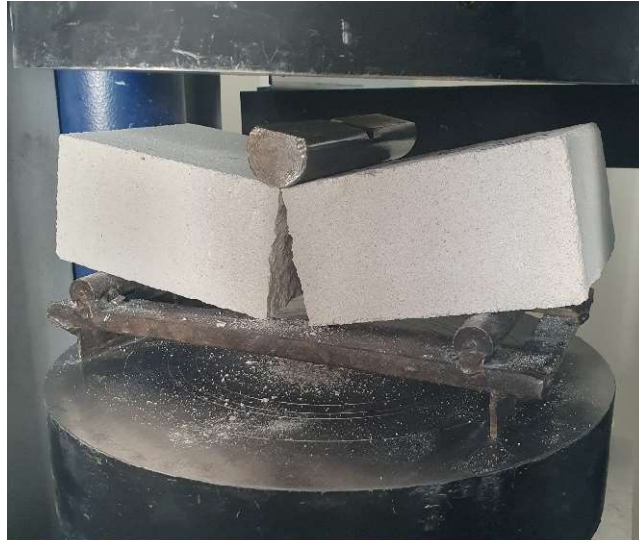
6.1 Katsemetoodika

Standardis [16] ei ole määratletud silikaattellise tõmbetugevuse määramise katsemetoodikat. Sellest tulenevalt sai välja töötatud lihtsustatud katsemetoodika, mis näeb ette tellise tõmbetugevuse leidmise kolme punkti paindekatses saadud paindetugevusest. Samuti ei ole standardis [16] määratletud silikaattellise paindetugevuse määramise katsemetoodikat.

Katsetamiseks võeti kolm silikaattellist, need puhastati lahtisest purust ja määrati gabariitmõõtmed. Telliste võtmine saadetest ja mõõtmete määramine toimus sama moodi nagu peatükis 5.1 toodud. Tellis asetati kahele metallist sfääriliste servadega tugele selliselt, et tellise mõlemast otsast oleks toeni võrdne kaugus (25 mm). Tugede endi vahekaugus on $L = 200$ mm. Tellise peale, kivi keskele, asetati kolmas metallist sfääriliste servadega tugi. Tellise paiknemist tugede suhtes on näha joonisel 6.1. Kasutatud toed olid jäigad, ega võimaldanud neil katsetuse käigus vabalt pöörduda. Tugedele asetatud silikaattellis asetati survekatsemasinasse Servo-Plus Evolution ja tsentreeriti masina suhtes. Silikaattellisele rakendati ligikaudu pool maksimaalsest koormusest koheselt esimese 2 s jooksul ning edasi koormati kiirusega $0,03 \frac{\text{kN}}{\text{s}}$. Kokku kestis koormamine keskeltläbi 1,5 min.

6.2 Tulemuste analüüs

Silikaattellised purunesid ootuspäraselt ülemise toe alt. Purunemispind oli paralleelne telliste otsmiste ja risti külgmiste tasapindadega. Joonisel 6.1 on näha paindele purunenud silikaattellist vahetult pärast katse sooritamist.



Joonis 6.1 Kolmepunkti paindel purunenud silikaattellis

Valemiga 6.1 on arvatud üksiku silikaattelliste paindetugevus (f_f) ja analoogselt valemiga 5.2 on leitud kolme üksiku paindetugevuse aritmeetiline keskmine (f_{fm}). Silikaattellise paindetugevused on arvatud täpsusega $0,1 \frac{N}{mm^2}$.

$$f_f = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot w_u \cdot h_u^2}, \quad (6.1)$$

kus f_f – üksiku silikaattellise paindetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;

F – katsekeha purustav jõud, N;

L – silikaattellise alumiste tugede vahekaugus, mm;

w_u – silikaattellise laius, mm;

h_u – silikaattellise kõrgus, mm.

$$f_f = \frac{3 \cdot 4867 \cdot 200}{2 \cdot 119,5 \cdot 65,0^2} = 2,9 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$f_{fm} = \frac{2,9 + 2,7 + 3,3}{3} = 3,0 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Silikaattellise painde- ja tõmbetugevuse vaheliste seoste vähesele kättesaadavusele on üksikute telliste tõmbetugevused (f_t) arvatud kasutades selleks valemit 6.2, mis kirjeldab kehtivat seost betooni korral. Sarnaselt on toimitud ka teadusartiklis [17]. Analoogselt valemile 5.2 on leitud kolme üksiku tõmbetugevuse aritmeetiline keskmine (f_{tm}). Silikaattellise tõmbetugevused on arvatud täpsusega $0,1 \frac{N}{mm^2}$.

$$f_t = \frac{f_f}{1,6 - \frac{h_u}{1000}}, \quad (6.2)$$

kus f_t – üksiku silikaattellise tõmbetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;
 f_f – üksiku silikaattellise paindetõmbetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;
 h_u – silikaattellise kõrgus, mm.

$$f_t = \frac{2,9}{1,6 - \frac{65,0}{1000}} = 1,9 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$f_{tm} = \frac{1,9+1,8+2,1}{3} = 1,9 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Analoogselt valemitega 5.3 ja 5.4 on arvatud üksikute silikaattelliste tõmbetugevuste (f_t) standardhälve (σ) ja variatsioon (v). Variatsioon on arvatud täpsusega 0,1 %.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(1,9-1,9)^2 + (1,8-1,9)^2 + (2,1-1,9)^2}{3-1}} = 0,190 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$v = \frac{0,190}{1,9} \cdot 100 = 9,8 (\%)$$

Analoogselt valemiga 5.6 on arvatud silikaattellise normtõmbetugevus ($f_{tm,95}$) ehk keskmine tõmbetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures. Kolme katsekeha korral on $k_3 = 1,686$.

$$f_{tm,95} = 1,9 - 0,190 \cdot 1,686 = 1,6 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Silikaattelliste paindetugevuse katse on teostatud 21.04.2023. Selleks ajaks olid tellised 214 päeva ehk natukene üle poole aasta vanad. Katse käigus määratud ja hilisemal andmetöötlusel saadud tulemused on koondatud ja esitatud lisas 8 toodud tabelis. Katsetatud silikaattellistele ei ole tootja poolt painde- ega tõmbetugevust deklareeritud.

7. MÖRTIDE SURVETUGEVUS

7.1 Katsemetoodika

Kõik mördisegud, mida kasutati mördi survetugevuse katsekehade tegemiseks on valmistatud standardi [18] kohaselt. Mördisegud on valmistatud laboratoorsetes tingimustes temperatuuril 20 ± 2 °C. Esmalt tõmmati segisti anumasse siseküljed ja segamislaba niiske lapiga enne anumasse vee valamist üle, et kogu lisatav vesi saaks reageerida kuivainega. Järgnevalt lisati segu standardikohase valguvuse (175 ± 10 mm) saavutamiseks kulumisvee kogus anumasse. Segisti pandi tööle ning 30 s jooksul lisati ühtlaselt segisti anumasse eelnevalt välja kaalutud kuivaine kogus. Peale kuivaine anumasse valamist, lasti segistil segu veel 30 s segada. Seejärel segati segu 60 s jooksul käsitsi, et anumasse külgedele ja põhjapeale jäänud vähem segunenud segu mass seguneks ühtlaselt ülejäänud seguga. Kui segu oli käsitsi läbi segatud, lasti segistil segu veel 30 s segada, pärast mida oli segu kasutamiseks valmis. Segu komponentide (vee ja kuivaine) segamine kestis kokku 120 s, millest 60 s segistiga ja 60 s käsitsi.

Mördi survetugevuse katsekehade valmistamiseks kasutatavat mördisegu tehti 2 kg kuivsegu kaupa. Saadud segu kogusest piisas valguvuse määramiseks ja ühe survetugevuse katsekehade vormi täitmiseks (kolm katsekeha). Suurema koguse mördi valmistamise korral muutus segistis segu segamine ebamugavaks. Mördisegude standardikohane valguvus määrati eelnevalt proovisegudega keskmiselt kuuendal katsel. Proovisegused valmistati 1 kg kuivsegu kaupa samamoodi nagu eespool kirjeldatud ning määrati nende valguvus järgmise löögi kohaselt segu erineva veesisalduse juures kuniks saavutati otsitav valguvus. Otsitava valguvuse saavutanud segu veesisaldus fikseeriti. Proovisegudes oli kuivaine sisalduseks 1 kg hoidmaks kokku kuivsegu. Mördisegude, millest on tehtud mördi survetugevuse katsekehad, koostis ja valguvus ning katsekehade tegevad edasised toimingud koos kellaaegade ja kuupäevadega on esitatud tabelina lisa 9.

Mördisegu konsistents on määratud raputuslauaga standardi [12] kohaselt. Standardikohase mördisegu konsistentsi saavutamiseks pidi segu valguvus katsetatavate segude puhul olema 175 ± 10 mm. Mördisegu nõutav valguvus sõltub segu tihedusest. Enne raputuslaua kasutamist tehti raputuslauaga 10 lööki veendumaks, et raputuslaud töötab korrektselt. Koheselt peale mördisegu valmimist, määrati kõigi segude valguvus. Iga katse alustuseks tõmmati raputuslaua ketas ja tüvikoonusekujulise vormi sisepind niiske lapiga üle. Vorm asetati raputuslaua keskele

ja täideti mördiseguga kahes võrdse paksusega kihis. Igat kihti tihendati tihendustambiga, tehes tihendatavasse kihti 10 sorget. Vormist üleulatuv mört eemaldati ja vormi pealmine pind siluti pahtlilabidaga. Vormi täitmisel, vormi alt, segust eemaldunud vesi kuivatati. Peale vormi täitmist lasti mördisegul vormis 15 s seista, pärast seda tõsteti vorm aeglaselt püstsuunas üles. Seejärel tehti raputuslauaga 15 lööki kiirusega 1 löök sekundis. Laialivalgunud segu läbimõõt mõõdeti nihkkaliibriga kahes ristuvast suunas ja registreeriti täpsusega 1 mm. Vormi täitmise ja segu tihendamise ajal hoiti vormi kindlalt paigal vältimaks segu vormi ja raputuslaua plaadi vahelt välja tulemast.

Mörtide survetugevuse katsekehad on tehtud ja katsetatud lähtudes standardis [19] toodud katsemetoodikast. Kasutatud katsemetoodikasse on võrreldes standardis tooduga sisse viidud mõningad muudatused, mis on peamiselt tingitud osade standardikohaste katsevormide puudumise tõttu. Mörtide survetugevuse katsekehade tegemiseks on kasutatud standardis [13] esitatud vormi, mis enne kasutamist puhastati ja mille sisepinnad kaeti mördi kleepumise vältimiseks õhukese mineraalõlikihiga. Mördisegu, mis jäi valguvuse määramisest üle segati väärtardumise vältimiseks 5 – 10 s, seejuures kogu segumit läbi segamata. Edasi kasutati segu mördi survetugevuse katsevormide täitmiseks. Valguvuse määramisel kasutatud segu survetugevuse katsekehade tegemiseks ei kasutatud. Survetugevuse katsekehade (160 × 40 × 40 mm) tegemiseks mõeldud metallvormid täideti mördiseguga kahes võrdse paksusega kihis. Igat kihti tihendati tihendustambiga, tehes tihendatavasse kihti 25 sorget. Üleliigne mört eemaldati ja vormi pealmine pind siluti pahtlilabidaga vormi ülemise äärega tasa. Kirjeldatud meetodit kasutati vormide täitmisel mörtidega nr 1, 2 ja 3. Mörtidest 2 ja 3, mille sideaines on tsemendisisaldus alla 50 % tuleks standardit [19] järgides katsekehad valmistada teisiti, aga kuna nende mörtide survetugevuse katsekehade tegemiseks ei olnud standardikohaseid vorme võtta, tehti nendest mörtidest katsekehad samamoodi nagu tsement sideaine põhiste segude korral. Mördi nr 4 survetugevuse katsekehad tehti analoogselt eelpool toodule, aga erinevalt sellest pandi vormi põhja 14 kihti abrsobentpaberit summaarse veeimavusega $925 \pm 25 \frac{g}{m^2}$ ja nende peale 2 kihti marlit. Pärast vormi täitmist pandi ka vormi peale 2 kihti marlit ja 14 kihti abrsobentpaberit, sarnaselt nagu vormi põhja. Vormi kõige peale pandi puitplaat, millele asetati ligikaudu 5 kg raskus. Raskust hoiti vormil ligikaudu ööpäev. Ööpäeva möödudes raskus, puitplaat ja katsekeha peal olevad abrsobentpaberid koos marliga eemaldati. Kõigi mördisegude puhul kulus segu valmimisest survetugevuse katsekehade vormide täitmiseni vahepealse segu valguvuse määramisega keskeltläbi 10 min. Mördist nr 1 tehti üks vormitais ehk kolm katsekeha (160 × 40 × 40 mm). Mörtidest nr 2, 3 ja 4 tehti neli vormitait ehk 12 katsekeha (160 × 40 × 40 mm).

Katsekehi hoiti vormipanemisest kuni katsetamiseni tabelis 7.1 toodud tingimustel. Mõrdi nr 1 survetugevus määrati 28 päeva vanuselt. Mõrtide 2, 3 ja 4 survetugevused 7, 14, 28 ja 56 päeva vanuselt. Iga mõrdi survetugevuse määramiseks uuritava vanusel kasutati kolme katsekeha (160 × 40 × 40 mm).

Tabel 7.1 Mõrdisegude tardumis- ja kivinemistingimused kuni katsetamiseni

Mõrdisegu nr	Hoidmise aeg temperatuuril 20 °C (+3 °C/-2 °C) [päeva]			
	Vormis raskuse all	Polüetüleenist kotis *		Hoiuruumis **
		Vormis	Vormist väljas	Vormist väljas
Mört nr 1	-	1	6	21
Mört nr 2	-	5	2	49
Mört nr 3	-	5	2	49
Mört nr 4	1	4	2	49

* Kott avati iga päev ja pihustatti sinna vett

** Suhteline õhuniiskus 65 ± 5 %

Vahetult enne mõrtide survetugevuse määramist kaaluti katsekehad kaaluga KERN EMS ning nende mass registreeriti täpsusega 0,1 g. Katsekehade mõõtmeteks on võetud nende tardumiseks kasutatud vormi sisemõõtmed (160 × 40 × 40 mm). Seejärel katsekehad poolitati kolme punkti paindekatsega, kasutades selleks paindekatsemasinat Strassentest. Mõrdist katsekehade paindetugevust ei registreeritud. Iga üksiku survekatse eel pühiti ära katsekeha vormipoolsetelt külgedelt ja surveplaatidelt lahtine puru. Katsekeha asetati surveplaatide vahele külili selliselt, et surveplaatide vastas oleks katsekeha küljed, mis olid vormis terasplaatide vastas. Mõrdist nr 1 katsekehade survetugevused määrati survekatsemasinaga Strassentest, kus katsekehale koormust rakendatavate surveplaatide mõõtmed olid 40 × 40 mm. Katsekehi koormati kiirusega $400 \frac{N}{s}$ ning survetugevus fikseeriti täpsusega 1 kN. Mõrtidest nr 2, 3 ja 4 katsekehade survetugevused määrati survekatsemasinaga Seger Tonindustrie, kus katsekehale koormust rakendavate surveplaatide mõõtmed olid 63 × 40 mm. Katsekehi koormati kiirusega $100 \frac{N}{s}$ ning survetugevus fikseeriti täpsusega 5 kgf-i. Katsekehadel, millel ei saanud katsekeha mõõtmete tõttu (ei purunenud paindele katsekeha keskelt) kasutada surveplaatide mõõtmetega 63 × 40 mm kasutati koormuse rakendamiseks surveplaatide mõõtmetega 40 × 40 mm. Standardi [19] kohaselt peab survetugevust määrama kasutades surveplaatide 40 × 40 mm, aga mõrtide nr 2, 3 ja 4 väikese tugevuse tõttu kasutati surveplaatide mõõtmetega 63 × 40 mm, et survepindala oleks suurem ja rakendada saaks suuremat koormust tänu millele on saadav tulemus täpsem.

7.2 Tulemuste analüüs

Mördist survetugevuse katsekehad purunesid tõmbepingete toimet koonilise purunemispildi järgi. Kirjeldatud purunemise viis oli ootuspärane ja viitab ühtlasele mördi struktuurile. Mördist nr 2, 3 ja 4 valmistatud katsekehad olid pärast purunemist pudedamad kui mördist nr 1 tehtud katsekehad.

Valemiga 7.1 arvutati katsekehade mõõtmetest nende ruumala (V) ning valemiga 7.2 katsekehade tihedus (ρ).

$$V = a \cdot b \cdot h, \quad (7.1)$$

kus V – mördist katsekeha ruumala, mm^3 ;
 a – mördist katsekeha pikkus, mm ;
 b – mördist katsekeha laius, mm ;
 h – mördist katsekeha kõrgus, mm .

$$V = 160,0 \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 256000 \text{ (mm}^3\text{)} = 256 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (7.2)$$

kus ρ – mördist katsekeha tihedus, $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$;
 m – mördist katsekeha mass, g ;
 V – mördist katsekeha ruumala, cm^3 .

$$\rho = \frac{467,9}{256} = 1,83 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = 1830 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Määratud kõigi kuue mördist katsekeha purustavad jõud (F) on kasutades valemit 5.1 arvutatud üksikute katsekehade survetugevused (f) ja valemiga 5.2 leitud üksikute survetugevuste aritmeetiline keskmine (f_m). Mördi nr 1 survetugevused on arvutatud täpsusega $0,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Mörtide nr 2, 3 ja 4 survetugevused on väikese tugevuse tõttu arvutatud täpsusega $0,01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Purustav jõud (F), mis registreeriti ühikus kgf teisendati ühikusse N , kasutades selleks järgnevat seost: $1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$.

$$f = \frac{17000}{40,0 \cdot 40,0} = 10,6 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$f_m = \frac{10,6 + 9,4 + 10,0 + 10,0 + 10,0 + 10,0}{6} = 10,0 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

Kasutades valemit 5.3 on arvatud üksikute mördist katsekehade survetugevuste (f) standardhälve (σ) ja valemiga 5.4 nende variatsiooni (v). Variatsioon on arvatud täpsusega 0,1 %.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(10,6-10,0)^2+(9,4-10,0)^2+(10,0-10,0)^2+(10,0-10,0)^2+(10,0-10,0)^2+(10,0-10,0)^2}{6-1}} = 0,395 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$v = \frac{0,395}{10,0} \cdot 100 = 4,0 (\%)$$

Valemiga 5.6 on arvatud mördi normsurvetugevus ($f_{m,95}$) ehk keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures. Kuue katsekeha korral on $k_3 = 0,823$ ja viie katsekeha korral on $k_3 = 0,954$.

$$f_{m,95} = 10,0 - 0,395 \cdot 0,823 = 9,7 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

Katse käigus määratud ja hilisemal andmetöötlusel saadud tulemused on koondatud tabelitesse ja esitatud iga mördi kohta eraldi lisas: lisas 10 mört nr 1 (tsementmört), lisas 11 mört nr 2 (lubja ja tsemendi segamört), lisas 12 mört nr 3 (lubja ja tsemendi segamört) ja lisas 13 mört nr 4 (lubimört). Mördi nr 1 toimivusdeklaratsiooni [9] kohaselt on mördi deklareeritud normsurvetugevus $10,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Katseliselt saadud normsurvetugevuseks on $f_{m,95} = 9,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, mis on deklareeritust 3,3 % väiksem. Mördi nr 2 toimivusdeklaratsiooni [10] kohaselt on mördi deklareeritud normsurvetugevus $1,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Katseliselt saadud normsurvetugevuseks on $f_{m,95} = 1,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, mis on võrdne deklareeritud väärtusega. Mörtidele 3 ja 4 survetugevuse väärtust tootja poolt deklareeritud ei ole. Mördi nr 3 tugevus oli osati üllatav, sest survetugevus ($f_{m,95} = 1,89 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$) on suurem kui mördi nr 2 survetugevus ($f_{m,95} = 1,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$), samas kui mört nr 2 on tihedam ja suurema tsemendi sisaldusega kui mört nr 3. Üllatuseks tuli ka mördi nr 4 väike survetugevus ($f_{m,95} = 0,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$). Oli küll oodata, et lubimört on väikese tugevusega, aga saadud väärtus oli algselt eeldatust tunduvalt väiksem. Raamatu [7] kohaselt on lubimördi survetugevus 28 päeva vanuselt $0,4 \dots 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, varasema magistritöö [20] kohaselt $0,78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ja Alo Peebo jutu kohasel kuni ligikaudu $0,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Teisest küljest on tulemustest ootuspäraselt näha, et mörtide nr 2 ja 3 tugevuste kasv pärast 28 päeva väheneb kuid lubimördil mitte, mis on lubja üheks erinevuseks tsemendi suhtes.

