



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND TARTU KOLLEDŽ

MAAKIVIST MÜÜRITISE SOOJUSTUSLAHENDUSTE
VÕRDLUS JA KATUSEKONSTRUKTSIOONI
KANDEVÕIME ARVUTUSED SEPA TALU LAUDA
NÄITEL

THE COMPARISON OF DIFFERENT FIELDSTONE WALL INSULATIONS AND
THE LOAD CAPACITY CALCULATIONS FOR ROOF CONSTRUCTION BASED ON
SEPA FARM BARN

INSENERIÕPPE LÕPUTÖÖ

Juhendaja: Illimar Kalk
Üliõpilane: Ingrid Pöder
122409EAEI
Üliõpilase meiliaadress: ingridpoder10@hotmail.com
Õppekava nimetus: Tööstus- ja tsiviilehitus spetsialiseerumisega
ehitiste restaureerimisele

Tartu 2017

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

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood:

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: (allkiri)

ABSTRACT

Tallinn University of Technology Tartu College

Author: Põder I.

Place and date: Tartu, 2017

Supervisor: Kalk I.

Language: Estonian

The comparison of different types of fieldstone wall insulations and the load capacity calculations for roof construction based on Sepa farm barn

63 pages 23 figures 11 tables 1 appendix 1 binding

The theme of this Master's thesis is reconstruction of barn into a dwelling based on Sepa farm barn. Part of the building has tall fieldstone plinth. It is essential for the owner to maintain the fieldstone plinth and exhibit the masonry in exterior or interior architecture. The building under reconstruction is planned to have two floors. Second floor is designed as an attic floor.

In the first part of the thesis heat transfer calculation are performed for building envelope. Special emphasis is on fieldstone plinth insulation solution, where three different insulation materials are compared: polyisocyanurate (PIR), mineral wool and calciumsilicate (CaSi) insulation. In the comparison PIR board and mineral wool are used on the exterior and CaSi board on the interior of the masonry. Thermal conductivity, material cost and installation method were compared. Glaser method was used to assess the risk of interstitial condensation due to water vapour diffusion. Calculations showed risk of condensation when using CaSi board in the interior surface of the masonry. Taken into consideration the four aspects it was decided to use PIR- board as the final insulation solution.

In the second part of the thesis load capacity calculations for the new timber roof construction are performed. The roof pitch was made more steep as living spaces are planned on the attic floor. The roof construction consists of rafters and collar beams. Collar beam ties opposite rafters together in the upper part of the roof construction. Ceiling joists connect the lower ends of rafters to prevent them from spreading and forcing the walls apart. The cross-section of the roof rafters is 50x200 mm and the rafters are placed with 600 mm span. The cross section of the ceiling joists is 75x200 mm and joists are placed with 300 mm span.

Keywords: fieldstone masonry, condensation, insulation materials

SISUKORD

ABSTRACT	2
TÄHISED JA LÜHENDID	6
SISSEJUHATUS	9
1. VÄLISPIIRETE SOOJAKADUDE ARVUTAMINE	11
1.1. Hoone soojusjuhtivuse arvutamine	11
1.1.1 Soojuslikult homogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse arvutusmeetod.....	11
1.1.2 Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse arvutusmeetod.....	12
1.1.3 Põrand pinnasel soojusjuhtivus	13
1.1.4 Välisavatäidete soojusenergiakadude arvutamine	16
1.1.5 Palkseina soojusjuhtivus.....	17
1.1.6 Katuslae ja pööningu vahelae soojusjuhtivus.....	19
1.1.7 Välisseina difusiooni arvutused.....	21
1.1.8 Maakivist müüritise soojusjuhtivus välispidisel soojustamisel PIR-plaadiga	23
1.1.9 Maakivist müüritise soojusjuhtivus välispidisel soojustamisel mineraalvillplaadiga Isover FS5+	26
1.1.10 Maakivist müüritise soojusjuhtivus seespidisel soojustamisel CaSi-plaadiga	28
1.2. Hoone aastane soojusenergia kulu arvestades kraadpäevi.....	30
1.3. Analüüs ja järeldus.....	32
2. KOORMUSTE JA PUITKONSTRUKTSIOONIDE KANDEVÕIME ARVUTUSED	34
2.1 Üldosa	34
2.1.1 Arvutusmeetodi põhimõte	34
2.2 Koormused.....	36
2.2.1 Omakaalukoormus.....	36