8. MÜÜRITISTE SURVETUGEVUS

8.1 Katsemetoodika

Müüritiste survetugevus on määratud lähtudes standardis [21] toodud katsemetoodikast, kuid katsetatavate katsekehade kuju on standardi [22] kohane. Lisaks sellele on kasutatud katsemetoodikasse võrreldes standardis tooduga sisse viidud veel mõningad muudatused. Katsekeha kuju on algupärasest standardist erinev, sest vastasel juhul oleks katsekehade katsetamine olnud komplitseeritud. Teadusartikli [17] kohaselt annavad mõlema katsekeha kujuga tehtavad survetugevuse katsed praktiliselt identse müüritise survetugevuse.

Alusetäiest silikaattelliste saadetest ladustati ligikaudu pooled tellised, mis olid mõeldud müüritiste ladumiseks sisetingimustesse temperatuurile $\geq 15\text{ °C}$ ja suhtelisele õhuniiskusele $\leq 65\%$. Tellised ladustati põrandale püstises asendis malekorras. Kõigi telliste vahele jäeti umbes 5 cm vahed, võimaldamaks õhu vaba liikumist telliste ümber ja soodustamaks sellega nende kuivamist. Telliseid hoiti kirjeldatud tingimustes vähemalt 7 päeva, enne kui neid kasutati müüritiste katsekehade tegemiseks. Olenevalt müüritiste katsekehade tegemise kuupäevast said tellised kuivada 7-29 päeva. Telliste kuivamiseks piisas antud tingimustes 7-st päevast. Müüritiste ladumiseks ei kasutatud transportimise käigus viga saanud (näiteks suurte mõrade või katkiste servadega) telliseid.

Müüritiste katsekehade ladumiseks kasutatav mördisegu valmistati suures ämbris käsitsi kelluga segades. Segu tegemisel lähtuti mördi survetugevuse katsekehade valmistamiseks kasutatavate segude veevajadustest. Segu optimaalse töödeldavuse saavutamiseks müüritise ladumiseks vähendati või suurendati algset veevajadust vähesel määral. Mördisegude konsistentsi raputuslual või mõnel muul meetodil neile segudele ei määratud. Segamisele ei seatud kindlat ajapiiri vaid segati kuni segu ühtlase segunemiseni. Kuivsegu maksimaalseks koguseks segu tegemiseks võeti ligikaudu 10 kg, et segamine ei muutuks liiga raskeks ja segu komponendid (vesi ja kuivaine) paremini seguneksid. Mördisegude koostis ja neist tehtud müüritiste katsekehade edasised toimingud on toodud tabelis lisas 14.

Tehtavad müüritiste katsekehad kujutavad endast kolme üksteise peale laotud silikaattellist, mille vahel on silevuugiks 10 mm paksune mördikiht. Katsekehade tegemine ja edasine hoidmine toimus sisetingimustes temperatuuril $(20 \pm 2)\text{ °C}$ ja

suhtelisel õhuniiskusel $\leq 50\%$. Müüritisi laoti tasasel pinnal ja iga kivi horisontaalsust müüritise katsekehas kontrolliti vesiloodiga. Kõigi katsekehade korral ei õnnestunud vuugi kõrguseks saavutada täpselt 10 mm, seega on vuukide kõrgused mõnevõrra varieeruvad. Valmis laotud katsekehad kaeti kuivamise vältimiseks polüetüleenist killega. Kile hoiti katsekehadel kolm päeva ja siis see eemaldati. Seejärel seisid katsekehad kuni survetugevuse katseteni samades tingimustes, kus neid valmistati.

Mörtil nr 1 kasutades tehti 4 müüritise katsekeha kuivade tellistega, 4 ladumise ajal korraks vette kastetud tellistega ja 4 tellistega, mis olid eelnevalt 48 h veeämbri vee all olnud. Mörtil nr 2 ja 4 kasutades tehti 12 katsekeha kuivade ja hiljem 4 täiendavat katsekeha ladumise ajal korraks vette kastetud tellistega. Mörtil nr 3 kasutades tehti 16 katsekeha ladumise ajal korraks vette kastetud tellistega. Korraks vette kastmise all mõeldakse kivide vee all hoidmist 5 s. Algse plaani kohaselt pidi mörtidest 2, 3 ja 4 kõik katsekehad tehtama kuivadest tellistest. Esimeste katsekehade kuivamise ajal ilmnes, et kuivad kivid imevad mördist vee liiga kiiresti välja ja tellise ning mördi vahele tekivad praod mördi mahukahanemisest. Praod omakorda vähendavad naket kivi ja mördi vahel, mis mõjub negatiivselt müüritise survetugevusele. Sellest tulenevalt sai otsustatud veel tegemata müüritise katsekehad mördist nr 3 teha ladumise ajal korraks vette kastetud tellistega ja mördist nr 2 ja 4 teha täiendavad 4 katsekeha samal meetodil võrdluseks juurde.

Enne iga müüritise katsekeha survekatsemasinasse Servo-Plus Evolution panemist määrati nihkkaliibriga müüritise vuukide keskmised kõrgused täpsusega 0,5 mm ning puhastati katsekeha ja katsemasina koormatavad pinnad lahtisest purust. Katsekeha pandi katsemasinasse, tsentreeriti selle suhtes ning koormati vastavalt katsekeha vanusele ja kasutatud mördi liigile ühtlase kiirusega $0,4 - 0,75 \frac{\text{kN}}{\text{s}} \left(0,013 - 0,025 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2 \cdot \text{s}} \right)$ kogu katse vältel. Iga müüritise täpne koormamise kiirus on esitatud tabelis lisa 15. Müüritiste koormamine kestis koormamise algusest kuni katsekeha purunemiseni keskel läbi 7 – 12 min.

Vastavalt lisa 14 toodud tabelile määrati mördist nr 1 laotud müüritiste survetugevused 28 päeva vanuselt ja ülejäänud mörtidest laotud müüritiste survetugevused 7, 14, 28 ja 56 päeva vanuselt. Müüritiste survetugevused mörtidest nr 2 ja 4 määrati uuritava vanusel kolme kuivade tellistega laotud katsekeha katsetamisega. Lisaks määrati igal uuritava vanusel ühe korraks vette kastetud tellistega laotud müüritise survetugevus. Müüritiste survetugevused mördist nr 3 määrati igal uuritava vanusel nelja katsekeha katsetamisega.

8.2 Tulemuste analüüs

Müüritiste katsekehad purunesid koormuse all olenemata katsekeha vanusest ja kasutatud mördist sarnaselt. Enim purunes keskmine tellis, mille külgedele tulid vertikaalsed praod ja laienesid kuni külgede eemaldumiseni. Keskmise tellise purunemine oli samasugune nagu tellise survetugevuse katses. Pealmine ja alumine tellis alati ei purunenud, aga väikesed mõrad tulid sellegi poolest tellise külgedele. Juhul, kui tellis purunes olid eraldunud osad kordades väiksemad kui keskmisel tellisel. Kirjeldatud purunemispilt on tavapärase ja oli seega ootuspärane. Joonisel 8.1 on toodud pilt purunenud müüritise katsekehast. Koormamise ajal pudises mördist nr 2, 3 ja 4 laotud müüritiste vuugi servad ära, tekitades justkui nõgusa vuugi serva. Mördist nr 1 tehtud müüritise korral sellist pilti ei esinenud. Pärast katsekeha purunemist oli mört nr 1 märgatavamalt tugevamini telliste küljes kinni kui ülejäänud mördid. Kõige nõrgemini oli telliste küljes kinni mört nr 4, kuid võrreldes mörtidega nr 2 ja 3 vähe.



Joonis 8.1 Koormuse all purunenud müüritise katsekeha vahetult pärast purunemist ja pärast ülemise tellise ja lahtiste tükkide eemaldamist

Määratud müüritiste katsekehade purustavad jõud (F) on kasutades valemit 5.1 arvutatud üksikute katsekehade survetugevused (f'_i) ja valemiga 8.1 leitud nende korrigeeritud väärtused (f_i). Valemiga 5.2 on leitud üksikute katsekehade korrigeeritud survetugevuste aritmeetiline keskmine (f_{im}). Kõik müüritiste survetugevused on arvutatud täpsusega $0,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$.

$$f'_i = \frac{377000}{250 \cdot 120} = 12,6 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$f_i = x \cdot f'_i, \quad (8.1)$$

kus f_i – üksiku müüritise katsekeha korrigeeritud survetugevus, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;
 x – müüritise katsekeha survetugevuse parandustegur;
 f'_i – üksiku müüritise katsekeha survetugevus, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$.

$$f_i = 0,991 \cdot 12,6 = 12,4 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$f_{im} = \frac{12,4+9,5+10,4+11,0}{4} = 10,8 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

Valemis 8.1 kasutatud müüritise katsekeha survetugevuse parandustegur (x) on leitud interpoleerimise teel standardit [22] kasutades (tabel 8.1). Parandustegur sõltub katsekeha kõrguse (h_p) ja laiuse (t_p) jagatisest. Katsekeha kõrguseks (h_p) on võetud kolme tellise ($h_u = 65 \text{ mm}$) ja nende vahel olevate vuukide kõrguste (t) summa. Katsekeha laiuseks (t_p) on võetud tellise laius ($w_u = 120 \text{ mm}$).

$$x = 0,98 + \frac{1-0,98}{2-1,75} \cdot \left(\frac{3 \cdot 65 + 17,0 + 15,0}{120} - 1,75 \right) = 0,991$$

Tabel 8.1 Müüritise katsekeha survetugevuse parandusteguri sõltuvus katsekeha kõrguse ja laiuse jagatisest, väljavõte standardist [22]

h_p/t_p^A	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Correction Factor ^B	0.83	0.93	0.96	0.98	1.0	1.04	1.07	1.15	1.22

^A h_p/t_p —Ratio of prism height to least lateral dimension of prism.

^BUse linear interpolation to determine the correction factor for h_p/t_p values between those given in the table.

Müüritise normsurvetugevuseks (f_k) on võetud väikseim väärtusest: väikseim üksiku katsekeha korrigeeritud survetugevus (f_i), üksikute müüritise katsekehade keskmine korrigeeritud survetugevus (f_{im}) jagatud 1,2-ga. Kõigil juhtudel jäi domineerima ehk andis väikseima väärtuse teine variant.

$$f_k = \frac{10,8}{1,2} = 9,0 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

Katse käigus määratud ja hilisemal andmetöötlusel saadud tulemused on koondatud tabelitesse ja esitatud iga erineva mördiga laotud müüritise kohta eraldi lisas: lisas 15 müüritis mördist nr 1 (tsementmört), lisas 16 müüritis mördist nr 2 (lubja ja tsemendi segamört), lisas 17 müüritis mördist nr 3 (lubja ja tsemendi segamört) ja lisas 18 müüritis mördist nr 4 (lubimört).

Kõigi samast mördist laotud ja erineval vanusel katsetatud müüritiste survetugevustes on näha väikest kasvu ajas, aga ka tugevuste mõningast ebakorrapärasust. Katsekehad on küll kivilinenud samadel tingimustel, aga on veel mitmeid tegureid, mis kõik mõnevõrra varieeruvad ning müüritise survetugevust mõjutavad: üksiku tellise tugevus, mördisegu ühtlus ja hilisem tugevus, vuugi kõrgus, müüritise ladumise kvaliteet. Selleks, et müüritiste survetugevuse varieeruvust paremini hajutada ja saada täpsemaid tulemusi ei piisa kolmest ega neljast vaid katsetama peaks oluliselt rohkem müüritise katsekehi.

Üheks müüritiste survetugevusele negatiivset mõju avaldavaks teguriks antud juhul, eriti just kuivade tellistega laotud müüritiste korral on kuiv õhk ja müüritisel vertikaalse koormuse puudumine. Kuivade tellistega laotud müüritisel imavad tellised osa veest mördist endasse ja kuiv õhk soodustab niiskuse veelgi kiiremat väljakuivamist mördist. Kiirel mördi kuivamisel tekivad mördi mahukahanemisest praod ja vähendavad selle tugevust. Praod mördikihhi ja tellise vahel vähendavad ka kahe materjali vahelist naket. Vertikaalse koormuse puudumisel või selle väiksel olemasolul on pragude teke lihtsam tekkima kui vertikaalkoormuse olemasolul, mis surub tellised mördikihhi vastu. Tänu millele on mahu kahanemisest praod harvem tekkima, sest selleks on vaja palju suuremaid pingeid mördis.

Kõigi müüritiste katsekehade puhul, mida katsetati erinevatel vanustel on näha, et esimese 7 päevaga saavutab müüritis olenemata kasutatud mördist umbes 90 % või enam enda 28 päeva vanusest survetugevusest. Tulemustest saab järeldada, et mördi survetugevus mõjutab müüritise survetugevust vähe, sest näiteks mördi nr 2 ja 3 7 päeva vanune survetugevus moodustab 28 päeva vanusest survetugevusest umbes 40 %. Müüritise nr 4 puhul ei õnnestunud mördi 7 päeva vanust survetugevust määrata.

Müüritiste katsetulemused tõestavad, et kasutades tugeva tsementmördi (mört nr 1) ($f_{m,95} = 9,7 \frac{N}{mm^2}$) asemel nõrka tsemendi ja lubja segamördi (mört nr 2 ja 3) ($f_{m,95} = 1,50 \dots 1,89 \frac{N}{mm^2}$) või veel nõrgemat lubimördi (mört nr 4) ($f_{m,95} = 0,22 \frac{N}{mm^2}$) ei tähenda see seda, et laotava müüritise survetugevus on selle tulemusel koheselt kordades nõrgem. Müüritiste survetugevuste võrdlus näitab, et kuivade tellistega laotud 28 päev vanuse müüritise survetugevus mördist nr 2 on $f_k = 10,4 \frac{N}{mm^2}$ ja mördist nr 1 on $f_k = 9,0 \frac{N}{mm^2}$ (niisketest tellistest $f_k = 10,3 \frac{N}{mm^2}$). Niisketest tellistest ja mördi nr 3 ladumiseks kasutatud müüritise survetugevus on 28 päeva vanuselt $f_k = 10,0 \frac{N}{mm^2}$, aga arvestades, et 14 päevane survetugevus on $f_k = 10,5 \frac{N}{mm^2}$ ja 56 päeva vanune

survetugevus on $f_k = 11,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ siis võib eeldada, et 28 päeva vanune survetugevus on tegelikult kusagil nende kahe väärtuse vahel. Seega võib väita, et tsemendi ja lubja segamõrti koos kuivasid või niiskeid silikaattelliseid kasutades saab vähemalt sama tugevusega müüritise või isegi natukene tugevama kui tsementmõrti kasutades. Mõrti nr 4 kasutades, mis on puhas lubimört, laotud müüritis on 28 päeva vanuselt (kuiv $f_k = 8,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, niiske $f_k = 9,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$) vaid ligi 5% nõrgem kui mõrdist nr 1 laotud müüritis (kuiv $f_k = 9,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, niiske $f_k = 10,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$). Lupja sisaldava mõrdi peamisteks eelisteks tsementmõrdi ees on selle parem nake ja suurem elastsus, tänu millele paneb mört müüritise koormamisel tellised tööle tõmbele, mis omakorda annavad müüritisele tugevust juurde. Täpsemalt on lubja omadustest ja sellega kaasnevatest positiivsetest mõjudest müüritisele räägitud peatükis 1.1.

Mõrdist nr 1 laotud müüritiste katsetulemustest joonistub selgelt välja seos, mida niiskem on ladumiseks kasutatud tellis, seda suurem on müüritise survetugevus. Tulemus oli ootuspärane ja loogiline, sest tsement vajab kividemiseks vett ning mida märjem on tellis, seda rohkem ja kauemaks mõrdile tellisesse imendunud vett jätkub. Samasugune seos joonistub ka mõrdist nr 4 laotud müüritiste puhul välja. Niisketest tellistest on küll võrdluseks ainult üks müüritise katsekeha, aga selle survetugevus on kõigil kordadel suurem kui üksikute kuivade tellistega laotud müüritiste survetugevused. Mõrdist nr 4 on sideaineks erinevalt mõrdist nr 1 lubi, mis vajab kividemiseks vee asemel küll süsihappegaasi (CO_2), aga kõrge õhuniiskus mõjub reaktsioonile soodsalt. Teiseks joonistus katsekehade puhul välja, et kuivade tellistega laotud müüritiste katsekehade vuukides ja vuugi ning tellise vahel oli märgata väikeseid mõrdi mahukahanemisest tingitud mõrasid, mida niiskeid telliseid kasutades ei ilmnenud. Eelduste kohaselt peaks ka mõrdist nr 2, mille sideaineteks on nii tsement kui lubi, laotud müüritise survetugevus olema suurem niiskeid telliseid kasutades kui kuivi. Katsetulemustest, aga varasemale ootusele müüritise survetugevuse osas kinnitust ei leia. Niisketest tellistest laotud müüritise survetugevus on igal uuritava vanusel väiksem kuivade tellistega laotud müüritiste keskmisest tugevusest, aga alati mitte väiksem üksikutest kuivade tellistega laotud müüritiste tugevusest. Vähesese võrdlusbaasi alusel on keeruline välja tuua silikaattellise niiskussisalduse mõju segamõrdist laotud müüritise survetugevusele, aga kindlalt saab öelda, et positiivset mõju niiskete telliste kasutamine mõrdist nr 2 laotud müüritisele ei avalda. Pigem on mõju negatiivne või märgatavat mõju ei esine. Kui tellised on katsetamise ajal liiga märjad hakkab see müüritise survetugevusele negatiivset mõju avaldama, sest märja silikaattellise survetugevus on tellise pehmenemise tõttu kuivast väiksem ja samuti ei saa lubi õhksideainena vees kivideda. Pärast müüritise kuivamist tellise pehmenemine müüritise tugevust enam ei mõjuta.

9. MÜÜRITISE TEOREETILINE SURVETUGEIVUS

9.1 Eurokoodeks 6

Eurokoodeks 6 [23] kohaselt sõltub müüritise survetugevus põhi- või kergmördi kasutamisel müüritise ladumiseks kasutatava mördi ($f_{m,95}$) ja müürikivi normaliseeritud normsurvetugevusest ($f_{b,95}$) ning tellise liigist ja grupist. Müüritise normsurvetugevus (f_k) arvutatakse valemiga 9.1. Müüritiste survetugevused on arvutatud täpsusega $0,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$.

$$f_k = K \cdot f_{b,95}^{0,7} \cdot f_{m,95}^{0,3}, \quad (9.1)$$

kus f_k – müüritise normsurvetugevus, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;

K – konstant, mille väärtus sõltub müürikivi liigist ja grupist, kasutatavate silikaattelliste korral on $K = 0,55$;

$f_{b,95}$ – silikaattellise keskmine normaliseeritud survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;

$f_{m,95}$ – mördi keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$.