2.2.2	Lumekoormus	38
2.2.3	Tuulekoormus	39
2.3	Puitkonstruktsioonide kandevõime kontroll	40
2.3.1	Katusekonstruktsioonid	40
2.3.2	Sarikale mõjuvad sisejõud ja pingedeformatsioonid	45
2.3.3	Sarika kandevõime kontroll survele koos paindega	48
2.3.4	Sarika kandevõime kontroll põikjõule	52
2.3.5	Penni kandevõime kontroll survele koos paindega	53
2.3.6	Vahelaetalale mõjuvad sisejõud ja pinged	55
2.3.7	Vahelaetala kandevõime kontroll tõmbele koos paindega	56
2.3.8	Vahelaetala kandevõimekontroll põikjõule	57
2.3.9	Vahelaetala kontroll kasutuspiiriseisundis	58
	KOKKUVÕTE	60
	KASUTATUD KIRJANDUS	62
	LISAD	64
	Lisa 1. Graafiline osa	65

TÄHISED JA LÜHENDID

Ladina suurtähed

A	ristlõikepindala (mm^2)
B'	põranda tunnusmõõde (m)
C_e	avatustegur
C_t	soojustegur
$E_{0,05}$	elastsusmooduli 5 % väärtus (N/mm^2)
$E_{0,mean}$	elastsusmooduli keskvärtus (N/mm^2)
F_d	koormuse arvutuslik väärtus (N)
F_k	koormuse normatiivne väärtus (N)
G_k	alaliskoormuse normatiivne väärtus
$I_{y(z)}$	inertsimoment $y(z)$ -telje suhtes (mm^4)
M	paindemoment (Nm)
N	normaaljõud (N)
Q_k	muutuvkoormuse normatiivne väärtus
R	soojuslikult homogeensete kihtidega piirdetarindi soojustakistus ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_T	soojuslikult mittehomoogensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_T'	mittehomoogensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus ülemine piirväärtus ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_T''	mittehomoogensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus alumine piirväärtus ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_{si}	piirde sisepinna soojustakistus ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_{se}	piirde välispinna soojustakistus ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_f	põranda soojustakistus ($\text{m}^2\text{K/W}$)
U	piirde soojusjuhtivus ($\text{W/m}^2\text{K}$)
V	nihkejõud, põikjõud (N)
$W_{y(z)}$	vastupanumoment peatelje suhtes (mm^3)
X_k	tugevusomaduse normatiivne väärtus (N/mm^2)
X_d	tugevusomaduse arvutuslik väärtus (N/mm^2)

Ladina väiketähed

b	laius (mm)
b_{ef}	efektiivne laius (mm)
c_p	välisrõhutegur
d_t	põranda ekvivalentpaksus (m)
$f_{c,0,d}$	arvutuslik survetugevus pikikiudu (N/mm^2)
$f_{c,0,k}$	normatiivne survetugevus pikikiudu (N/mm^2)
$f_{c,90,d}$	arvutuslik survetugevus ristikiudu (N/mm^2)
$f_{c,90,k}$	normatiivne survetugevus ristikiudu (N/mm^2)
$f_{m,y(z),d}$	arvutuslik paindetugevus $y(z)$ -telje suhtes (N/mm^2)
$f_{m,k}$	normatiivne paindetugevus (N/mm^2)
$f_{t,0,d}$	arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu (N/mm^2)
$f_{t,0,k}$	normatiivne tõmbetugevus pikikiudu (N/mm^2)
$f_{v,d}$	arvutuslik nihketugevus (N/mm^2)
$f_{v,k}$	normatiivne nihketugevus (N/mm^2)
h	kõrgus (mm)
$i_{y(z)}$	inertsiraadius $y(z)$ -telje suhtes (mm)
$k_{c,y(z)}$	ebastabiilsust arvestav tegur
k_{cr}	pragunemistegur nihkekandevõime jaoks
k_{def}	deformatsioonitegur
k_h	ristlõike kõrguse tegur
k_{mod}	koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur
$k_{y(z)}$	ebastabiilsustegur
l_{ef}	efektiivne pikkus (mm)
q_p	tippkiirusrõhk (kN/m^2)
s_k	normatiivne lumekoormus maapinnal (kN/m^2)
z_e	arvutuskõrgus välise tuulekoormuse määramiseks (m)
w	tuulerõhk (kN/m^2)
w_{inst}	hetkeline läbipaine (mm)
$w_{net,fin}$	lõplik netoläbipaine (mm)

Kreeka väiketähed

λ	materjali sooja-erijuhtivus (W/mK)
β_c	elementide muljumistugevuste suhe
ϕ	konstruktsiooni soojakadu (W/K)
γ_G	alaliskoormuse osavarutegur
γ_M	materjali omaduse osavarutegur
γ_Q	muutuvkoormuse osavarutegur
$\lambda_{rel,y}$	suhteline saledus, mis vastab paindele y-telje suhtes
λ_y	saledus, mis vastab paindele y-telje suhtes
μ_i	lumekoormuse kujutegur
$\sigma_{c,0,d}$	arvutuslik survepinge pikikiudu (N/mm ²)
$\sigma_{m,y(z),d}$	arvutuslik paindepinge y(z)-telje suhtes (N/mm ²)
$\sigma_{t,0,d}$	arvutuslik tõmbepinge pikikiudu (N/mm ²)
τ_d	arvutuslik nihkepinge (N/mm ²)
ψ_0	muutuva koormuse kombinatsioonitegur

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö teemaks on Jõgevamaal Tabivere vallas Reinu külas Sepa talus asuva lauda rekonstrueerimine elumajaks. Selle umbes 250-aastase talukompleksi juurde kuulusid lisaks laudale rehielamu koos hobusetalliga, ait koos sealaudaga, kivikelder ja suitsusaun. Laut koos maakivikeldriga on ainukesed algupärased ehitised, mis on veel säilinud.

Töö on autorile isiklikult huvi pakkuv, kuna tegemist on tema enda maakohas asuva hoonega. Soov on rekonstrueerida laut elumajaks, säilitades talle omane kõrge maakivist sokkel, mis on 1,5 m kõrgune ja 0,6 m laiune ning ümbritseb ristkülikukujuliselt hoone loomalauda osa. Kohe loomalauda kõrval asub küün, mis on samuti plaanis ümber ehitada ja kasutusele võtta eluruumidena.

Päikese, tuule ja vihma mõjul on müüritise kividevahelised vuugid tühjaks pudenenud ja seetõttu on osad kivid müüritisest välja kukkunud. Rekonstrueerimise käigus tuleks anda hinnang müüritise praegusele seisukorrale ning teostada vajalikud tööd taastamiseks (vuukide täitmine, müüritise tugevdamine). Kuna on soov eksponeerida maakive hoone interjööris või eksterjööris, siis tuleb leida sobiv soojustuslahendus, et soojakaod läbi piirde väheneksid.

Paikvaatluse tulemusel on näha, et sokli peal asuvad rõhtpalkseinad on mädanik- ja putukkahjustustega ning hoone idapoolne sein on silmnähtavalt deformeerunud. Seetõttu vahetatakse rekonstrueerimise käigus palgid välja. Praeguse küüni osa puitkarkass-konstruktsioon vahetatakse samuti välja palkseina vastu, et oleks tagatud planeeritava katusekonstruktsiooni ühtlane vajumine.

Hoone katusekatteks on eterniit, mille all on vana puitlaastust kattekiht. Olemasolev katusekonstruktsioon lammutatakse, kuna katusealusele pinnale on planeeritud eluruumid ning lisaruumi tekitamiseks tuleb muuta katusekallet järsemaks. Hoone maalähedase ilme säilitamiseks kasutatakse uue katusekattena laastkatet.

Käesoleva lõputöö esimeses osas pakutakse välja soojustuslahendused välispiiretele ja teostatakse soojusjuhtivuse arvutused. Maakivist müüritise soojustamisel võrreldakse

kolme erineva soojustusmaterjali omadusi ja maksumust. Glaseri meetodi abil kontrollitakse vee kondenseerumise riski piirdes.

Töö teises osas kontrollitakse katuskonstruktsiooni tüüpse sarika ja penni kandevõimet ning lisaks kõige enam koormatud vahelaetala kandevõimet. Kõige suurema sildeavaga vahelaetaladel on kontrollitud deformatsioonide jäämist lubatud piiridesse.

Lisades on esitatud projekti graafilise osa joonised (vaated, plaanid, lõiked ja sokli sõlmed).