Müüritis mördist nr 1: $f_k = 0,55 \cdot 20,3^{0,7} \cdot 9,3^{0,3} = 8,9 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$

Müüritis mördist nr 2: $f_k = 0,55 \cdot 20,3^{0,7} \cdot 1,50^{0,3} = 5,1 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$

Müüritis mördist nr 3: $f_k = 0,55 \cdot 20,3^{0,7} \cdot 1,89^{0,3} = 5,5 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$

Müüritis mördist nr 4: $f_k = 0,55 \cdot 20,3^{0,7} \cdot 0,22^{0,3} = 2,9 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$

9.2 Taani Ehitusuuringute Instituudi valem

Taani Ehitusuuringute Instituudi töötajate poolt välja töötatud valem nõrkade mörtidega ($f_{m,95} < 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$) laotud müüritise survetugevuse arvutamiseks [6] sõltub ladumiseks kasutatava müürikivi normaliseeritud normsurvetugevusest ($f_{b,95}$) ning tellise (h_u) ja vuugi kõrgusest (t). Tellise kõrguseks on võetud $h_u = 65 \text{ mm}$ ja vuugi kõrguseks

müüritiste keskmine vuugi kõrgus, mille põhjal määrati katseline müüritise 28 päeva vanune normsurvetugevus. Täistelistest laotud müüritise normsurvetugevus (f_k) arvutatakse valemiga 9.2. Tulenevalt mördi normsurvetugevusest ($f_{m,95}$) on antud valemiga arvatud ainult mördist nr 4 laotud müüritise tugevus. Müüritiste survetugevus on arvatud täpsusega $0,1 \frac{N}{mm^2}$.

$$f_k = 0,49 \cdot f_{b,95}^{0,7} \cdot \frac{h_u}{t} \cdot \frac{12}{55}, \quad (9.2)$$

kus f_k – müüritise normsurvetugevus, $\frac{N}{mm^2}$;

$f_{b,95}$ – silikaattellise keskmine normaliseeritud survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures, $\frac{N}{mm^2}$;

h_u – silikaattellise kõrgus, mm;

t – müüritise vuugi kõrgus, mm.

Müüritis mördist nr 4: $f_k = 0,49 \cdot 20,3^{0,7} \cdot \frac{65}{12,3} \cdot \frac{12}{55} = 4,7 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$

9.3 Hilsdorfi valem

H. K. Hilsdorfi poolt välja töötatud valem müüritise survetugevuse arvutamiseks [24] võtab arvesse müürikivi normsurvetugevuse ($f_{b,95}$) ja normtõmbetugevuse ($f_{t,95}$), mördi normsurvetugevuse ($f_{m,95}$), tellise kõrguse (h_u), mördikihi kõrguse (t) ning purunemise koefitsiendi (U_u). Tellise kõrguseks on võetud $h_u = 65$ mm ja vuugi kõrguseks müüritiste keskmine vuugi kõrgus, mille põhjal määrati katseline müüritise 28 päeva vanune normsurvetugevus. Tegur, mis arvestab müüritise katsekeha kuju (a) arvutatakse valemiga 9.3 ning müüritise normsurvetugevus (f_k) valemiga 9.4. Müüritiste survetugevused on arvatud täpsusega $0,1 \frac{N}{mm^2}$.

$$a = \frac{t}{4,1 \cdot h_u}, \quad (9.3)$$

kus a – tegur, mis arvestab müüritise katsekeha kuju;

t – müüritise vuugi kõrgus, mm;

h_u – silikaattellise kõrgus, mm.

Müüritis mõrdist nr 1: $a = \frac{14,9}{4,1 \cdot 65} = 0,056$

Müüritis mõrdist nr 2: $a = \frac{9,8}{4,1 \cdot 65} = 0,037$

Müüritis mõrdist nr 3: $a = \frac{10,8}{4,1 \cdot 65} = 0,041$

Müüritis mõrdist nr 4: $a = \frac{12,3}{4,1 \cdot 65} = 0,046$

$$f_k = \frac{f_{b,95}}{U_u} \cdot \frac{f_{t,95} + a \cdot f_{m,95}}{f_{t,95} + a \cdot f_{b,95}}, \quad (9.4)$$

kus f_k – müüritise normsurvetugevus, $\frac{N}{\text{mm}^2}$;

$f_{b,95}$ – silikaattellise keskmine normaliseeritud survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures, $\frac{N}{\text{mm}^2}$;

$f_{m,95}$ – silikaattellise keskmine tõmbetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures, $\frac{N}{\text{mm}^2}$;

$f_{t,95}$ – mõrdi keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures, $\frac{N}{\text{mm}^2}$;

h_u – silikaattellise kõrgus, mm;

t – müüritise vuugi kõrgus, mm;

U_u – purunemise koefitsient, vahemikus 1,1 – 2,5, antud juhul on $U_u = 1,5$;

a – tegur, mis arvestab müüritise katsekeha kuju.

Müüritis mõrdist nr 1: $f_k = \frac{20,3}{1,5} \cdot \frac{1,6 + 0,056 \cdot 9,7}{1,6 + 0,056 \cdot 20,3} = 9,4 \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$

Müüritis mõrdist nr 2: $f_k = \frac{20,3}{1,5} \cdot \frac{1,6 + 0,037 \cdot 1,50}{1,6 + 0,037 \cdot 20,3} = 10,4 \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$

Müüritis mõrdist nr 3: $f_k = \frac{20,3}{1,5} \cdot \frac{1,6 + 0,041 \cdot 1,89}{1,6 + 0,041 \cdot 20,3} = 10,1 \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$

Müüritis mõrdist nr 4: $f_k = \frac{20,3}{1,5} \cdot \frac{1,6 + 0,046 \cdot 0,22}{1,6 + 0,046 \cdot 20,3} = 9,8 \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$

9.4 Teoreetiliste survetugevuste võrdlus müüritise katseliselt määratud survetugevusega

Katseliselt määratud neljast erinevast mõrdist laotud müüritiste normsurvetugevused on toodud koos kolme teoreetilise survetugevuse väärtusega tabelis 9.1. Teoreetilised survetugevused on arvatud kasutades selleks erinevaid kirjanduses toodud müüritise survetugevuse arvutamise valemeid. Kasutatud valemid koos arvutustega on toodud

eelnevates peatükkides. Erinevad valemid võtavad arvesse müüritise ja selle komponentide erinevaid omadusi andes seeläbi kohati väga erinevaid väärtusi. Tulemustest on näha, et müüritise tegelikule survetugevusele kõige lähedasema tulemuse annab Hilsdorfi valem, aga selle valemiga saadud väärtus on müüritiste tegelikust tugevustest natukene suuremad. See on projekteerimise seisukohalt halb, sest on tagavaru kahjuks. Eurokoodeks 6-e valem andis tsementmördi korral müüritise survetugevuse väärtuse täpselt, aga lubja ja tsemendi segamördi puhul olid erinevused ligi kaks ja lubimördi puhul suisa pea kolm korda väiksemad tegelikust tugevusest. Ka Taani Ehitusuuringute instituudi valem alahindas lubimörtidega laotud müüritise survetugevust pea kaks korda. Valem on küll mõeldud arvestama nõrkade mörtide iseloomulikku töötamist müüritises, aga sellegi poolest on erinevus tegelikkusega suur. Lupja sisaldava mördi enda survetugevus on küll väike, aga tänu mördi lubja peeneteralisusele on selle nake silikaattelistega hea. Samuti on lupja sisaldava mördi elastsus suurem kui tsementmördil. Need kaks omadust võimaldavad surutud müüritises mördil panna tellised lisaks survele tööle ka tõmbele, hoides sellega vuukides mörtil koos ning vältides mördi purunemist. [6] Suurem mördi elastsus jaotab koormusi ühtlasemalt kui jäigem tsementmört vähendades sellega pingeid mördis.

Tabel 9.1 Erineval meetodil leitud silikaattelistest müüritiste normsurvetugevuste võrdlus

Müüritise normsurvetugevuse leidmise meetod	Müüritise normsurvetugevus f_k [N/mm ²]			
	Nr 1	Nr 2*	Nr 3	Nr 4
Katseliselt määratud väärtus	9,0	10,4	10,0	8,6
Eurokoodeks 6 valem	8,9	5,1	5,5	2,9
Taani Ehitusuuringute Instituudi valem	- **	- **	- **	4,7
Hilsdorfi valem	9,4	10,4	10,1	9,8

* Erinevalt teistest müüritistest on see laotud eelnevalt vette kastetud tellistega

** Valem ei sobi tugevate mörtidega laotud müüritise survetugevuse leidmiseks

10. MÜÜRITISE KANDEVÕIME KONTROLL

NÄIDISPROJEKTI ALUSEL

10.1 Hoonele mõjuvad koormused ja müüritise parameetrid

Arhitekti Teresa Malmre projekteeritud väikeelamu, mille võimalikku ehitamist silikaattellistest ja lubimördist (mört nr 4) kontrollitakse, joonised on toodud eraldi graafilises osas. Erinevalt joonistel toodust on katuse konstruktsioon asendatud raudbetoonist õõnespaneelidega, sest nende kasutamine on laialdasemalt levinud.

Normatiivsed alaliskoormused

Välissein

Müüritise ($t_p = 120 \text{ mm}$) omakaal: $g_k = 2,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Krohvitud vahtpolüstüreeniga (EPS) fassaadisoojustussüsteemi omakaal: $g_k = 0,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Vahelagi

Õõnespaneeli HCE220 (220 mm) omakaal (vuugitult): $g_k = 3,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Sammumüra isolatsiooniplaadi (30 mm) omakaal: $g_k = 0,85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Monoliitse r/b plaadi (80 mm) omakaal: $g_k = 2,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Põrandakatte (keraamilised plaadid) omakaal: $g_k = 0,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Katuslagi

Õõnespaneeli HCE220 omakaal (vuugitult): $g_k = 3,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Soojustuse omakaal (410 mm): $g_k = 0,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Katusekatte (2 x SBS) omakaal: $g_k = 0,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Arvutuslikud alaliskoormused

Arvutustes kasutatav alaliskoormuse osavaruteguri ülemine väärtus on $\gamma_{G,sup} = 1,2$ [25].

Arvutuslikud alaliskoormused (g_d) arvutatakse valemiga 10.1.

$$g_d = \gamma_{G,sup} \cdot g_k \quad (10.1)$$

kus g_d – ühtlaselt jaotatud arvutuslik alaliskoormus, $\frac{N}{mm^2}$;
 $\gamma_{G,sup}$ – alaliskoormuse osavaruteguri ülemine väärtus;
 g_k – ühtlaselt jaotatud normatiivne alaliskoormus, $\frac{N}{mm^2}$.

Välisseina omakaal (ühekihiline poolkivi sein): $g_d = 1,2 \cdot (2,50 + 0,35) = 3,42 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$

Välisseina omakaal (kahekihiline poolkivi sein): $g_d = 1,2 \cdot (2 \cdot 2,50 + 0,35) = 6,42 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$

Kahekihilise välisseina omakaal jaotub võrdselt kahe kihi vahel ära, nii jääb kandeseina (sisemine kiht) omakaaluks: $g_d = \frac{6,42}{2} = 3,21 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$

Vahelae omakaal: $g_d = 1,2 \cdot (3,40 + 0,85 + 2,00 + 0,25) = 7,80 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$

Katuslae omakaal: $g_d = 1,2 \cdot (3,40 + 0,25 + 0,10) = 4,50 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$

Normatiivsed muutuvkoormused

Elamispindade kasuskoormus (klass A): $q_k = 2,0 \frac{kN}{m^2}$ [26]

Teisaldatavate kergseinte ($g_k \leq 2,0 \frac{kN}{m}$) koormus ühtlaselt jaotatud koormusena:

$$q_k = 0,8 \frac{kN}{m^2} \quad [26]$$

Lumekoormus (s) arvutatakse standardi [27] kohaselt valemiga 10.2 Tänu madalale parapetile ei tekita võimalik hangede kogunemine parapeti äärde täiendavat koormust ($\mu_2 = 0,8$).

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (10.2)$$

kus s – normatiivne lumekoormus katusel, $\frac{kN}{m^2}$;
 μ_i – lumekoormuse kujutegur, tasakatuse korral on $\mu_1 = 0,8$;
 C_e – avatustegur, $C_e = 1,0$;
 C_t – soojustegur, $C_t = 1,0$;
 s_k – normatiivne lumekoormus maapinnal, Tallinnas $s_k = 1,5 \frac{kN}{m^2}, \frac{kN}{m^2}$.

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$$

Tuulekoormused (w_e) on leitud standardi [28] alusel. Tuule tippkiirusrõhk on leitud allolevaid lähteandmeid ja veebilehekülge [29] kasutades ning saadud $q_p(7,05 m) = 0,410 \frac{kN}{m^2}$.

Õhu tihedus: $\rho = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Tuule baaskiirus $v_b = 21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Hoone asukoht (Kakumäe, Tallinn): maastikutüüp III

Hoone arvutuskõrgus välise tuulekoormuse määramiseks: $z_e = 7,05 \text{ m}$

Hoone tuulepoolse külje vastaskülje (tsoon E) välisrõhutegur ($c_{pe,10}$) on leitud interpoleerimise teel tabelit 10.1 kasutades, kus hoone kõrguse ja sügavuse suhe võrdub $\frac{h}{d} = \frac{7,05}{5,8} = 1,22$. Hoone katusel (tsoon I) on välisrõhutegur ($c_{pe,10}$) võetud tabelist 10.2. Saadud väärtusest ja tuule tippkiirusrõhust ($q_p(z_e)$) on valemit 10.3 kasutades arvutatud hoone välisseinale mõjuv tuulerõhk (w_e).

$$\text{Tsoon E: } c_{pe,10} = -0,5 - \frac{-0,5+0,7}{5-1} \cdot (1,22 - 1) = -0,51$$

$$\text{Tsoon I: } c_{pe,10} = -0,2$$

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} \quad (10.3)$$

kus w_e – välisseinale mõjuv tuulerõhk, $\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$;

$q_p(z_e)$ – tuule tippkiirusrõhk, $\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$;

$c_{pe,10}$ – välisrõhu rõhutegur 10 m² koormatava pindala kohta.

$$\text{Tsoon E: } w_e = 0,410 \cdot -0,51 = -0,21 \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\text{Tsoon I: } w_e = 0,410 \cdot -0,2 = -0,08 \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

Tuulekoormuse (w_e) ees olev miinusmärk tähistab tuule imemist.

Tabel 10.1 Välisrõhutegurid ristkülikulise põhiplaaniga hoone vertikaalsetele seintele sõltuvalt hoone kõrguse ja sügavuse suhtest $\left(\frac{h}{d}\right)$, väljavõte standardist [28]

Tsoon	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
≤ 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tabel 10.2 Välisrõhutegurid lamekatusele, väljavõte standardist [28]

Katusetüüp		Tsoon							
		F		G		H		I	
		c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}
Teravate servadega räästad		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Parapettidega räästad	h _p /h=0,025	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	h _p /h=0,05	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	h _p /h=0,10	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2

Arvutuslikud muutuvkoormused

Arvutustes kasutatav muutuvkoormuse osavaruteguri ülemine väärtus on $\gamma_Q = 1,5$ [25]. Arvutuslikud muutuvkoormused (q_d) arvutatakse valemiga 10.4.

$$q_d = \gamma_Q \cdot q_k, \quad (10.4)$$

kus q_d – ühtlaselt jaotatud arvutuslik muutuvkoormus, $\frac{N}{mm^2}$;

γ_Q – muutuvkoormuse osavarutegur;

q_k – ühtlaselt jaotatud normatiivne muutuvkoormus, $\frac{N}{mm^2}$.

Elamispindade kasuskoormus (klass A): $q_d = 1,5 \cdot 2,0 = 3,0 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$

Teisaldatavate kergseinte ($g_k \leq 2,0 \frac{kN}{m}$) koormus ühtlaselt jaotatud koormusena:

$$q_d = 1,5 \cdot 0,8 = 1,2 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$$

Lumekoormus katusel: $s_d = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$

Tuulekoormus (tsoon E): $w_d = 1,5 \cdot (-0,21) = -0,32 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$

Tuulekoormus (tsoon I): $w_d = 1,5 \cdot (-0,08) = -0,12 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$

Müüritise parameetrid

Müüritise osavarutegur: $\gamma_M = 1,7$ [23]

Müüritise normsurveugevus (lubimördist silikaattelistest müüritis): $f_k = 8,6 \frac{N}{mm^2}$

Müüritise (ühe kihi) laius: $t_p = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$

I korruse müüritise efektiivkõrgus: $h_{ef} = 2820 \text{ mm} = 2,82 \text{ m}$

II korruse müüritise efektiivkõrgus: $h_{ef} = 2830 \text{ mm} = 2,83 \text{ m}$

Parapeti müüritise osa efektiivkõrgus: $h_{ef} = 760 \text{ mm} = 0,76 \text{ m}$

Müüritise arvutuslik survetugevus (f_d) arvutatakse valemiga 10.5.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}, \quad (10.5)$$

kus f_d – müüritise arvutuslik survetugevus, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;

f_k – müüritise normsurvetugevus, $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$;

γ_M – müüritise osavarutegur.

$$f_d = \frac{8,6}{1,7} = 5,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

10.2 Mõrdist nr 4 laotud poolkivi sein

II korruse koormatuimaks aknapostiks (0,85 m) on müüritis teljel A akende A7 ja A6 vahel. Müüritise kontroll teostatakse kõrgusel 1,70 m ($\frac{3}{5}$ müüritise kõrgusel).

Kandevõime kontroll on tehtud vastavalt standardis [23] toodud arvutuseeskirjadele. Arvutuskombinatsioonina on kasutatud: 1,2 x omakaal + 1,5 x lumi + 1,5 x 0,6 x tuul.

Parapetilt tulev koormus (2,35 m): $N_d = 2,35 \cdot 0,76 \cdot 3,42 = 6,11 \text{ (kN)}$

Katuslaelt tulev koormus (2,35 x 2,615 m): $N_d = 2,35 \cdot 2,615 \cdot (4,5 + 1,8 + 0,6 \cdot 0,12) = 39,16 \text{ (kN)}$

Seina omakoormus: $N_d = (2,35 \cdot 0,74 + 0,85 \cdot 0,61) \cdot 3,42 = 7,73 \text{ (kN)}$

Müüritisele mõjuv summaarne vertikaalkoormus: $N_{Ed} = 6,11 + 39,16 + 7,73 = 53,0 \text{ (kN)}$

Seinale mõjuv tuulekoormus (2,35 x 2,83 m): $N_d = 2,35 \cdot 0,6 \cdot (-0,32) = -0,45 \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)$

Moment tuulekoormusest sein keskel (lihttala): $M_{md} = \frac{0,45 \cdot 2,83}{2} = 0,64 \text{ (kNm)}$

Moment tuulekoormusest kõrgusel 1,70 m: $M_d = 0,64 \cdot \frac{2}{2,5} = 0,51 \text{ (kNm)}$

Vahelaepaneelilt tuleva koormuse ekstsentrilisus (e_v) müüritise kesktelje suhtes kui paneeli toetus müüritisele on 65 mm ning koormuse resultant on sellest $\frac{1}{3}$ kaugusel müüritise sisepinnast: $e_v = \frac{120}{2} - \frac{65}{3} = 38,4$ (mm) = 0,0384 m.

Moment aknapostis katuslae koormusest selle all $M_{1,d} = 0,0384 \cdot 39,16 = 1,50$ (kNm)

Moment aknapostis kõrgusel 1,7 m: $M_d = 1,51 \cdot \frac{1,7}{2,83} = 0,90$ (kNm)

Aknapostis mõjuv summaarne moment tuulest ja vertikaalkoormusest kõrgusel 1,7 m:
 $M_d = 0,51 + 0,90 = 1,41$ (kNm)

Müüritise algekstsentrilisus (e_{init}) arvutatakse valemiga 10.6.