1. VÄLISPIIRETE SOOJAKADUDE ARVUTAMINE

Esimeses osas on hoone välispiiretele teostatud soojusjuhtivuse arvutused. Maakivist müüritise soojustamisel võrreldakse kolme erineva soojustusmaterjali soojusjuhtivust. Esimeses lahenduses paigaldatakse PIR-plaat müüritise välispinnale, teises lahenduses paigaldatakse mineraalvillaplaat samuti välispinnale ning kolmandas lahenduses paigaldatakse CaSi-plaat müüritise sisepinnale. Lisaks on kontrollitud veeauru kondenseerumise riski antud lahenduste puhul.

1.1. Hoone soojusjuhtivuse arvutamine

Hoone välispiirete soojakaod on arvutatud EVS-EN ISO 13370:2008 [1] ja EVS 908-1:2016 [2] põhjal. Arvutustes ei ole arvestatud õhupiludest, külmasildadest ja ventilatsioonist tulenevaid soojakadusid, sest kõigi soojustuslahenduste korral jäävad need samasse suurusjärku. Piirete pindade soojustakistused on esitatud tabelis 1.1.

Tabel 1.1. Piirde pindade soojustakistused piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamisel [2]

	Soojusvoolu suund		
	Üles	Horisontaalne	Alla
$R_{si}, (m^2 \cdot K)/W$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}, (m^2 \cdot K)/W$	0,04	0,04	0,04

Piirde soojusjuhtivus arvutatakse valemiga [2]:

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad (1.1)$$

kus R_T – piirde kogusoojustakistus, m^2K/W .

1.1.1 Soojuslikult homogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse arvutusmeetod

Soojuslikult homogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus arvutatakse valemiga [2]:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \quad (1.2)$$

kus R_{si} – piirde sisepinna soojustakistus, m^2K/W ;

R_1, R_2 – materjalikihi arvutuslik soojustakistus, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$;

R_{se} – piirde välispinna soojustakistus, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$.

Soojuslikult homogeenise materjalikihi soojustakistus arvutatakse valemiga [2]:

$$R = \frac{d}{\lambda_d}, \quad (1.3)$$

kus λ – materjali sooja-erijuhtivus W/mK ;

d – materjalikihi paksus, m.

1.1.2 Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse arvutusmeetod

Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus arvutatakse valemiga [2]:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}, \quad (1.4)$$

kus R_T' – mittehomogeensete kihtiga piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$;

R_T'' – mittehomogeensete kihtiga piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$.

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus arvutatakse valemiga [2]:

$$R_T' = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}, \quad (1.5)$$

kus A_a, \dots, A_n – piirde üksikute sektsioonide osapindalad;

R_{Ta}, \dots, R_{Tn} – piirde üksikute sektsioonide soojustakistused.

Piirde ühe sektsiooni soojustakistus arvutatakse valemiga 1.2 ja 1.3

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus R_T'' arvutatakse valemiga [2]:

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \quad (1.6)$$

kus R_1, R_x – soojuslikult homogeenise/ mittehomogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$.

Soojuslikult mittehomogeense materjalikihi soojustakistus arvutatakse valemiga [2]:

$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}}, \quad (1.7)$$

kus A_{xa}, \dots, A_{xn} – mittehomoogeense kihi üksikute osade osapindalad, m²;
 R_{xa}, \dots, R_{xn} – mittehomoogeense kihi üksikute osade soojustakistused, mis arvutatakse valemiga 1.3.

Maksimaalne suhteline arvutusviga arvutatakse valemiga [2]:

$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \cdot 100\%, \quad (1.8)$$

kusjuures $e \leq 20\%$

Konstruksiooni soojakaod arvutatakse valemiga [2]:

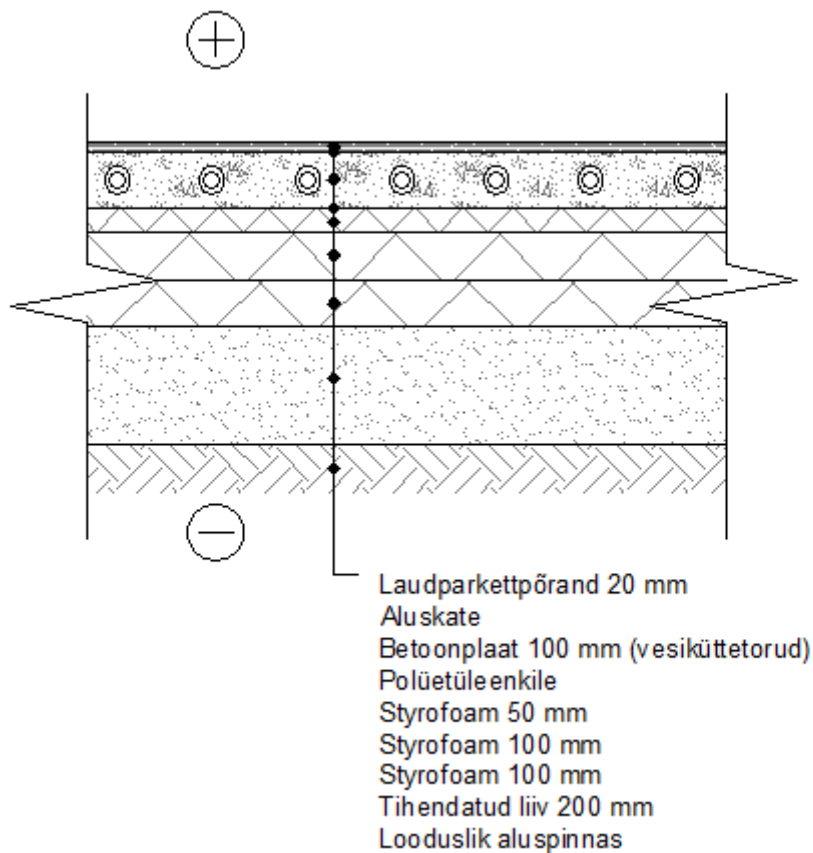
$$\Phi = A \cdot U, \quad (1.9)$$

kus A – välispiirde pindala, m²,

U – välispiirde soojusjuhtivus, W/m²K.

1.1.3 Põrand pinnasel soojusjuhtivus

Arvutused on tehtud standardi EVS-EN ISO 13370:2008 [1] põhjal. Joonisel 1.1 on kirjeldatud põranda lõige.



Joonis 1.1. Põrand pinnasel lõige

Põranda tunnusmõõde B' arvutatakse valemiga:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}, \quad (1.10)$$

kus A – põranda pindala, m^2 ;
 P – põranda välisperimeeter, m .

Põranda ekvivalentne paksus arvutatakse valemiga:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (1.11)$$

kus w – seinte kogupaksus koos seina kõikide kihtidega;

λ – külmumata pinnase soojuseri juhtivus, W/mK ;

R_{si} – põranda sisepinna soojustakistus, W/mK ;

R_{se} – pöranda välispinna soojustakistus, W/mK ;

R_f – pörandaplaadi soojustakistus, kaasa arvatud kõik soojustuskihid plaadi peal, all ja vahel, ning pörandakattematerjali soojustakistus, W/mK .

Kui $d_t \geq B'$, siis on tegemist hästi soojustatud pörandaga, mille soojusjuhtivus arvutatakse valemiga:

$$U_p = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad (1.12)$$

Antud hoone puhul on hoone pöranda soojusjuhtivuse arvutused tehtud kahele hoone osale, mida eraldab 0,6 m paksune maakivist müüritis.

Pöranda pindala:

$$A_1 = 8,3 \cdot 6,6 = 54,78 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 6,82 \cdot 4,00 = 27,28 \text{ m}^2$$

Pöranda välisperimeetri pikkus:

$$P_1 = 2 \cdot 8,3 + 6,6 = 23,20 \text{ m}$$

$$P_2 = 2 \cdot 4 + 6,82 = 14,82 \text{ m}$$

Tunnusmõõde B' arvutatakse valemiga 1.10:

$$B'_1 = \frac{54,78}{0,5 \cdot 23,20} = 4,72 \text{ m}$$

$$B'_2 = \frac{27,28}{0,5 \cdot 14,82} = 3,68 \text{ m}$$

Pöranda soojustakistus arvutatakse vastavalt valemile 1.2 ja 1.3:

$$R_f = \frac{0,02}{0,18} + \frac{0,1}{2,5} + \frac{0,25}{0,035} = 7,29 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Soojuserijuhtivus külmumata liiva puhul saadakse standardist EVS:EN EVS-EN ISO 13370:2008 [1] lisast G:

$$\lambda = 2,0 \text{ W/(mK)}$$

Seina kogupaksus koos viimistluskihtidega:

$$w_1 = 0,729 \text{ m}$$

$$w_2 = 0,603 \text{ m}$$

Põrandate välis- ja sisepinna soojustakistused saadakse tabelist 1.1:

$$R_{si} = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Põrandate ekvivalentne paksus arvutatakse valemiga 1.11:

$$d_{t1} = 0,729 + 2,0 \cdot (0,17 + 7,29 + 0,04) = 15,74 \text{ m}$$

$$d_{t2} = 0,603 + 2,0 \cdot (0,17 + 7,29 + 0,04) = 12,55 \text{ m}$$

Mõlemal juhul on $d_t > B'$, seega on tegemist hästi soojustatud põrandatega, mille soojusjuhtivus arvutatakse valemiga 1.12:

$$U_{p1} = \frac{2,0}{0,457 \cdot 4,72 + 15,74} = 0,11 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_{p2} = \frac{2,0}{0,457 \cdot 3,68 + 12,55} = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Soojakadu läbi põranda arvutatakse valemiga 1.9:

$$\Phi_{põrand} = 54,78 \cdot 0,11 + 27,28 \cdot 0,14 = 9,96 \text{ W/K}$$

1.1.4 Välisavatäidete soojusenergiakadude arvutamine

Akendeks on valitud Viking Window poolt toodetav Viking SW14 tüüpi väljapoole avatav puitaken, mille $U_w = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$, terrassi ukseks on samuti Viking Window poolt toodetav 3-kordse klaasiga lükanduks, mille $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Katuseakendeks on valitud Velux tootekataloogi kuuluv altpoolt avatav Standard Plus katuseaken, mille $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Soojakadu läbi akende arvutatakse valemiga 1.9:

$$\Phi_{aken} = 13,52 \cdot 0,72 + 1,0 \cdot 3,55 + 1,3 \cdot 6,44 = 21,66 \text{ W/K}$$

Välisukseks on valitud samuti Viking SW14 tüüpi välisukse, mille $U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Soojakadu läbi välisukse arvutatakse valemiga 1.11:

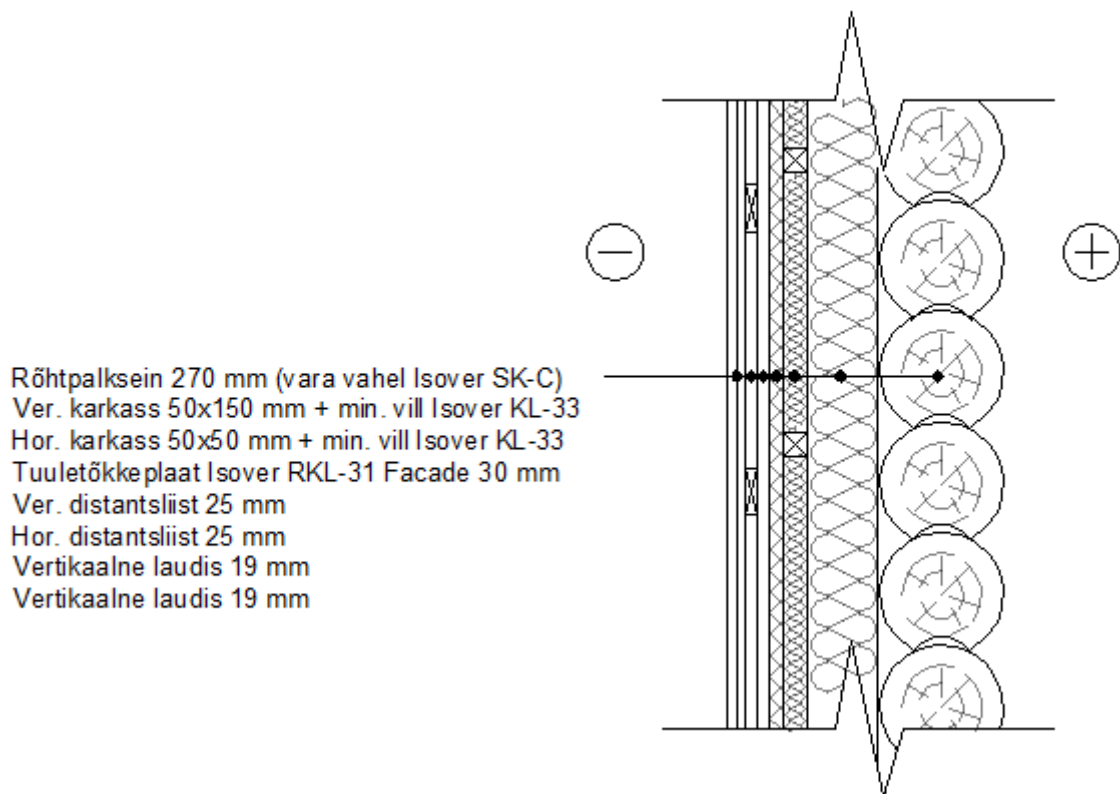
$$\Phi_{aken} = 1,85 \cdot 0,7 = 1,30 \text{ W/K}$$