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} \quad (10.6)$$

kus e_{init} – müüritise algekstsentrilisus, mm;
 h_{ef} – müüritise efektiivkõrgus, mm.

$$e_{int} = \frac{2830}{450} = 6,3$$
 (mm)

Müüritise ekstsentrilisus põhjustatud koormusest arvutatakse valemiga 10.7.

$$e = \frac{M_d}{N_d} + e_h + e_{int} \quad (10.7)$$

kus e – müüritise ekstsentrilisus põhjustatud koormusest, mm;
 M_d – müüritisele mõjuv arvutuslik paindemoment, Nmm;
 N_d – müüritisele mõjuv arvutuslik vertikaalne koormus, N;
 e_h – müüritise ekstsentrilisus põhjustatud horisontaalkoormusest, mm;
 e_{int} – müüritise algekstsentrilisus, mm.

$$e = \frac{1,41 \cdot 10^6}{53,0 \cdot 10^3} + 0,0 + 6,3 = 33,0$$
 (mm)

Müüritise ekstsentrilisus põhjustatud roomest (e_k) arvutatakse valemiga 10.8.

$$e_k = 0,002 \cdot \Phi_{\infty} \cdot \frac{h_{ef}}{t_p} \cdot \sqrt{t_p \cdot e} \quad (10.8)$$

kus e_k – müüritise ekstsentrilisus põhjustatud roomest, mm;
 Φ_{∞} – müüritise lõplik roometegur, silikaattellise korral $\Phi_{\infty} = 1,5$;
 h_{ef} – müüritise efektiivkõrgus, mm;

t_p – müüritise laius, mm;

e – müüritise ekstsentrilisus põhjustatud koormusest, mm.

$$e_k = 0,002 \cdot 1,5 \cdot \frac{2830}{120} \cdot \sqrt{120 \cdot 33,0} = 4,5 \text{ (mm)}$$

Müüritise ekstsentrilisus selle keskosas (e_{mk}) arvutatakse valemiga 10.9.

$$e_{mk} = e + e_k \geq 0,05 \cdot t_p, \quad (10.9)$$

kus e_{mk} – müüritise ekstsentrilisus selle keskosas, mm;

e – müüritise ekstsentrilisus põhjustatud koormusest (müüritise keskosas), mm;

e_k – müüritise ekstsentrilisus põhjustatud roomest, mm;

t_p – müüritise laius, mm.

$$e_{mk} = 33,0 + 4,5 = 37,5 \text{ (mm)} = 0,0375 \text{ m} \geq 0,05 \cdot 120 = 6 \text{ (mm)}$$

Müüritise survetsooni pindala (A_c) arvutatakse valemiga 10.10.

$$A_c = \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t_p}\right) \cdot A_m, \quad (10.10)$$

kus A_c – müüritise survetsooni pindala, m²;

e_{mk} – müüritise ekstsentrilisus selle keskosas, m;

t_p – müüritise laius, m.

A_m – koormatud müüritise pindala, m².

$$A_c = \left(1 - 2 \cdot \frac{0,0375}{0,12}\right) \cdot 0,85 \cdot 0,12 = 0,038 \text{ (m}^2\text{)}$$

Valemiga 10.11 arvutatakse müüritise saledus (λ_h) ja sellest valemiga 10.12 abitegur (u), võttes eelduseks, et $E = 1000 \cdot f_k$.

$$\lambda_h = \frac{h_{ef}}{t_p}, \quad (10.11)$$

kus λ_h – müüritise saledus;

h_{ef} – müüritise efektiivkõrgus, m;

t_p – müüritise laius, m.

$$\lambda_h = \frac{2,83}{0,12} = 23,6$$

$$u = \frac{\lambda_h - 2}{23 - 37 \cdot \frac{e_{mk}}{t_p}} \quad (10.12)$$

kus u – abitegur müüritise ekstsentrilisuse arvutamisel;
 λ_h – müüritise saledus;
 e_{mk} – müüritise ekstsentrilisus selle keskosas, m;
 t_p – müüritise laius, m.

$$u = \frac{23,6 - 2}{23 - 37 \cdot \frac{0,0375}{0,12}} = 1,89$$

Valemiga 10.13 arvutatakse müüritise nõtketegur (χ_m) selle keskmises tsoonis.

$$\chi_m = e^{-\frac{u^2}{2}}, \quad (10.13)$$

kus χ_m – müüritise keskmise tsooni nõtketegur;
 u – abitegur müüritise ekstsentrilisuse arvutamisel.

$$\chi_m = e^{-\frac{1,89^2}{2}} = 0,168$$

Müüritise kandevõime (N_{Rd}) arvutatakse valemiga 10.14, mis peab olema suurem kui müüritisele rakenduv koormus ($N_{Rd} \geq N_{Ed}$).

$$N_{Rd} = \chi_m \cdot A_c \cdot f_d, \quad (10.14)$$

kus N_{Rd} – müüritise arvutuslik kandevõime, kN;
 χ_m – müüritise keskmise tsooni nõtketegur;
 A_c – müüritise survetsooni pindala, mm²;
 f_d – müüritise arvutuslik survetugevus, $\frac{N}{\text{mm}^2}$.

$$N_{Rd} = 0,168 \cdot 0,038 \cdot 10^6 \cdot 5,0 = 32,13 \cdot 10^3 \text{ (N)} = 32,13 \text{ kN}$$

$$32,13 \text{ kN} < 53,0 \text{ kN}, \quad (N_{Rd} < N_{Ed})$$

Müüritise kandevõime ei ole tagatud.

10.3 Mõrdist nr 4 laotud poolkivi sein tellisfassaadiga

10.3.1 II korruse koormatuim sein/post

II korruse koormatuimaks aknapostiks (0,85 m) on müüritis teljel A akende A7 ja A6 vahel. Müüritise kontroll teostatakse kõrgusel 1,70 m ($\frac{3}{5}$ müüritise kõrgusel).

Kandevõime kontroll on tehtud vastavalt standardis [23] toodud arvutuseeskirjadele. Arvutuskombinatsioonina on kasutatud: 1,2 x omakaal + 1,5 x lumi + 1,5 x 0,6 x tuul. Arvutuspõhimõte on sama nagu eelmises peatükis 10.2.

Parapetilt tulev koormus (2,35 m): $N_d = 2,35 \cdot 0,76 \cdot 3,21 = 5,74$ (kN)

Katuslaelt tulev koormus (2,35 x 2,615 m): $N_d = 2,35 \cdot 2,615 \cdot (4,5 + 1,8 + 0,6 \cdot 0,12) = 39,16$ (kN)

Seina omakoormus: $N_d = (2,35 \cdot 0,74 + 0,85 \cdot 0,61) \cdot 3,21 = 7,25$ (kN)

Müüritisele mõjuv summaarne vertikaalkoormus: $N_{Ed} = 5,74 + 39,16 + 7,25 = 52,15$ (kN)

Seinale mõjuv tuulekoormus (2,35 x 2,83 m): $N_d = 2,35 \cdot 0,6 \cdot (-0,32) = -0,45$ ($\frac{\text{kN}}{\text{m}}$)

Seina sisemisele kandvale osale mõjub pool tuulekoormust: $N_d = \frac{0,45}{2} = 0,23$ ($\frac{\text{kN}}{\text{m}}$)

Moment tuulekoormusest kandva seina keskel (lihttala): $M_{md} = \frac{0,23 \cdot 2,83}{2} = 0,32$ (kNm)

Moment tuulekoormusest kõrgusel 1,70 m: $M_d = 0,32 \cdot \frac{2}{2,5} = 0,26$ (kNm)

Vahelaepaneelilt tuleva koormuse ekstsentrilisus (e_v) müüritise kesktelje suhtes kui paneeli toetus müüritisele on 65 mm ning koormuse resultant on sellest $\frac{1}{3}$ kaugusel müüritise sisepinnast: $e_v = \frac{120}{2} - \frac{65}{3} = 38,4$ (mm) = 0,0384 m.

Moment aknapostis katuslae koormusest selle all $M_{1,d} = 0,0384 \cdot 39,16 = 1,50$ (kNm)

Moment aknapostis kõrgusel 1,7 m: $M_d = 1,51 \cdot \frac{1,70}{2,83} = 0,90$ (kNm)

Aknaposti kandvas müüritises mõjuv summaarne moment tuulest ja vertikaalkoormusest kõrgusel 1,7 m: $M_d = 0,26 + 0,90 = 1,16$ (kNm)

$$e_{int} = \frac{2830}{450} = 6,3 \text{ (mm)}$$

$$e = \frac{1,16 \cdot 10^6}{52,15 \cdot 10^3} + 0,0 + 6,3 = 28,6 \text{ (mm)}$$

Kahekihilise müüritise arvutuspaksus (t_{ef}), millest üks on koormatud ja teine mitte arvutatakse valemiga 10.15.

$$t_{ef} = \sqrt[3]{k_{tef} \cdot t_p^3 + t_p^3}, \quad (10.15)$$

kus t_{ef} – kahekihilise müüritise arvutuspaksus, mm;

k_{tef} – koefitsient, mis arvestab seinakihtide suhtelist jäikust, kasutan $k_{tef} = 1,0$;

t_p – müüritise kihtide paksused, millest valemis esimene on koormatud kiht, mm.

$$t_{ef} = \sqrt[3]{1,0 \cdot 120^3 + 120^3} = 151 \text{ (mm)}$$

$$e_k = 0,002 \cdot 1,5 \cdot \frac{2830}{151} \cdot \sqrt{151 \cdot 28,6} = 3,7 \text{ (mm)}$$

$$e_{mk} = 28,6 + 3,7 = 32,3 \text{ (mm)} = 0,0323 \text{ m} \geq 0,05 \cdot 151 = 7,6 \text{ (mm)}$$

$$A_c = \left(1 - 2 \cdot \frac{0,0323}{0,12}\right) \cdot 0,85 \cdot 0,12 = 0,047 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\lambda_h = \frac{2,83}{0,151} = 18,7$$

$$u = \frac{18,7-2}{23-37 \cdot \frac{0,0323}{0,151}} = 1,11$$

$$\chi_m = e^{-\frac{1,11^2}{2}} = 0,540$$

$$N_{Rd} = 0,540 \cdot 0,047 \cdot 10^6 \cdot 5,0 = 126,9 \cdot 10^3 \text{ (N)} = 126,9 \text{ kN}$$

$$126,9 \text{ kN} > 52,15 \text{ kN}, \quad (N_{Rd} > N_{Ed})$$

Müüritise kandevõime on tagatud.

10.3.2 I korruse koormatuim sein/post

I korruse koormatuimaks aknapostiks (0,730 m) on müüritis teljel A akende A2 ja A3 vahel (akna A2 poolne osa). Müüritise kontroll teostatakse kõrgusel 1,69 m ($\frac{3}{5}$ müüritise kõrgusel).

Kandevõime kontroll on tehtud vastavalt standardis [23] toodud arvutuseeskirjadele. Arvutuskombinatsioonina on kasutatud: 1,2 x omakaal + 1,5 x kasuskoormus + 1,5 x 0,5 x lumi. Arvutuspeõhimõte on sama nagu eelmises peatükis 10.2.

Parapetilt tulev koormus (1,93 m): $N_d = 1,93 \cdot 0,76 \cdot 3,21 = 4,71$ (kN)

Katuslaelt tulev koormus (1,93 x 2,615 m): $N_d = 1,93 \cdot 2,615 \cdot (4,5 + 0,5 \cdot 1,8) = 27,25$ (kN)

Vahelaelt tulev koormus (1,93 x 2,615 m): $N_d = 1,93 \cdot 2,615 \cdot (7,8 + 3,0 + 1,2) = 60,57$ (kN)

Seina omakoormus aknaga: $N_d = (1,93 \cdot 4,4 - 0,90 \cdot 1,45 - 1,20 \cdot 0,51) \cdot 3,21 + 1,0 = 22,11$ (kN)

Müüritisele mõjuv summaarne vertikaalkoormus: $N_{Ed} = 4,71 + 27,25 + 60,57 + 22,11 = 114,64$ (kN)

Vahelaepaneelilt tuleva koormuse ekstsentrilisus (e_v) müüritise kesktelje suhtes kui paneeli toetus müüritisele on 65 mm ning koormuse resultant on sellest $\frac{1}{3}$ kaugusel müüritise sisepinnast: $e_v = \frac{120}{2} - \frac{65}{3} = 38,4$ (mm) = 0,0384 m.

Moment aknapostis katuslae koormusest selle all $M_{1,d} = 0,0384 \cdot 60,57 = 2,33$ (kNm)

Moment aknapostis kõrgusel 1,69 m: $M_d = 2,33 \cdot \frac{1,69}{2,83} = 1,40$ (kNm)

$$e_{int} = \frac{2820}{450} = 6,3 \text{ (mm)}$$

$$e = \frac{1,40 \cdot 10^6}{114,64 \cdot 10^3} + 0,0 + 6,3 = 18,5 \text{ (mm)}$$

$$t_{ef} = \sqrt[3]{1,0 \cdot 120^3 + 120^3} = 151 \text{ (mm)}$$

$$e_k = 0,002 \cdot 1,5 \cdot \frac{2820}{151} \cdot \sqrt{151 \cdot 18,5} = 3,0 \text{ (mm)}$$

$$e_{mk} = 18,5 + 3,0 = 21,5 \text{ (mm)} = 0,0215 \text{ m} \geq 0,05 \cdot 151 = 7,6 \text{ (mm)}$$

$$A_c = \left(1 - 2 \cdot \frac{0,0215}{0,12}\right) \cdot 0,73 \cdot 0,12 = 0,056 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\lambda_h = \frac{2,82}{0,151} = 18,7$$

$$u = \frac{18,7 - 2}{23 - 37 \cdot \frac{0,0215}{0,151}} = 0,94$$

$$\chi_m = e^{-\frac{0,94^2}{2}} = 0,642$$

$$N_{Rd} = 0,642 \cdot 0,056 \cdot 10^6 \cdot 5,0 = 179,8 \cdot 10^3 \text{ (N)} = 179,8 \text{ kN}$$

$$179,8 \text{ kN} > 114,6 \text{ kN}, \quad (N_{Rd} > N_{Ed})$$

Müüritise kandevõime on tagatud.

KOKKUVÕTE

Kirjutasin oma magistritöö teemal „Lubimördi kasutamise põhjendus müüritisel“, milles käsitlesin järgmisi põhiteemasid: lubja kui õhksideaine kasutamise plussid ja miinused mördi ja sellest laotava müüritise osas; silikaattelliste taaskasutamine; lubi-, tsement- ning segamördi survetugevus ja neist laotud müüritiste survetugevuste võrdlus erineva kivinemisajaga; müüritise survetugevuste leidmine teoreetiliste valemitega; näidisprojekti raames eramu seinte kandevõime kontrollimine, kasutades lubimördist ja silikaattellistest müüritist.

Esimese teemana kaardistasin lubja, täpsemalt kustutatud lubja, sideainena kasutamise positiivseid ja negatiivseid külgi mördis ning sellest laotud müüritisel. Positiivsetest külgedest saab märksõnadena välja tuua: keskkonnasõbralikkus, niiskustehnilised omadused, töödeldavus, elastsus, nakkeomadused, iseparanevus ja lammutatavus. Negatiivsetest külgedest: tugevus ja vees lahustuvus.

Teise teemana uurisin silikaattelliste taaskasutamist. Selle poolt räägib loodusressursside säästmine ja telliste tootmisega kaasnev keskkonna negatiivse mõju vähendamine. Teisest küljest on hetkel takistuseks ühtse süsteemi ja reeglistiku puudumine, mis võimaldaks määrata uuele ringile saadetavate telliste omadused. Minu töö kontekstis survetugevus.

Kolmanda teemana uurisin katseliselt lubimördi ning kahe erineva lubja ja tsemendi segamördi survetugevust ning neist laotud silikaattellistest müüritise survetugevust erineva kivinemisaja juures. Katsete ajatabel on toodud lisas 19. Võrdlusena on juurde võetud ehituses laialt levinud tsementmört. Negatiivseks üllatuseks tuli lubimördi väike survetugevus ($f_{m,95} = 0,22 \frac{N}{mm^2}$), samas kui kirjanduses oli toodud [7] märgatavalt suurem tugevus ($f_{m,95} = 0,4 \dots 0,6 \frac{N}{mm^2}$). Katseliselt määratud nelja erineva mördiga tehtud 28 päeva vanuste müüritiste survetugevusi võrreldi erinevate teoreetiliste müüritise survetugevuse arvutamise valemitega saadud tulemustega. Tulemustest joonistub välja, et sageli kipuvad teoreetilised valemid lubimörtide puhul andma tugevusi liiga suure varuga, mis võib mõjuda negatiivselt lubimörtide kasutamisele. Eurokoodeks 6 [23] järgi arvutades on lähtudes mördi ja tellise tugevustest tsementmördist (mört nr 1) müüritise survetugevus $f_k = 8,9 \frac{N}{mm^2}$ ja lubimördist (mört nr 4) müüritise survetugevus $f_k = 2,9 \frac{N}{mm^2}$. Tegelikuses on neist kahest mördist laotud müüritise survetugevused vastavalt $f_k = 9,0 \frac{N}{mm^2}$ ja $f_k = 8,6 \frac{N}{mm^2}$. Lubimördist müüritise niivõrd suur survetugevus,

arvestades lubja enda väikest survetugevust oli loodetust suurem ja heas mõttes üllatav. Kui panna lubimördi komponentide vahekorrale suuremat rõhku ja töötada välja mördi retsept, mis annaks suurema tugevuse ning ladumiseks kasutada niiskeid silikaattelliseid, on minu hinnangul võimalik saavutada ka lubimördist ja samadest kates kasutatud silikaattellistest müüritis normatiivse survetugevusega $f_k = 10 \frac{N}{mm^2}$.

Neljanda teemana, kasutades katseliselt saadud lubimördist ja silikaattellistest müüritise normatiivset survetugevust, kontrollisin näidisprojekti näitel eramu seinte kandevõimet poolkivi seinana ilma ja koos mittekandva tellisvoodriga. Antud projekti näitel hoone kandevõime ilma tellisvoodrita osutus liiga väikeseks. Vajaliku kandevõime saavutamiseks tuleks korruse kõrguseid langetada, vähendamaks müüritise nõtket ja kasutada laiade akende asemel kitsamaid aknaid vaheldumis müüritisega, vähendamaks müüritisele langevat pingekonsentratsiooni.

Magistritööd tehes jõudsin järeldusele, et lubimört on enda tugevusomadustelt piisav väikeste hoonete silikaattellistest poolkiviseinte ehitamiseks. Suuremate hoonete ja rohkem koormatud seinte puhul tuleks kasutada poolkiviseina välisvoodriga või täiskiviseinana. Samuti on lubimört keskkonnasõbralikum kui tsementmört ning võimaldab laotud müüritiste hilisemat lammutamist ja neis kasutatud telliste taaskasutamist. Teisalt ei sobi lubimördist müüritis hoone fassaadiks, sest lubimört ei ole vihmale avatud keskkonnas kuigi püsiv. Selle vältimiseks tuleks müüritis katta näiteks puitfassaadiga, mis on puidu näol keskkonnasõbralik lahendus.

SUMMARY

I wrote my master's thesis on the topic of "Justification for the use of lime mortar in masonry", in which I covered the following main topics: the advantages and disadvantages of using lime as an air binder in mortar and masonry, re-use of silicate bricks, compressive strength of lime mortar, cement mortar and mixed mortar and comparison of compressive strengths of masonry made with different ages of aggregation, determination of compressive strength of masonry using theoretical formulas, and testing the load-bearing capacity of lime mortar masonry for a sample project of a house.

As the first topic, I mapped the positive and negative aspects of using lime, specifically slaked lime, as a binding agent in mortar and masonry. The positive aspects include eco-friendliness, moisture resistance, workability, elasticity, adhesive properties, self-healing, and demolishability. The negative aspects are strength and solubility in water.

The second topic was the re-use of silicate bricks. The advantages of this include conserving natural resources and reducing the negative environmental impact of brick production. On the other hand, a lack of a uniform system and set of rules for determining the characteristics of bricks sent for re-use is currently an obstacle to this process. In the context of my work, I focused on compressive strength.

For the third topic, I conducted experiments to compare the compressive strength of lime mortar and two different mixtures of lime and cement mortar, and masonry made from them with varying setting times, with widely used cement mortar as a comparison. I was surprised to find that the compressive strength of lime mortar was much lower ($f_{m,95} = 0,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$) than the values reported in the literature [7] ($f_{m,95} = 0,4 \dots 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$). I also compared the compressive strengths of the masonry made with the four different mortars, determined experimentally after 28 days, with those obtained from different theoretical formulas for calculating masonry compressive strength. The results showed that the theoretical formulas tend to overestimate the strength of lime mortars, which can negatively affect their use. According to Eurocode 6 [23], the compressive strength of masonry made from cement mortar (mortar no. 1) and from lime mortar (mortar no. 4) should be $f_k = 8,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ and $f_k = 2,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, respectively. In reality, the compressive strengths of the masonry made from these two mortars were $f_k = 9,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ and $f_k = 8,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, respectively. The compressive strength of the lime mortar masonry was unexpectedly high, considering the low compressive strength of the lime itself. With

more emphasis on the proportions of lime mortar components and the development of a recipe for a stronger mortar, and using wet silicate bricks for masonry, it is possible to achieve the same normative compressive strength $f_k = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ for masonry made from lime mortar and the same silicate bricks used in the experiments.

Using the compressive strength of lime mortar and silicate brick masonry obtained experimentally, I tested the load-bearing capacity of a half-brick wall of a sample project of a house both without and with a non-load-bearing brick lining. In the case of this project, the load-bearing capacity of the building without brick lining proved to be too low. In order to achieve the required load-bearing capacity, the floor heights would have to be lowered, to reduce the bend of the masonry and to use narrower windows instead of wide ones to reduce the stress concentration on the masonry. Using this project as an example, it was found that the load-bearing capacity of the building without a brick bond was too low. To achieve the necessary load-bearing capacity, the height of the floors should be reduced to decrease the stress on the masonry and narrower windows should be used, alternating with the masonry, to reduce stress concentration on the masonry.

In my master's thesis, I came to the conclusion that lime mortar is suitable for building small buildings with silicate brick semi-solid walls due to its strength properties. For larger buildings and walls with heavier loads, a semi-solid wall with an outer cladding or a solid brick wall should be used. Lime mortar is also more environmentally friendly than cement mortar and allows for the later demolition of masonry and the reuse of the bricks used in them.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1 S. Ilomets, T. Hain, T. Kalamees, U. Kallavus, M. Kiviste, M. Mitt, K. Paalandi, E.]
] Pikas, K. Rebane ja T. Tuisk, „Tühjenedud korterelamu lammutamisel tekkivate materjalide korduskasutuse ja ringlussevõtu rakendusuuring – 1. etapi vaheraport,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2022.
- [2 W. Meindertsa, M. Neelis, M. Overgaag and M.Stork, “A Competitive and Efficient]
] Lime Industry. Cornerstone for a Sustainable Europe,” The European Lime Association, 2014.
- [3 A. A. Ayoola, G. U. Fayomi, O. S. I. Fayomi and S. E. Mini, “Perspectives on]
] environmental CO2 emission and energy factor in Cement Industry,”
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/331/1/012035>, 2019.
- [4 European Lime Association, *Lime in mortars – Masonry mortars, plasters and renders]
] – A proven sustainable and economical solution*, 2019.
- [5 European Lime Association, *Hydrated lime – Benefits of use in mortars*, 2019.
]
- [6 K. Hansen and E. Pedersen, “Compressive Strength of Brick Masonry Made With]
] Weak Mortars,”
https://www.researchgate.net/publication/295924657_Compressive_strength_of_brick_masonry_made_with_weak_mortars, 2012.
- [7 L.-M. Raado, Ehitusmaterjalid, Tallinn, 2018.
]
- [8 „Bauroc AS,“ [Võrgumaterjal] [https://bauroc.ee/uploads/sites/2/2022/11/SILROC-](https://bauroc.ee/uploads/sites/2/2022/11/SILROC-brick65_20-DoP-No-22012_EE_22.pdf)
] [brick65_20-DoP-No-22012_EE_22.pdf](https://bauroc.ee/uploads/sites/2/2022/11/SILROC-brick65_20-DoP-No-22012_EE_22.pdf). [Kasutatud 28 märts 2023].
- [9 „Uninaks AS,“ [Võrgumaterjal] [https://uninaks.ee/wp-content/uploads/2017/08/T-](https://uninaks.ee/wp-content/uploads/2017/08/T-MS100-EE-4.pdf)
] [MS100-EE-4.pdf](https://uninaks.ee/wp-content/uploads/2017/08/T-MS100-EE-4.pdf). [Kasutatud 2 aprill 2023].
- [1 „Meistri,“ [Võrgumaterjal]
0] [https://www.meistri.ee/media/meistri/product/erply.s3.amazonaws.com/15-](https://www.meistri.ee/media/meistri/product/erply.s3.amazonaws.com/15-15_631606cc3bf494.94383583_toimivusdeklaratsioon_lm02.pdf)
] [15_631606cc3bf494.94383583_toimivusdeklaratsioon_lm02.pdf](https://www.meistri.ee/media/meistri/product/erply.s3.amazonaws.com/15-15_631606cc3bf494.94383583_toimivusdeklaratsioon_lm02.pdf). [Kasutatud 2 aprill 2023].
- [1 „Uninaks AS,“ [Võrgumaterjal] [https://uninaks.ee/wp-content/uploads/2017/08/T-](https://uninaks.ee/wp-content/uploads/2017/08/T-1Lubikr-EE.pdf)
1] [Lubikr-EE.pdf](https://uninaks.ee/wp-content/uploads/2017/08/T-1Lubikr-EE.pdf). [Kasutatud 2 aprill 2023].
- [1 *EVS-EN 1015-3:2004+A2:2007 Müürimörtide katsemeetodid. Osa 3: Mördisegu]
2] konsistentsi määramine (raputuslaual).*
- [1 *EVS-EN 196-1:2016 Tsemendi katsetamine. Osa 1: Tugevuse määramine.]
3]*
- [1 *EVS-EN 772-1:2011+A1:2015 Müürikivide katsemeetodid. Osa 1: Survetugevuse]
4] määramine.*
- [1 *EVS-EN 772-16:2011 Müürikivide katsemeetodid. Osa 16: Mõõtmete määramine.]
5]*
- [1 *EVS-EN 771-2:2011+A1:2015 Müürikivide spetsifikatsioon. Osa 2:]
6] Silikaatmüürikivid.*
- [1 L. Pelà, P. Roca and J. Segura, "Monotonic and cyclic testing of clay brick and lime]
7] mortar masonry in compression,"

- https://www.researchgate.net/publication/328739140_Monotonic_and_cyclic_testing_of_clay_brick_and_lime_mortar_masonry_in_compression, 2018.
- [1] *EVS-EN 1015-2:2004+A1:2007 Müürimörtide katsemeetodid. Osa 2: Mördiproovide võtmine ja katsemörtide valmistamine.*
- [1] *EVS-EN 1015-11:2019 Müürimörtide katsemeetodid. Osa 11: Kivistunud mördi painde- ja survetugevuse määramine.*
- [2] A. Uuetalu, „Lubimörtide püsivusomaduste parandamise võimalused,“ Tallinna 0] Tehnikaülikool, Tallinn, 2003.
- [2] *EVS-EN 1052-1:2004 Müüritise katsemeetodid. Osa 1: Survetugevuse määramine.* 1]
- [2] *ASTM C1314-23 Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms.* 2]
- [2] *EVS-EN 1996-1-1:2005+A1:2012+NA:2013 Eurokoodeks 6: Kivikonstruktsioonide 3] projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid sarrustatud ja sarrustamata kivikonstruktsioonide projekteerimiseks.*
- [2] J. C. Scrivener, “Reinforced Masonry - Seismic Behaviour and Design,” 4] [https://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/05\(4\)0143.pdf](https://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/05(4)0143.pdf), 1972.
- [2] *EVS-EN 1990:2002/A1:2006+NA:2009 Eurokoodeks: Ehituskonstruktsioonide 5] projekteerimise alused. Muudatus A1. Lisa A2: Rakendamine sildade puhul.*
- [2] *EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide 6] koormused. Osa 1-1: Üldkoormused . Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused.*
- [2] *EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide 7] koormused Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus.*
- [2] *EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide 8] koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus.*
- [2] “Eurocode Applied,” [Online] [https://eurocodeapplied.com/design/en1991/wind-peak-9\] velocity-pressure](https://eurocodeapplied.com/design/en1991/wind-peak-9] velocity-pressure). [Accessed 09 mai 2023].

LISAD

Lisa 1 Silikaattellise Silroc BRICK 65 toimivusdeklaratsioon

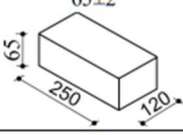


UAB "Aliteka "
Statybininkų st. 19, LT-65480 Matuizos, Varėnos raj.

TOIMIVUSDEKLARATSIOON

Nr. 22012

1. Tootetüübi kordumatu identifitseerimiskood: **Silikaatmüürikivid silroc BRICK 65 20 MPa**
2. Kavandatud kasutusala: **Kaitsmata müürikivist seinad, keldriseinad, postid või vaheseinad paigaldatuna ülotstarbelise müüri-mördiga.**
3. Tootja: **UAB „Aliteka”,
Statybininkų st.19, LT-65480 Matuizos, Varėnos r., Lithuania
Tel. +370 683 46181**
4. Toimivuse püsivuse hindamise ja kontrollimise süsteem: **Süsteem 2+**
5. Ühtlustatud standard: **EN 771-2:2011+A1:2015**
Teavitatud asutus: **UAB “Kiwa Inspekta” nr. 2268 (2268-CPR-370)**
6. Deklareeritud toimivus:

Põhiomadused	Toimivus
1. Mõõtmed, mm	
Pikkus	250±2
Laius	120±2
Kõrgus	65±2
Kuju ja vorm: Risttahukakujuiline siledapinnaline müürikivi	
Mõõtmeterantside kategooria	T2
2. Kategooria survetugevuse alusel	I
3. Keskmine survetugevus (L sängituspinnaga, tervikkivi), N/mm ²	≥24,7
Normaliseeritud survetugevus, N/mm ²	≥20
Survetugevuse klass	20
4. Kivi grupp (EN 1996-1-1)	Grupp 1
5. Nakketugevus (EN 998-2 lisa C kohane väärtus)	
Üldotstarbeline müüri-mört, N/mm ²	0,15
6. Tuletundlikkus	A1
7. Vecimavus, % (EN 772-21)	≤ 15
8. Vecauru difusioonitegur, μ (EN 1745 Tabel A2)	5/25
9. Brutokuivtihedus, kg/m ³	1610-1800
Brutokuivtiheduse klass	1,8
10. Soojusjuhtivus λ _{10dry,m20} (EN 1745 Tabel A2), W/(mK)	0,86
11. Kestvus – külmakindlus 50 tsükli (EN 772-18)	F2

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

Tootja poolt ja nimel allkirjastanud:

Matuizų, 01.09.2022.

Andrius Vailionis
Tehase direktor

Lisa 2 Uninaksi müürisegu NAKS M100 toimivusdeklaratsioon

UNINAKS
EESTI EHITUSLIKUD KUIVSEGUD



TOIMIVUSDEKLARATSIOON nr 1504-UN001-27.02.2023

1. Tootetüübi kordumatu identifitseerimiskood: **MÜÜRISSEGU NAKS M100**
2. Kavandatud kasutusala: **MÜÜRISSEGU NAKS M100** üldotstarbeline müürimört (G) kandvate ja mittekanvate seinte ja postide ladumiseks sise- ja välitingimustes. Talvisel perioodil toodetakse külmavastase lisandiga kasutamiseks temperatuurini kuni -10°C
3. Tootja: **AS Uninaks, Valuste tee 1, 90303 Lihula, Eesti**
4. Toimivuse püsivuse hindamise ja kontrolli süsteem: **Süsteem 2+**
5. Ühtlustatud standard: **EVS-EN 998-2:2016**
Teavitatud asutus: **Tallinna Sertifitseerimisasutus (NB 1504)**
6. Deklaratsiooni toimivus:

Põhiomadused	Toimivus	Ühtlustatud tehniline kirjeldus
Survetugevus *	M 10 ($\geq 10 \text{ N/mm}^2$)	EVS-EN 998-2:2016
Nakketugevus nihkel, EN 1052-3 lisa C tabeliväärtus	$\geq 0,15 \text{ N/mm}^2$	
Nakketugevus paindel	NPD	
Kloriidisisaldus	$\leq 0,1 \% \text{ Cl}$	
Veeimavus	$\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$	
Veeauru läbilaskvus EN 1745:2012 A.12 (tabeliväärtus)	15/35	
Soojuseriijuhtivus EN 1745:2015 A.12 (tabeliväärtus)	0,93 W/(m·K)	
Kestvus (GOST 5802)	F15	
Tuletundlikkus	A1	
Ohtlike ainete sisaldus	NPD	

*Katseproovi ettevalmistamisel ei kasutatud absorbeerivat filterpaberit!

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

Tootja poolt ja nimel allkirjastanud:

Guido Piksar

Uninaks AS juhataja

27.02.2023

Lisa 3 Meistri lubimört/müürimört 0-2 mm toimivusdeklaratsioon



TOIMIVUSDEKLARATSIOON

Nr. 135CPR2013-07-01

Tootetüübi kordumatu identifitseerimiskood:	Müürimört/lubimört 0-2 mm	
Kavandatud kasutusala:	Looduskivi (maakivi, paekivi) ja kaasaegsete ehituskivide ladumiseks, vukimiseks ja krohvimiseks mõeldud elastne ning tugev tsemendisaldusega lubikrohv-müürimört. Kasutamiseks nii välis- kui sisetingimustes.	
Tootja:	Toodetud eritellimusel Sakret OÜ poolt. Sakret OÜ, Mäo, Paide linn, Järvamaa 72751	
Volitatud esindaja:	Puudub	
Toimivuse püsivuse hindamise ja kontrolli süsteem:	Süsteem nr. 4	
Ühtlustatud standard:	EN 998-2:2016	
Deklareeritud toimivus:		
Põhiomadused	Toimivus	Ühtlustatud tehniline kirjeldus
Tuletundlikkus	A1	EN 998-2
Veeauru läbilaskvus	μ 15/35	
Survetugevus	$\geq 1,5$ N/mm ²	
Kloriidide sisaldus	< 0,1 %	
Tsemendi sisaldus	< 6 %	
Soojuseriijuhtivus, P 50% (λ_{10} , dry)	$\leq 0,83$ W/mK	
Soojuseriijuhtivus, P 90% (λ_{10} , dry)	$\leq 0,93$ W/mK	
Ohtlikud koostisosad	Ei	
Asjakohane tehniline dokumentatsioon ja/või tehnilise eridokumentatsioon:	Puudub	
Eespool kirjeldatud toote toimivus vastab deklareeritud toimivusele. Käesolev toimivusdeklaratsioon on välja antud kooskõlas määrusega (EL) nr 305/2011 eespool nimetatud tootja ainuvastutusel.		

Tootja poolt ja nimel allkirjastatud:	Teele Pullisaar, peatehnoloog Sakret OÜ, Mäo, Paide linn	 15.06.2020
---------------------------------------	---	----------------

Lisa 4 Uninaksi lubikrohv NAKS LK1 toimivusdeklaratsioon

UNINAKS
EESTI EHITUSLIKUD KUIVSEGUD



TOIMIVUSDEKLARATSIOON

nr UN 203- 01.02.2021

1. Tootetüübi kordumatu identifitseerimiskood: **LUBIKROHV NAKS LK1**
2. Tüübi-, partii- või seerianumber või muu element, mis võimaldab ehitustoote identifitseerimist artikli 11 lõike 4 kohaselt: **vaata pakendilt. Kuupäev ja tehase märgistus**
3. Tootja poolt ette nähtud ehitustoote kavandatud kasutusotstarve või -otstarbed kooskõlas kohaldatava ühtlustatud tehnilise kirjeldusega: **Sise-ja välistingimustes kasutatav lubjapõhjaline krohvisegu**
4. Artikli 11 lõikes 5 nõutud tootja nimi, registreeritud kaubanimi või registreeritud kaubamärk ja kontaktaadress:
AS Uninaks, Valuste tee 1, 90303 Lihula, Eesti
5. Vajaduse korral volitatud esindaja nimi ja kontaktaadress, kelle volitused hõlmavad artikli 12 lõikes 2 täpsustatud ülesandeid: **Ei kohaldata**
6. V lisas sätestatud ehitustoote toimivuse püsivuse hindamise ja kontrollimise süsteem või süsteemid: **Süsteem 4**
7. Ühtlustatud standardiga hõlmatud ehitustoote Toimivusdeklaratsiooni korral: **Ei kohaldata**
8. Euroopa tehniline hinnang: **Ei kohaldata.**
9. Deklareeritud toimivus

Põhiomadused	Toimivus	Ühtlustatud tehniline kirjeldus
Tuletundlikkus	A1 _{FL}	EVS-EN 998 -1: 2016
Veeimavus	$W < 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$	
Veeauru läbilaskvus	$\mu < 20$	
Nakketugevus	$> 0,3 \text{ N}/\text{mm}^2$	
Soojajuhtivus ($\lambda_{10, \text{kuiv}}$)	0,27 W/mK (tabeliväärtus)	
Ohtlikud koostisosad	Ei	

10. Punktides 1 ja 2 kindlaksmääratud toote toimivus on kooskõlas punktis 9 osutatud deklareeritud toimivusega.

Käesolev toimivusdeklaratsioon on välja antud punktis 4 kindlaksmääratud tootja ainuvastutusel.

Tootja poolt ja nimel allkirjastanud:

Guido Piksar

Uninaks AS juhataja

01.02.2021

Lisa 5 Katsetes kasutatud seadmed 1



Raputuslaud



Segisti Hobart



Kaal Acculab V-1200



Kaal KERN EMS

Lisa 6 Katsetes kasutatud seadmed 2



Kaal KERN FKB 65K1A



Hüdrauliline survepress Matet Servo-Plus Evolution



Surve- ja paindepress Strassentest



Survepress Seger Tonindustrie

Lisa 7 Silikaattelliste survetugevuse koondkatsetulemused

Katsekeha tähis	Pikkus l_u [mm]	Laius w_u [mm]	Kõrgus h_u [mm]	Survepindala A [mm ²]	Koormamise kiirus [kN/s]	Purustav jõud F [kN]	Survetugevus		Standardhälve σ [N/mm ²]	Variatsioon v [%]	Normaliseeritud survetugevus		Standardhälve σ [N/mm ²]	Variatsioon v [%]	Normsurvetugevus	
							Üksik f_c [N/mm ²]	Keskmine f_{cm} [N/mm ²]			Üksik f_b [N/mm ²]	Keskmine f_{bm} [N/mm ²]			$f_{cm,95}^*$ [N/mm ²]	$f_{b,95}^{**}$ [N/mm ²]
ST-1	250,0	119,5	65,0	29875	4,0	728,201	24,4	25,7	0,791	3,1	19,7	20,8	0,641	3,1	25,0	20,3
ST-2	249,5	119,5	65,5	29815	4,0	770,210	25,8				20,9					
ST-3	249,5	119,5	65,0	29815	4,0	768,707	25,8				20,9					
ST-4	250,0	120,0	65,0	30000	4,0	803,053	26,8				21,7					
ST-5	250,0	120,0	65,0	30000	4,0	760,977	25,4				20,5					
ST-6	249,5	120,0	65,0	29940	4,0	778,796	26,0				21,1					

* Keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures

** Keskmine normaliseeritud survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures

Lisa 8 Silikaattelliste tõmbetugevuse koondkatsetulemused

Katsekeha tähis	Pikkus l_u [mm]	Laius w_u [mm]	Kõrgus h_u [mm]	Tugede vahekaugus L [mm]	Koormamise kiirus [kN/s]	Purustav jõud F [kN]	Paindetugevus		Tõmbetugevus		Standardhälve σ [N/mm ²]	Variatsioon v [%]	Normtõmbetugevus $f_{tm,95}^*$ [N/mm ²]
							Üksik f_f [N/mm ²]	Keskmine f_{fm} [N/mm ²]	Üksik f_t [N/mm ²]	Keskmine f_{tm} [N/mm ²]			
ST-7	250,0	119,5	65,0	200	0,03	4,867	2,9	3,0	1,9	1,9	0,190	9,8	1,6
ST-8	250,0	119,5	65,0	200	0,03	4,588	2,7		1,8				
ST-9	250,0	120,0	65,5	200	0,03	5,652	3,3		2,1				

* Keskmine tõmbetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures

Lisa 9 Mörtide valmistamise koostis ja hilisemad toimingud katsekehadega

Mördi tähis	Koostis		Valgustus		Segu sai valmis	Segu sai vormi pandud	Vormilt eemaldati raskus *	Katsekehad võeti vormist välja	Katsekehad viidi hoiuruumi	Katsekehade survetugevus määrati
	Kuivaine [g]	Vesi [g]	Üksik [mm]	Keskmine [mm]						
Mört nr 1	Müürisegu NAKS M100 (Uninaks)				Kellaaeg/kuupäev					
1	2000,0	435,0	178 181	179,5	16:40 08.02.2023	16:50 08.02.2023	-	18:00 09.02.2023	16:00 16.02.2023	16:30-17:30 08.03.2023
Mört nr 2	Lubimört/müürimört 0-2 mm (Meistri)				Kellaaeg/kuupäev					
6	2000,0	485,0	177 184	180,5	16:50 10.02.2023	17:00 10.02.2023	-	15:30 15.02.2023		16:00-16:30 17.02.2023
7	2000,0	485,0	190 179	184,5	16:10 10.02.2023	16:20 10.02.2023	-	15:30 15.02.2023	12:00 17.02.2023	16:10-16:40 24.02.2023
8	2000,0	485,0	171 172	171,5	15:25 10.02.2023	15:35 10.02.2023	-	14:50 15.02.2023	12:00 17.02.2023	17:00-17:45 10.03.2023
9	2000,0	483,0	165 166	165,5	14:00 10.02.2023	14:10 10.02.2023	-	14:40 15.02.2023	12:00 17.02.2023	09:00-09:30 07.04.2023
Mört nr 3	Lubikrohv NAKS LK1 (Uninaks)				Kellaaeg/kuupäev					
2	2000,0	420,0	172 171	171,5	17:00 09.02.2023	17:10 09.02.2023	-	15:50 14.02.2023		16:00-16:20 16.02.2023
3	2000,0	420,0	168 166	167,0	16:20 09.02.2023	16:30 09.02.2023	-	15:50 14.02.2023	16:00 16.02.2023	15:40-16:10 23.02.2023
4	2000,0	420,0	175 176	175,5	09:35 10.02.2023	09:45 10.02.2023	-	14:10 15.02.2023	12:00 17.02.2023	17:45-18:30 10.03.2023
5	2000,0	420,0	177 179	178,0	10:20 10.02.2023	10:20 10.02.2023	-	14:15 15.02.2023	12:00 17.02.2023	09:30-10:00 07.04.2023
Mört nr 4	Lubimört (Meistri)				Kellaaeg/kuupäev					
10	2000,0	640,0	181 184	182,5	14:20 16.02.2023	14:30 16.02.2023	16:40 17.02.2023	18:45 21.02.2023		14:00-14:20 23.02.2023
11	2000,0	640,0	186 184	185,0	09:40 17.02.2023	09:50 17.02.2023	12:15 18.02.2023	13:55 22.02.2023	14:30 23.02.2023	11:40-12:10 03.03.2023
12	2000,0	640,0	189 181	185,0	10:35 17.02.2023	10:45 17.02.2023	12:15 18.02.2023	14:00 22.02.2023	14:30 23.02.2023	11:30-12:00 17.03.2023
13	2000,0	640,0	185 185	185,0	11:10 17.02.2023	11:20 17.02.2023	12:15 18.02.2023	14:15 22.02.2023	14:30 23.02.2023	15:00-15:30 14.04.2023

* Raskust kasutati ainult mört nr 4 vormimisel

Lisa 10 Mõrdi nr 1 (tsementmört) koondkatsetulemused

Mört nr 1		Müürisegu NAKS M100 (Uninaks)											
Katsekeha tähis	Pikkus <i>a</i> [mm]	Laius <i>b</i> [mm]	Kõrgus <i>h</i> [mm]	Ruumala <i>V</i> [cm ³]	Mass <i>m</i> [g]	Tihedus <i>ρ</i> [g/cm ³]	Survepindala <i>A</i> [mm ²]	Purustav jõud <i>F</i> [kN]	Survetugevus		Standardhälve <i>σ</i> [N/mm ²]	Variatsioon <i>v</i> [%]	Normsurvetugevus <i>f_{m,95}</i> * [N/mm ²]
									Üksik <i>f</i> [N/mm ²]	Keskmine <i>f_m</i> [N/mm ²]			
28 päeva vanune survetugevus													
1-1	160	40	40	256	467,9	1,83	1600	17	10,6	10,0	0,395	4,0	9,7
							1600	15	9,4				
1-2	160	40	40	256	471,4	1,84	1600	16	10,0				
							1600	16	10,0				
1-3	160	40	40	256	466,6	1,82	1600	16	10,0				
							1600	16	10,0				

* Keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures

Lisa 11 Mördi nr 2 (lubja ja tsemendi segamört) koondkatsetulemused

Mört nr 2		Lubimört/müürimört 0-2 mm (Meistri)											
Katsekeha tähis	Pikkus <i>a</i> [mm]	Laius <i>b</i> [mm]	Kõrgus <i>h</i> [mm]	Ruumala <i>V</i> [cm ³]	Mass <i>m</i> [g]	Tihedus ρ [g/cm ³]	Survepindala <i>A</i> [mm ²]	Purustav jõud <i>F</i> [kgf]	Survetugevus		Standardhälve σ [N/mm ²]	Variatsioon <i>v</i> [%]	Normsurvetugevus <i>f_{m,95}</i> * [N/mm ²]
									Üksik <i>f</i> [N/mm ²]	Keskmine <i>f_m</i> [N/mm ²]			
7 päeva vanune survetugevus													
6-1	160	40	40	256	501,7	1,96	2520	170	0,66	0,67	0,016	2,4	0,65
							2520	170	0,66				
6-2	160	40	40	256	495,4	1,94	2520	175	0,68				
							2520	175	0,68				
6-3	160	40	40	256	503,1	1,97	2520	175	0,68				
							2520	165	0,64				
14 päeva vanune survetugevus													
7-1	160	40	40	256	423,5	1,65	2520	260	1,01	1,12	0,089	8,0	1,05
							2520	260	1,01				
7-2	160	40	40	256	430,5	1,68	2520	310	1,21				
							2520	305	1,19				
7-3	160	40	40	256	443,0	1,73	2520	290	1,13				
							2520	305	1,19				
28 päeva vanune survetugevus													
8-1	160	40	40	256	463,6	1,81	2520	385	1,50	1,55	0,068	4,4	1,50
							2520	415	1,61				
8-2	160	40	40	256	456,3	1,78	2520	395	1,54				
							2520	425	1,65				
8-3	160	40	40	256	459,8	1,80	2520	395	1,54				
							2520	380	1,48				
56 päeva vanune survetugevus													
9-1	160	40	40	256	466,3	1,82	2520	390	1,52	1,61	0,070	4,3	1,56
							2520	415	1,61				
9-2	160	40	40	256	460,0	1,80	2520	420	1,63				
							2520	400	1,56				
9-3	160	40	40	256	464,4	1,81	2520	425	1,65				
							2520	440	1,71				

* Keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures

Lisa 12 Mördi nr 3 (lubja ja tsemendi segamört) koondkatsetulemused

Mört nr 3		Lubikrohv NAKS LK1 (Uninaks)											
Katsekeha tähis	Pikkus <i>a</i> [mm]	Laius <i>b</i> [mm]	Kõrgus <i>h</i> [mm]	Ruumala <i>V</i> [cm ³]	Mass <i>m</i> [g]	Tihedus ρ [g/cm ³]	Survepindala <i>A</i> [mm ²]	Purustav jõud <i>F</i> [kgf]	Survetugevus		Standardhälve σ [N/mm ²]	Variatsioon <i>v</i> [%]	Normsurvetugevus $f_{m,95}^*$ [N/mm ²]
									Üksik <i>f</i> [N/mm ²]	Keskmine f_m [N/mm ²]			
7 päeva vanune survetugevus													
2-1	160	40	40	256	531,0	2,07	2520	230	0,90	0,87	0,034	3,8	0,84
							2520	220	0,86				
2-2	160	40	40	256	544,4	2,13	2520	215	0,84				
							2520	215	0,84				
2-3	160	40	40	256	524,4	2,05	2520	230	0,90				
							2520	235	0,91				
14 päeva vanune survetugevus													
3-1	160	40	40	256	482,7	1,89	2520	335	1,30	1,27	0,093	7,3	1,19
							2520	345	1,34				
3-2 **	160	40	40	256	480,7	1,88	2520	280	1,09				
							2520	325	1,26				
3-3	160	40	40	256	487,7	1,91	2520	335	1,30				
							2520	340	1,32				
28 päeva vanune survetugevus													
4-1	160	40	40	256	420,6	1,64	2520	505	1,97	1,96	0,081	4,2	1,89
							2520	495	1,93				
4-2	160	40	40	256	416,7	1,63	2520	515	2,00				
							2520	525	2,04				
4-3	160	40	40	256	418,3	1,63	2520	465	1,81				
							2520	510	1,98				
56 päeva vanune survetugevus													
5-1	160	40	40	256	439,7	1,72	2520	555	2,16	2,11	0,044	2,1	2,08
							2520	525	2,04				
5-2	160	40	40	256	436,2	1,70	2520	545	2,12				
							2520	550	2,14				
5-3	160	40	40	256	431,2	1,68	2520	535	2,08				
							2520	550	2,14				

* Keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures

** Katsekeha servad läksid vormist välja võttes natukene katki

Lisa 13 Mõrdi nr 4 (lubimört) koondkatsetulemused

Mört nr 4		Lubimört (Meistri)											
Katsekeha tähis	Pikkus <i>a</i> [mm]	Laius <i>b</i> [mm]	Kõrgus <i>h</i> ** [mm]	Ruumala <i>V</i> [cm ³]	Mass <i>m</i> [g]	Tihedus ρ [g/cm ³]	Survepindala <i>A</i> [mm ²]	Purustav jõud <i>F</i> [kgf]	Survetugevus		Standardhälve σ [N/mm ²]	Variatsioon <i>v</i> [%]	Normsurvetugevus $f_{m,95}$ * [N/mm ²]
									Üksik <i>f</i> [N/mm ²]	Keskmine f_m [N/mm ²]			
7 päeva vanune survetugevus													
10-1 ***	160	40	40	256	460,9	1,80	2520	0	0,00	0,0	-	-	0,0
							2520	0	0,00				
10-2 ***	160	40	40	256	456,5	1,78	2520	0	0,00				
							2520	0	0,00				
10-3 ***	160	40	40	256	465,3	1,82	2520	0	0,00				
							2520	0	0,00				
14 päeva vanune survetugevus													
11-1	160	40	39	250	385,9	1,55	2457	55	0,22	0,21	0,018	8,6	0,19
							2457	- ****	-				
11-2	160	40	39	250	383,1	1,53	2457	55	0,22				
							2457	45	0,18				
11-3	160	40	39	250	381,5	1,53	2457	50	0,20				
							2457	55	0,22				
28 päeva vanune survetugevus													
12-1	160	40	39	250	383,1	1,53	2457	60	0,24	0,23	0,011	4,7	0,22
							2457	55	0,22				
12-2	160	40	39	250	377,0	1,51	2457	55	0,22				
							2457	- ****	-				
12-3	160	40	39	250	387,7	1,55	2457	60	0,24				
							2457	60	0,24				
56 päeva vanune survetugevus													
13-1	160	40	39	250	391,9	1,57	2457	95	0,38	0,37	0,027	7,5	0,34
							2457	100	0,40				
13-2	160	40	39	250	390,8	1,57	2457	80	0,32				
							2457	95	0,38				
13-3	160	40	39	250	393,2	1,58	2457	90	0,36				
							2457	90	0,36				

* Keskmine survetugevus 50 % kvantiili ja 95 % usaldusnivoo juures

** Mahukahanemisest on kõrgus vähenenud 1 mm

*** Katsekehad liiga nõrgad (pehmed), et katseseade suudaks survetugevust määrata

**** Katsekeha purunes paindele liiga otsast, mille tõttu ei saanud ühele poolele survetugevust määrata

Lisa 14 Müüritiste katsekehade valmistamine ja toimingud katsekehadega

Telliste seisund	Mördi nr	Koostis		Katsekehade tegemine	Katsekehadelte eemaldati kile	7 päevase survetugevuse määramine	14 päevase survetugevuse määramine	28 päevase survetugevuse määramine	56 päevase survetugevuse määramine
		Kuivaine [g]	Vesi [g]						
Kellaaeg/kuupäev									
Kuiv	1	2765	610	08:00-09:30 09.03.2023	13:50 12.03.2023			15:00-18:00 06.04.2023	
Kuiv/niiske	1	5175	1141						
Niiske/märg	1	10004	2213						
Kuiv	2	10150	2410	08:00-09:30 16.02.2023	12:10 19.02.2023	15:00-16:00 22.02.2023	13:00-13:45 02.03.2023	13:25-14:10 16.03.2023	17:40-18:20 13.04.2023
		1001	250						
Niiske	2	6200	1610	15:00-16:00 02.03.2023	19:00 05.03.2023	12:00-12:15 09.03.2023	13:10-13:25 16.03.2023	15:00-15:15 30.03.2023	16:00-16:15 27.04.2023
Niiske	3	10704	2246	15:00-16:30 20.02.2023	11:40 23.02.2023	17:00-19:00 27.02.2023	13:45-15:00 06.03.2023	13:30-15:00 20.03.2023	17:10-18:20 17.04.2023
		7922	1622						
		5981	1294						
Kuiv	4	10000	2940	16:30-17:30 15.02.2023	13:50 18.02.2023	16:30-18:00 22.02.2023	16:00-16:45 01.03.2023	16:00-17:00 15.03.2023	17:00-17:40 12.04.2023
		2938	102						
Niiske	4	4012	1230	12:00-13:00 23.02.2023	13:00 26.02.2023		12:15-12:30 09.03.2023	14:55-15:10 23.03.2023	08:30-08:45 20.04.2023

Lisa 15 Mördist nr 1 (tsementmört) laotud müüritiste koondkatsetulemused

Müüritis nr 1		Müüri segu NAKS M100 (Uninaks)									
Katsekeha tähis	Telliste seisund	Vuugi kõrgus t [mm]		Survepindala A [mm ²]	Koormamise kiirus [kN/s]	Purustav jõud F [kN]	Survetugevus f'_i [N/mm ²]	Parandustegur x	Korrigeeritud survetugevus		Normsurvetugevus f_k [N/mm ²]
									Üksik f_i [N/mm ²]	Keskmine f_{im} [N/mm ²]	
28 päeva vanune survetugevus											
M1-1	Kuiv	17,0	15,0	30000	0,75	377	12,6	0,991	12,4	10,8	9,0
M1-2		17,0	15,0	30000	0,75	287	9,6	0,991	9,5		
M1-3		14,0	12,0	30000	0,75	317	10,6	0,987	10,4		
M1-4		14,0	15,0	30000	0,75	334	11,1	0,989	11,0		
M1-5	Niiske	8,0	11,0	30000	0,75	399	13,3	0,983	13,1	12,4	10,3
M1-6		13,0	10,5	30000	0,75	351	11,7	0,986	11,5		
M1-7		12,5	10,5	30000	0,75	394	13,1	0,985	12,9		
M1-8		12,0	10,5	30000	0,75	363	12,1	0,985	11,9		
M1-9	Märg	10,0	10,0	30000	0,75	431	14,4	0,983	14,1	14,2	11,9
M1-10		8,0	8,0	30000	0,75	448	14,9	0,981	14,6		
M1-11		8,0	7,5	30000	0,75	458	15,3	0,980	15,0		
M1-12		13,0	11,0	30000	0,75	403	13,4	0,986	13,2		

Lisa 16 Mõrdist nr 2 (lubja ja tsemendi segamört) laotud müüritiste koondkatsetulemused

Müüritis nr 2		Lubimört/müürimört 0-2 mm (Meistri)									
Katsekeha tähis	Telliste seisund	Vuugi kõrgus t [mm]		Survepindala A [mm ²]	Koormamise kiirus [kN/s]	Purustav jõud F [kN]	Survetugevus f'_i [N/mm ²]	Parandustegur x	Korrigeeritud survetugevus		Normsurvetugevus f_k [N/mm ²]
									Üksik f_i [N/mm ²]	Keskmine f_{im} [N/mm ²]	
7 päeva vanune survetugevus											
M2-1	Kuiv	10,0	11,0	30000	0,50	306	10,2	0,984	10,1	11,2	9,3
M2-2		10,0	10,0	30000	0,50	368	12,3	0,983	12,1		
M2-3		10,0	11,0	30000	0,50	351	11,7	0,984	11,5		
M2-4	Niske	12,5	12,0	30000	0,50	315	10,5	0,986	10,4	10,4	8,6
14 päeva vanune survetugevus											
M2-5	Kuiv	12,0	11,0	30000	0,75	309	10,3	0,985	10,1	11,2	9,3
M2-6		13,0	11,0	30000	0,75	362	12,1	0,986	11,9		
M2-7		7,5	10,5	30000	0,75	352	11,7	0,982	11,5		
M2-8	Niske	13,0	12,0	30000	0,75	330	11,0	0,987	10,8	10,8	9,0
28 päeva vanune survetugevus											
M2-9	Kuiv	10,0	8,0	30000	0,75	404	13,5	0,982	13,2	12,5	10,4
M2-10		9,5	9,5	30000	0,75	397	13,2	0,983	13,0		
M2-11		9,0	12,5	30000	0,75	343	11,4	0,984	11,3		
M2-12	Niske	11,0	12,0	30000	0,75	351	11,7	0,985	11,5	11,5	9,6
56 päeva vanune survetugevus											
M2-13	Kuiv	10,0	12,0	30000	0,75	383	12,8	0,985	12,6	12,7	10,6
M2-14		10,0	12,0	30000	0,75	406	13,5	0,985	13,3		
M2-15		8,0	11,5	30000	0,75	369	12,3	0,983	12,1		
M2-16	Niske	12,0	11,5	30000	0,75	354	11,8	0,986	11,6	11,6	9,7

Lisa 17 Mõrdist nr 3 (lubja ja tsemendi segamört) laotud müüritiste koondkatsetulemused

Müüritis nr 3		Lubikrohv NAKS LK1 (Uninaks)									
Katsekeha tähis	Telliste seisund	Vuugi kõrgus t [mm]		Survepindala A [mm ²]	Koormamise kiirus [kN/s]	Purustav jõud F [kN]	Survetugevus f'_i [N/mm ²]	Parandustegur x	Korrigeeritud survetugevus		Normsurvetugevus f_k [N/mm ²]
									Üksik f_i [N/mm ²]	Keskmine f_{im} [N/mm ²]	
7 päeva vanune survetugevus											
M3-1*	Niiske	10,0	8,5	30000	15,00	422	14,1	0,982	13,8	12,3	10,3
M3-2		10,5	10,0	30000	0,50	394	13,1	0,984	12,9		
M3-3		10,5	11,0	30000	0,50	365	12,2	0,984	12,0		
M3-4		10,0	9,5	30000	0,50	370	12,3	0,983	12,1		
14 päeva vanune survetugevus											
M3-5	Niiske	11,0	12,0	30000	0,50	377	12,6	0,985	12,4	12,6	10,5
M3-6		10,0	9,0	30000	0,50	367	12,2	0,983	12,0		
M3-7		12,0	12,0	30000	0,50	403	13,4	0,986	13,3		
M3-8		12,0	11,0	30000	0,50	386	12,9	0,985	12,7		
28 päeva vanune survetugevus											
M3-9	Niiske	11,0	11,0	30000	0,75	349	11,6	0,985	11,5	11,9	10,0
M3-10		11,0	11,0	30000	0,75	384	12,8	0,985	12,6		
M3-11		11,5	9,0	30000	0,75	346	11,5	0,984	11,3		
M3-12		11,0	11,0	30000	0,75	377	12,6	0,985	12,4		
56 päeva vanune survetugevus											
M3-13	Niiske	12,0	12,5	30000	0,75	380	12,7	0,986	12,5	13,4	11,2
M3-14		12,5	9,0	30000	0,75	475	15,8	0,984	15,6		
M3-15		9,0	10,0	30000	0,75	400	13,3	0,983	13,1		
M3-16		10,0	10,5	30000	0,75	378	12,6	0,984	12,4		

* Müüritise katsekeha survetugevus on keskmise arvutusest vale koormamise kiiruse pärast välja jäetud

Lisa 18 Mõrdist nr 4 (lubimört) laotud müüritiste koondkatsetulemused

Müüritis nr 4		Lubimört (Meistri)									
Katsekeha tähis	Telliste seisund	Vuugi kõrgus t [mm]		Survepindala A [mm ²]	Koormamise kiirus [kN/s]	Purustav jõud F [kN]	Survetugevus f'_i [N/mm ²]	Parandustegur x	Korrigeeritud survetugevus		Normsurvetugevus f_k [N/mm ²]
									Üksik f_i [N/mm ²]	Keskmine f_{im} [N/mm ²]	
7 päeva vanune survetugevus											
M4-1	Kuiv	10,0	12,0	30000	0,40	270	9,0	0,985	8,8	9,6	8,0
M4-2		11,0	13,0	30000	0,40	292	9,7	0,986	9,6		
M4-3		11,0	13,0	30000	0,40	317	10,6	0,986	10,4		
M4-4*	Niske										
14 päeva vanune survetugevus											
M4-5	Kuiv	10,0	11,0	30000	0,60	326	10,9	0,984	10,7	9,8	8,2
M4-6		12,5	11,0	30000	0,60	261	8,7	0,986	8,6		
M4-7		12,0	11,0	30000	0,60	310	10,3	0,985	10,2		
M4-8	Niske	10,0	11,0	30000	0,60	346	11,5	0,984	11,4	11,4	9,5
28 päeva vanune survetugevus											
M4-9	Kuiv	17,5	13,0	30000	0,60	280	9,3	0,990	9,2	10,3	8,6
M4-10		12,0	10,0	30000	0,60	341	11,4	0,985	11,2		
M4-11		10,0	11,0	30000	0,60	322	10,7	0,984	10,6		
M4-12	Niske	11,0	10,0	30000	0,60	360	12,0	0,984	11,8	11,8	9,8
56 päeva vanune survetugevus											
M4-13	Kuiv	11,0	11,5	30000	0,60	337	11,2	0,985	11,1	10,0	8,3
M4-14		13,5	10,5	30000	0,60	300	10,0	0,986	9,8		
M4-15		12,0	12,0	30000	0,60	273	9,1	0,986	9,0		
M4-16	Niske	11,0	11,0	30000	0,60	367	12,2	0,985	12,0	12,0	10,0

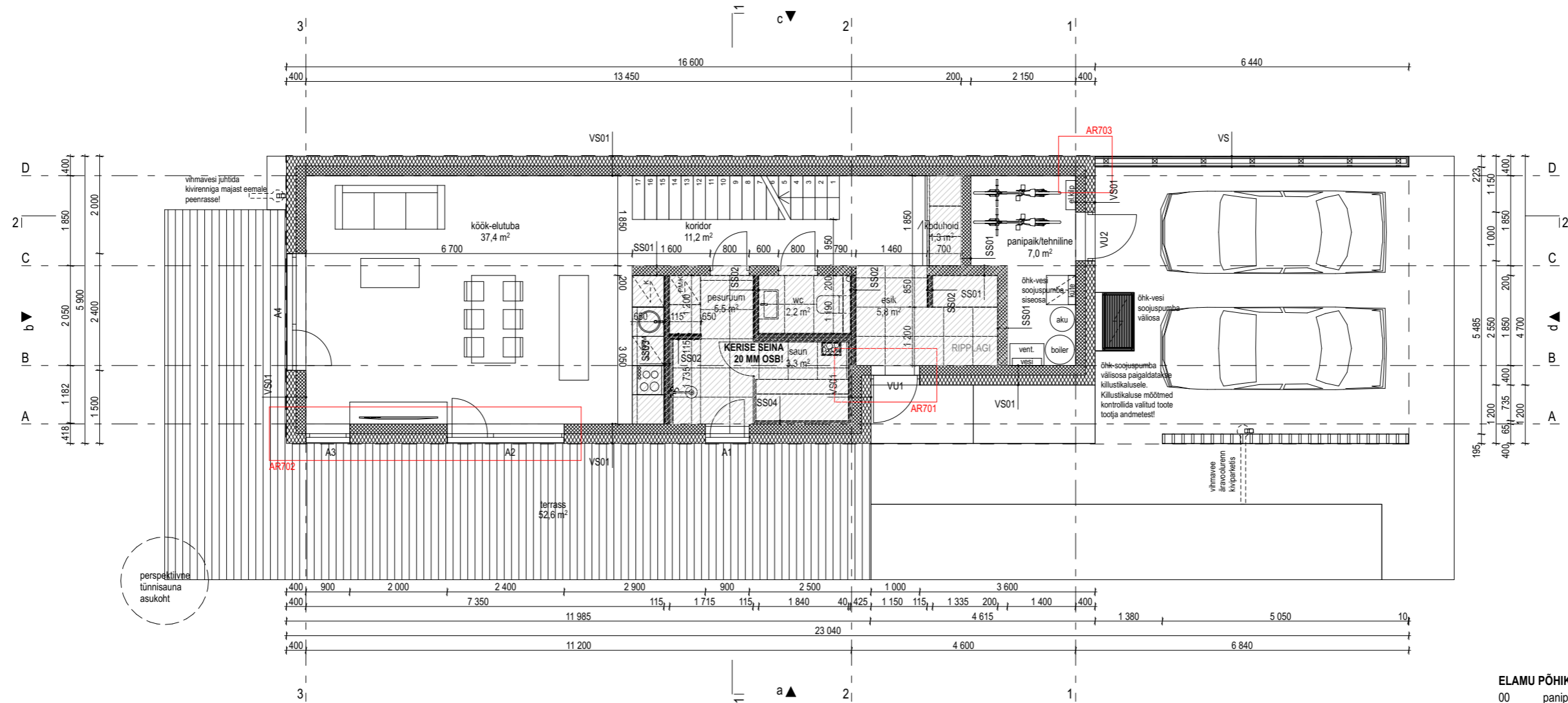
* Katsekeha purunes transportimisel

Lisa 19 Mõrdi ja müüritise katsete läbiviimise ajatabel

Nädal	Kuupäev	Esmaspäev	Teisipäev	Kolmapäev	Neljapäev	Reede	Laupäev	Pühapäev
6.	06.02.2023 12.02.2023			Mört 1	Mört 1 (->) Mört 3 pooled	Mört 2 Mört 3 pooled		
7.	13.02.2023 19.02.2023		Mört 3 pooled (->)	Mört 1 (->>) Mört 2 (->) Mört 3 pooled (->)	Mört 3 (->>), (7p) Mört 4 üks Müüritis 2	Mört 2 (->>), (7p) Mört 3 pooled (->>) Mört 4 kolm		Müüritis 2 (->)
8.	20.02.2023 26.02.2023		Mört 4 üks (->)	Mört 4 kolm (->)	Mört 3 (14p) Mört 4 (7p), kolm (->>)	Mört 2 (14p)		
9.	27.02.2023 05.03.2023			Müüritis 3 Müüritis 4 (7p)	Müüritis 2 (7p) Müüritis 3 (->) Müüritis 4 lisa		Mört 4 (14p)	Müüritis 4 lisa (->)
10.	06.03.2023 12.03.2023			Mört 1 (28p)	Müüritis 1 Müüritis 2 lisa 1 tk (7p) Müüritis 4 lisa 1tk (14p)	Mört 2 (28p) Mört 3 (28p)		Müüritis 1 (->)
11.	13.03.2023 19.03.2023					Mört 4 (28p)		
12.	20.03.2023 26.03.2023							
13.	27.03.2023 02.04.2023							
14.	03.04.2023 09.04.2023					Mört 2 (56p) Mört 3 (56p)		
15.	10.04.2023 16.04.2023					Müüritis 1 (28p)		
16.	17.04.2023 23.04.2023					Mört 4 (56p)		
17.	24.04.2023 30.04.2023					Müüritis 2 (56p)		

Tabelis kasutatud tähistused: esimene (->) ja teine (->) hoidmistingimuste muutmine, survetugevuse määramine toodud vanusel (7p).

GRAAFILINE OSA



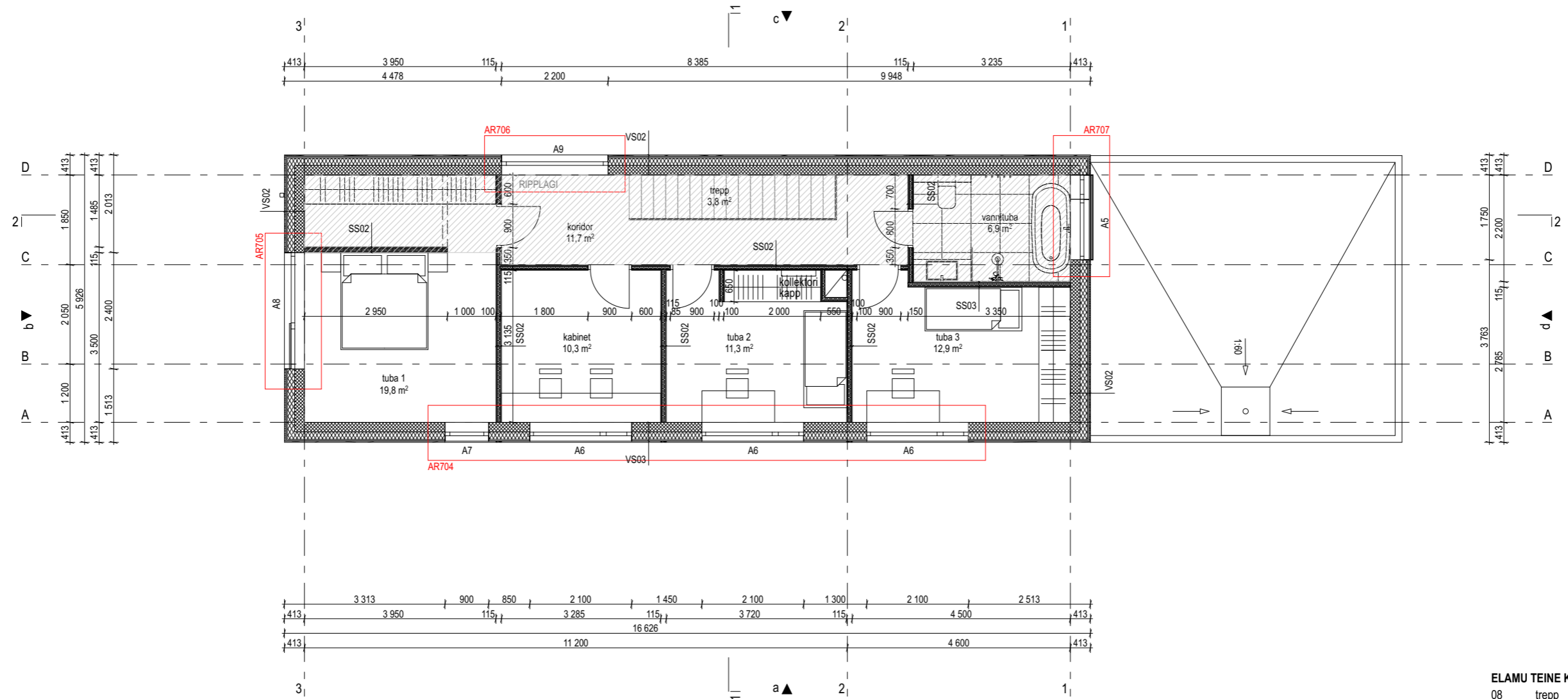
ELAMU PÕHIKORRUS		
00	panipaik/tehniline	7,0
01	esik	5,8
02	koridor	11,2
03	koduhoid	1,3
04	wc	2,2
05	pesuruum	5,5
06	saun	3,3
07	köök-elutuba	37,4
		73,7 m²

VS01 VÄLISSEIN	400 mm	SS03 SISESEIN	115 mm
Pinnaviimistlus		Pinnaviimistlus	
Poorbetoonplakk, Fibo plokk vastavalt konstr. osale	200 mm	Kipsplaat	12,5 mm
Soojustus, EPS Silver	200 mm	OSB-plaat	12 mm
Õhekrohv		Metallkarkass, vahel mineraalvill	66 mm
		OSB-plaat	12 mm
		Kipsplaat	12,5 mm
SS01 SISESEIN	200 mm	Pinnaviimistlus	
Pinnaviimistlus			
Poorbetoonplakk, Fibo plokk vastavalt konstr. osale	200 mm	SS04 SISESEIN	65 mm
Pinnaviimistlus		Saunavooder, horisont. 15x120 mm	15 mm
		Puitroov, vert. 20x50 mm, s400 mm	20 mm
SS02 SISESEIN	115 mm	Isolatsioonikiht, nt SPU Sauna- Satu	30 mm
Pinnaviimistlus			
2xkipsplaat	25 mm		
Metallkarkass, vahel mineraalvill	66 mm		
2xkipsplaat	25 mm		
Pinnaviimistlus			

TÖÖ NR	210603	JOONISE NR	AR-5-01
JOONIS	Põhikorruse plaan		
OBJEKT	Abara tn 52 eramu		
ADDRESS	Abara tn 52, Kakumäe, Tallinn, Harjumaa	KPV	16.03.2022
TELLIJA	Fredi Oja	STAADIUM	põhiprojekt
ARHITEKT	Teresa Malmre	VERSIOON	
		MÕÕTKAVA	M 1:100

TERESA MALMRE ARHITEKTUUR OÜ

MTR: EEP004136 / REG.: 14473340 / TEL.: +372 5213837 / EMAIL: teresa@malmre.ee



ELAMU TEINE KORRUS

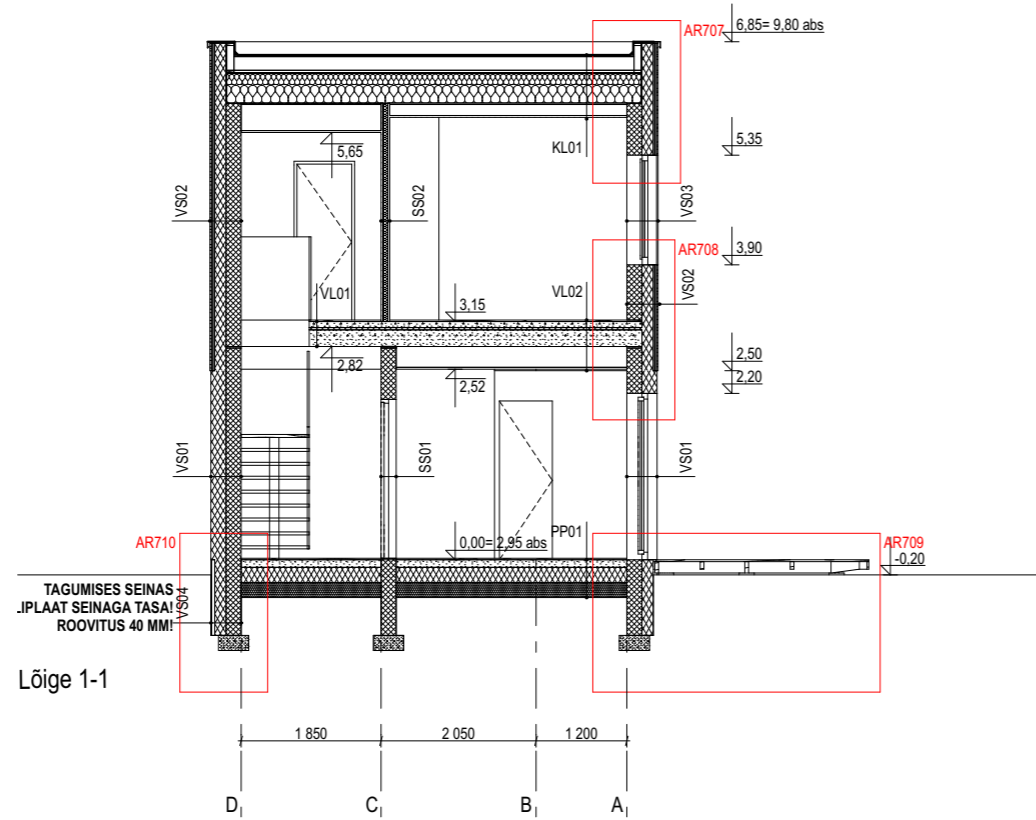
08	trepp	3,8
09	koridor	11,7
10	tuba 1	19,8
11	kabinet	10,3
12	tuba 2	11,3
13	tuba 3	12,9
14	vannituba	6,9
		76,7 m²

VS02 VÄLISSEIN	413 mm	SS02 SISESEIN	115 mm
Pinnaviimistlus		Pinnaviimistlus	
Poorbetoonplok, Fibo plok, vastavalt konstr. osale	200 mm	2xkipsplaat	25 mm
PIR soojustus, Kingspan Therma TW58	150 mm	Metallkarkass, vahel mineraalvill	66 mm
Puitroov, vert. 21x45 mm, s600 mm	21 mm	2xkipsplaat	25 mm
Puitroov, horisont. 21x70 mm, s600 mm	21 mm	Pinnaviimistlus	
Puitlaudis, vert. 21x145 mm, profiil UYSK	21 mm		
VS03 VÄLISSEIN	388 mm	SS03 SISESEIN	115 mm
Pinnaviimistlus		Pinnaviimistlus	
Poorbetoonplok, Fibo plok, vastavalt konstr. osale	200 mm	Kipsplaat	12,5 mm
PIR soojustus, Kingspan Therma TW58	150 mm	OSB-plaat	12 mm
Puitroov, vert. 28x95 mm, samm vasatavalt	28 mm	Metallkarkass, vahel mineraalvill	66 mm
plaadi jaotusele		OSB-plaat	12 mm
Fassaadiplaat	10 mm	Kipsplaat	12,5 mm
		Pinnaviimistlus	

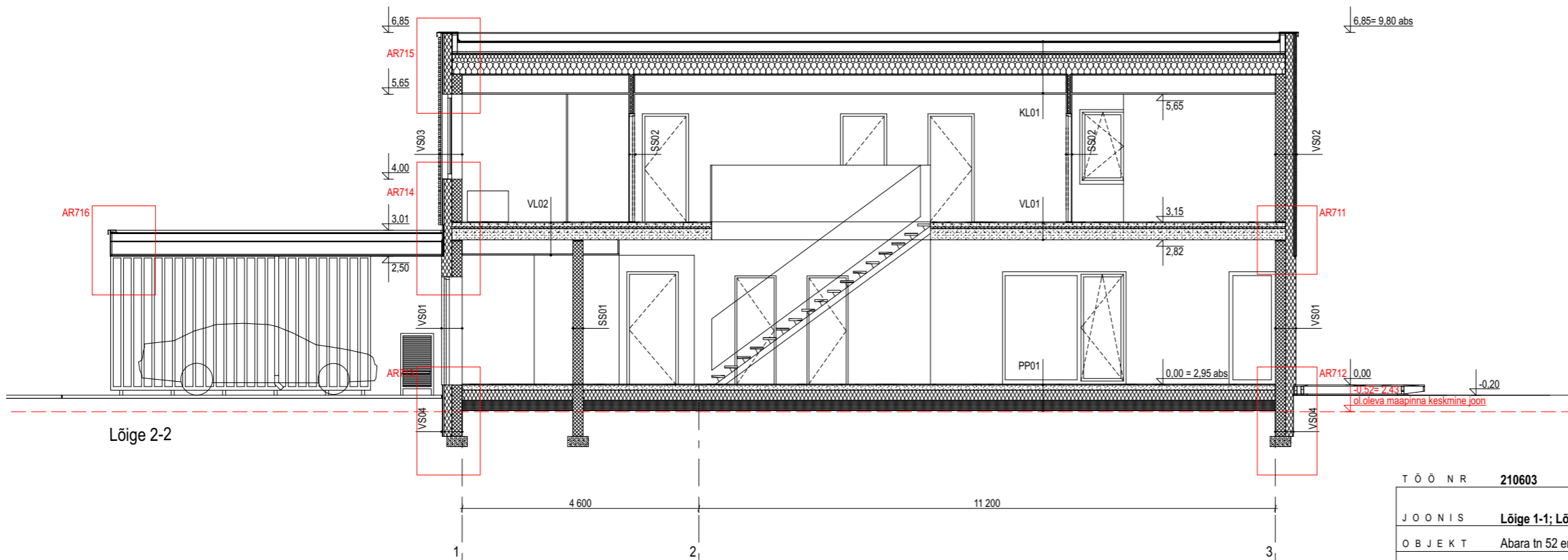
T Ö Ö N R	210603	J O O N I S E N R	AR-5-02
J O O N I S	Teise korruse plaan		
O B J E K T	Abara tn 52 eramu		
A A D R E S S	Abara tn 52, Kakumäe, Tallinn, Harjumaa	K P V	16.03.2022
T E L L I J A	Fredi Oja	S T A A D I U M	põhiprojekt
A R H I T E K T	Teresa Malmre	V E R S I O O N	
		M Ö Ö T K A V A	M 1:100

TERESA MALMRE ARHITEKTUUR OÜ

MTR: EEP004136 / REG.: 14473340 / TEL.: +372 5213837 / EMAIL: teresa@malmre.ee



Lõige 1-1



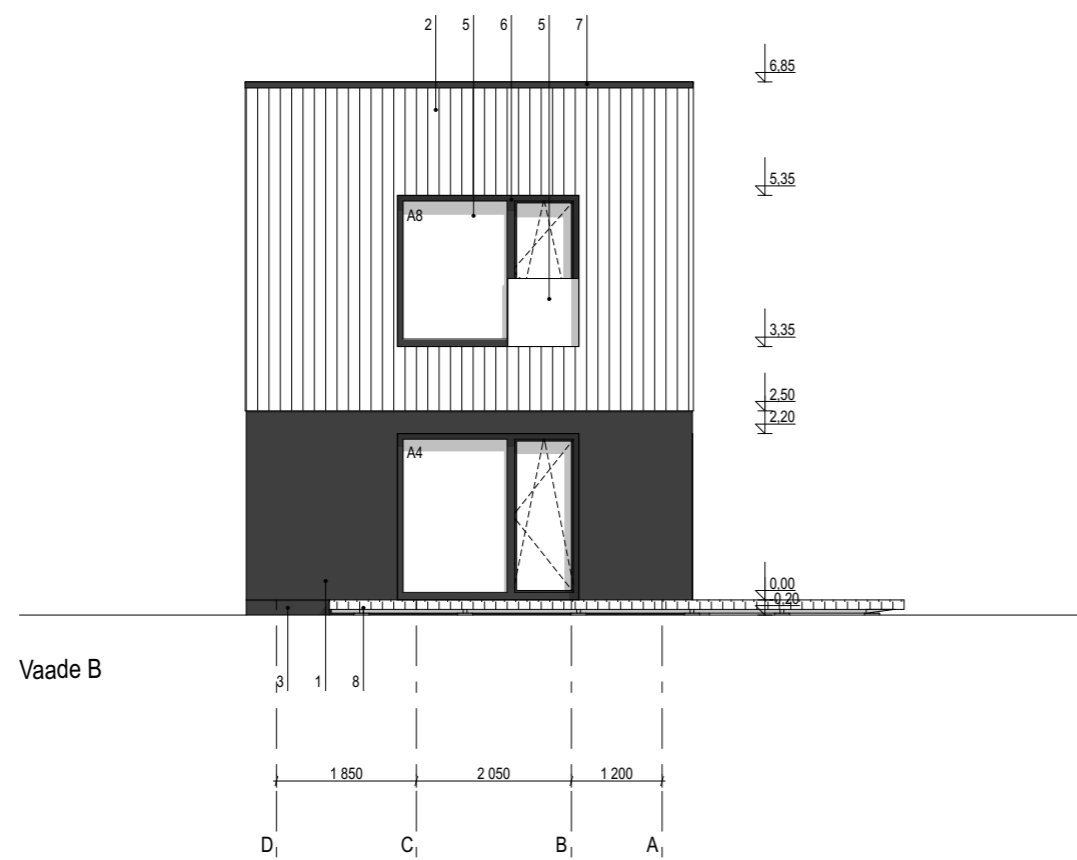
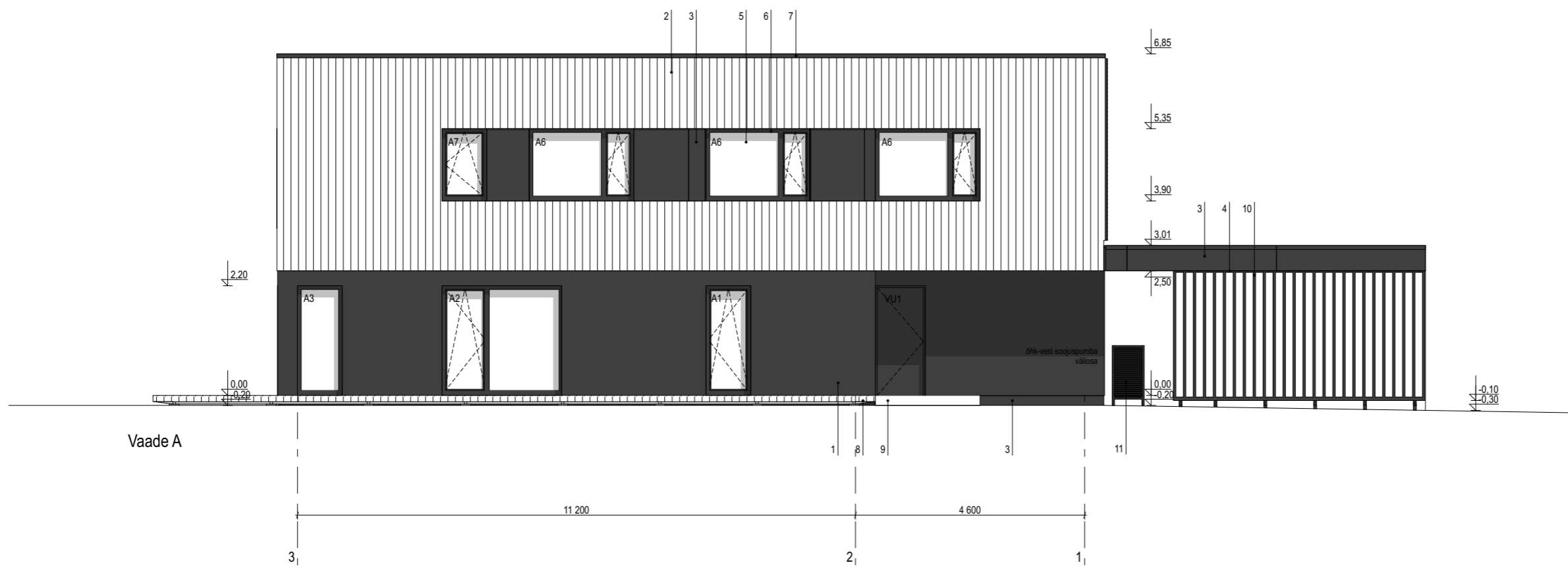
Lõige 2-2

VS01 VÄLISSEIN	400 mm
Pinnaviimistlus	
Poorbetoonplokk, Fibo plokk vastavalt konstr. osale	200 mm
Soojustus, EPS Silver	200 mm
Õhekrohv	
VS02 VÄLISSEIN	413 mm
Pinnaviimistlus	
Poorbetoonplokk, Fibo plokk vastavalt konstr. osale	200 mm
PIR soojustus, Kingspan Therna TW58	150 mm
Puitroov, vert. 21x45 mm, s600 mm	21 mm
Puitroov, horisont. 21x70 mm, s600 mm	21 mm
Puitlaudis, vert. 21x145 mm, profiil UYSK	21 mm
VS03 VÄLISSEIN	388 mm
Pinnaviimistlus	
Poorbetoonplokk, Fibo plokk vastavalt konstr. osale	200 mm
PIR soojustus, Kingspan Therna TW58	150 mm
Puitroov, vert. 28x95 mm, samm vasatavalt	28 mm
plaadid jaotusele	
Fassaadiplaat	10 mm
VS04 VUNDAMENDISEIN	385 mm
Poorbetoonplokk, Fibo plokk vastavalt konstr. osale	200 mm
Hüdroisolatsioon, sbs	
Soojustus, polüstüreen, Finnfoam FL-200	150 mm
Drenaažimatt	
Metallroovitus	25 mm
Fassaadiplaat	10 mm

SS01 SISESEIN	200 mm
Pinnaviimistlus	
Poorbetoonplokk, Fibo plokk vastavalt konstr. osale	200 mm
Pinnaviimistlus	
SS02 SISESEIN	115 mm
Pinnaviimistlus	
2xkipsplaat	25 mm
Metallkarkass, vahel mineraalvill	66 mm
2xkipsplaat	25 mm
Pinnaviimistlus	
K01 KATUSLAGI	692...827 mm
SBS-kate 2 kihti	
OSB-plaat	22 mm
Katusekalded, kalded 1:60, s400 mm,	45...180 mm
roovitus immutatud puittarinditest	
Puitroovid, 30x70 mm, s500 mm	30 mm
Tuuletõkkeplaat	13 mm
Lisaprussid, 145x45 mm, s500 mm,	145 mm
vahel klaaspuiste vill nt ISOVER Insulsafe	
Puitsarikad, 245x45 mm, s450 mm,	245 mm
vahel klaaspuiste vill nt ISOVER Insulsafe	
Aurutõkkekiile	
Puitroovitus, 22x100 mm, s400 mm	22 mm
Metallkarkass/ õhkvahe	145 mm
2xkipsplaat	25 mm
VL01 VAHELAGI	350 mm
Pörandakate	20 mm
Aluskate	
Monoliitne R/B plaat, betoon C25/30,	80 mm
plaadis kütetoru	
Hüdroisolatsioon, PE kile,	
vuugid ülekatttega teibitud	
Sammumüra isolatsiooniplaat	30 mm
R/B õõspaneel	220 mm
Pinnaviimistlus	

VL02 VAHELAGI	650 mm
Pörandakate	20 mm
Aluskate	
Monoliitne R/B plaat, betoon C25/30,	80 mm
plaadis kütetoru	
Hüdroisolatsioon, PE kile,	
vuugid ülekatttega teibitud	
Sammumüra isolatsiooniplaat	30 mm
R/B õõspaneel	220 mm
Metallkarkass/ õhkvahe	275 mm
2xkipsplaat	25 mm
Pinnaviimistlus	
PP01 PÕRAND PINNASEL	520 mm
Pörandakate	20 mm
Aluskate	
Monoliitne R/B plaat, betoon C25/30,	100 mm
plaadis kütetoru	
Ehituskile	
Soojustus, polüstüreen, EPS 100	200 mm
Radoonitõkkekiile	
Tihendatud killustikalus	200 mm
Tihendatud täitepinnas	

TÖÖNR	210603	JOONISENR	AR-6-01
JOONIS	Lõige 1-1; Lõige 2-2		
OBJEKT	Abara tn 52 eramu		
ADDRESS	Abara tn 52, Kakumäe, Tallinn, Harjumaa	KPV	16.03.2022
TELLIJA	Fredi Oja	STAADIUM	põhiprojekt
ARHITEKT	Teresa Malmre	VERSIOON	
		MÕÕTKAVA	M 1:100



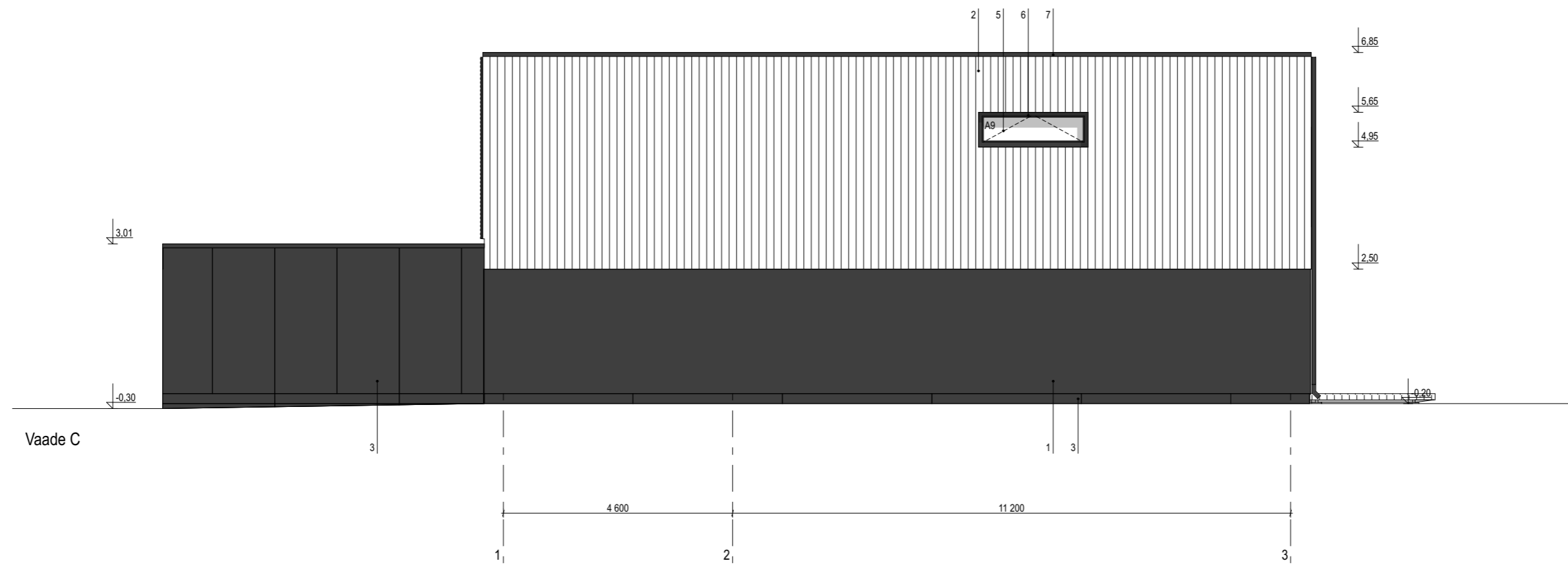
VÄLISVIIMISTLUS

1. Õhekrohv, tumehall, RAL 7021
2. Puitfassaad, vert. laudis, 21x145 mm s150 mm, TEKNOS 1804 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
3. Plaatfassaad, tsementkiudplaat, tumehall, nt Stonerex Palette, toon Lavagna (toon täpsustatakse ehituse käigus)
4. Plaatfassaad, tsementkiudplaat, valge, nt Stonerex Palette, toon Superbianco (toon täpsustatakse ehituse käigus)
5. Klaasosad, kirgas klaas
6. Uste-, aknaraamid, välisukse tahvel, must, toon RAL 9005 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
7. Detailid plekist ja metallist, must, RAL 9005 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
8. Terrass, immutatud terrassilaud (toon täpsustatakse ehituse käigus)
9. Monoliitbetoon, harjatud viimistlus
10. Puitribistik, 45x195 mm, s200 mm, tumehall, RAL 7021 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
11. Õhk-vee soojuspumba väliosa varjestuskast, puitribi 18x45 mm, s40 mm, tumehall, RAL 7021 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
12. Fassaadiribid, sõrestikprofiil 42x43 mm, s84 mm, kinnitatud nurkrauale 40x40x4 mm, toon RAL 7021

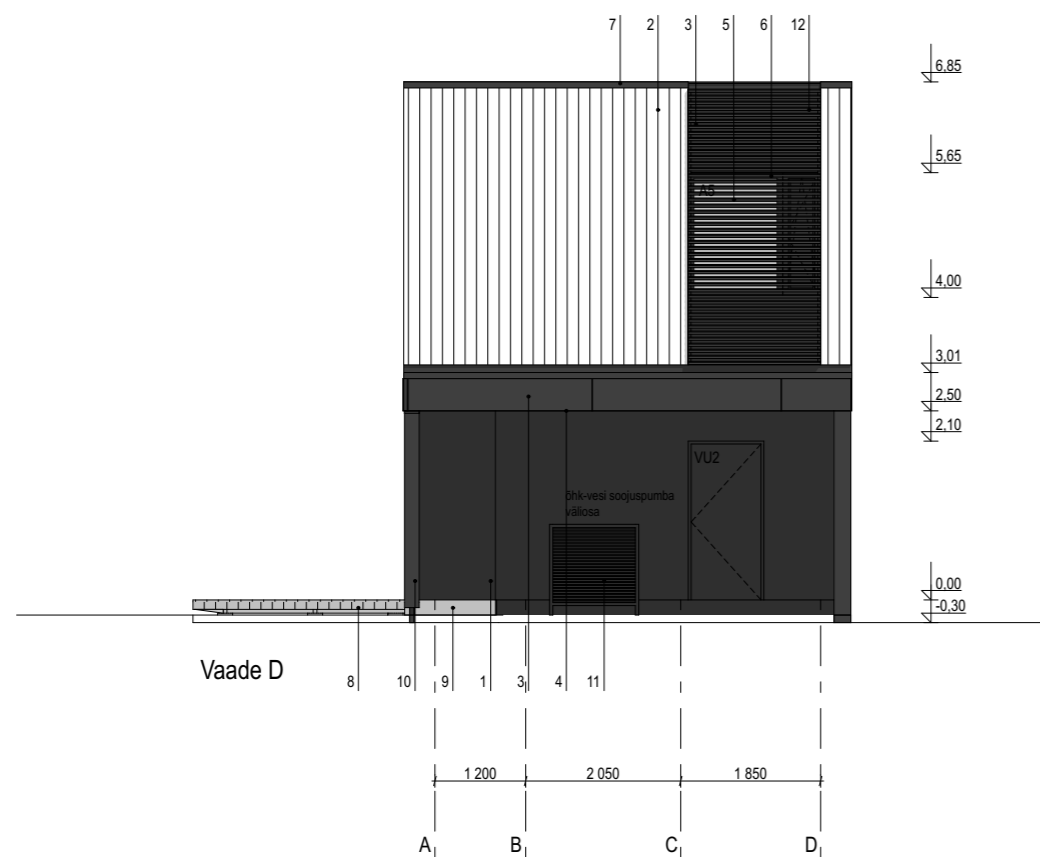
T Ö Ö N R	210603	J O O N I S E N R	AR-6-02
J O O N I S	Vaade A; Vaade B		
O B J E K T	Abara tn 52 eramu		
A A D R E S S	Abara tn 52, Kakumäe, Tallinn, Harjumaa	K P V	16.03.2022
T E L L I J A	Fredi Oja	S T A A D I U M	põhiprojekt
A R H I T E K T	Teresa Malmre	V E R S I O O N	
		M Ö Ö T K A V A	M 1:100

TERESA MALMRE ARHITEKTUUR OÜ

MTR: EEP004136 / REG.: 14473340 / TEL.: +372 5213837 / EMAIL: teresa@malmre.ee



Vaade C



Vaade D

VÄLISVIIMISTLUS

1. Õhekrohv, tumehall, RAL 7021
2. Puitfassaad, vert. laudis, 21x145 mm s150 mm, TEKNOS 1804 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
3. Plaatfassaad, tsementkiudplaat, tumehall, nt Stonerex Palette, toon Lavagna (toon täpsustatakse ehituse käigus)
4. Plaatfassaad, tsementkiudplaat, valge, nt Stonerex Palette, toon Superbianco (toon täpsustatakse ehituse käigus)
5. Klaasosad, kirgas klaas
6. Uste-, aknaraamid, välisukse tahvel, must, toon RAL 9005 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
7. Detailid plekist ja metallist, must, RAL 9005 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
8. Terrass, immutatud terrassilaud (toon täpsustatakse ehituse käigus)
9. Monoliitbetoon, harjatud viimistlus
10. Puitribistik, 45x195 mm, s200 mm, tumehall, RAL 7021 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
11. Õhk-vee soojuspumba väliosa varjestuskast, puitribi 18x45 mm, s40 mm, tumehall, RAL 7021 (toon täpsustatakse ehituse käigus)
12. Fassaadiribid, sõrestikprofiil 42x43 mm, s84 mm, kinnitatud nurkrauale 40x40x4 mm, toon RAL 7021

T Ö Ö N R	210603	J O O N I S E N R	AR-6-03
J O O N I S	Vaade C; Vaade D		
O B J E K T	Abara tn 52 eramu		
A A D R E S S	Abara tn 52, Kakumäe, Tallinn, Harjumaa	K P V	16.03.2022
T E L L I J A	Fredi Oja	S T A A D I U M	põhiprojekt
A R H I T E K T	Teresa Malmre	V E R S I O O N	
		M Ö Ö T K A V A	M 1:100

TERESA MALMRE ARHITEKTUUR OÜ

MTR: EEP004136 / REG.: 14473340 / TEL.: +372 5213837 / EMAIL: teresa@malmre.ee