Välisavatäidete soojusenergiakadu kokku:

$$\Phi_{\text{avatäited}} = 21,66 + 1,3 = 22,95 \text{ W/K}$$

1.1.5 Palkseinä soojusjuhtivus

Hoone palksein on soojustatud väljastpoolt mineraalvillaga. Vill on paigaldatud puitkarkassi vahele, mis kinnitatakse liugkinnititega palkseinä külge. Liugkinnitid lasevad palkseinäl vajuda tarindust rikkumata. Paigaldades soojustuse palkseinä välisküljele on võimalik saavutada parem seinä soojapidavus ning niiskustehniline toimivus, kuid samas eksponeerida palkseinä seespool. Välispidise soojustuse kasuks otsustati ka seetõttu, et vähendada vee kondenseerumise riski konstruktsioonis. Liigniiskuse tekkimise korral piirdes, on sellel võimalik kiiresti välja kuivada. Piirde lõige on kirjeldatud joonisel 1.2.



Joonis 1.2. Soojustatud palkseinä lõige

Välispinna soojustakistus (R_{se}) võrdsustatakse sisepinna soojustakistusega (R_{si}), kuna laudise ja RKL-i vahele jääv õhkvahe suurendab piirdetarindi soojustakistust (vt. Joonis 1.2 ja tabel 1.1).

Antud konstruktsiooni puhul on tegemist soojuslikult mittehomogeensete kihtidega piirdetarindiga, mille kogusoojustakistus arvutatakse valemiga 1.4.

Materjalikihtide sooja-erijuhtivused:

$$\lambda_{RKL}=0,031 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{Isover KL-33}}=0,033 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{puit}}=0,13 \text{ W/mK}$$

Konstruktsiooniga risti paiknevate kihtide soojustakistused arvutatakse valemiga 1.2:

$$R_1 = 0,13 + \frac{0,27}{0,13} + \frac{0,15}{0,033} + \frac{0,05}{0,033} + \frac{0,03}{0,031} + 0,13 = 9,37 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_2 = 0,13 + \frac{0,27}{0,13} + \frac{0,15}{0,13} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,03}{0,031} + 0,13 = 4,84 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_3 = 0,13 + \frac{0,27}{0,13} + \frac{0,15}{0,033} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,03}{0,031} + 0,13 = 8,23 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_4 = 0,13 + \frac{0,27}{0,13} + \frac{0,15}{0,13} + \frac{0,05}{0,033} + \frac{0,075}{0,031} + 0,13 = 5,97 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus arvutatakse valemiga 1.5:

$$R_T' = \frac{0,55 + 0,05 + 0,55 + 0,05}{\frac{0,55}{9,37} + \frac{0,05}{4,84} + \frac{0,55}{8,23} + \frac{0,05}{5,97}} = 8,32 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Mittehomogeensete materjalikihtide soojustakistused arvutatakse valemiga 1.7:

50mm soojustuse/ sõrestiku soojustakistus:

$$R_5 = \frac{0,55 + 0,05}{\frac{0,05}{0,033} + \frac{0,05}{0,13}} = 1,22 \text{ m}^2\text{K/W}$$

150mm soojustuse/ sõrestiku soojustakistus:

$$R_6 = \frac{0,55 + 0,05}{\frac{0,55}{0,033} + \frac{0,05}{0,13}} = 3,65 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus arvutatakse valemiga 1.6:

$$R_T'' = 0,13 + \frac{0,27}{0,13} + 1,22 + 3,65 + \frac{0,03}{0,031} + 0,13 = 8,17 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus arvutatakse valemiga 1.4:

$$R_T = \frac{8,32 + 8,17}{2} = 8,25 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Suhteline arvutusviga arvutatakse valemiga 1.8:

$$e = \frac{8,32 - 8,17}{2 \cdot 8,25} = 1\%$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus arvutatakse vastavalt valemile 1.1:

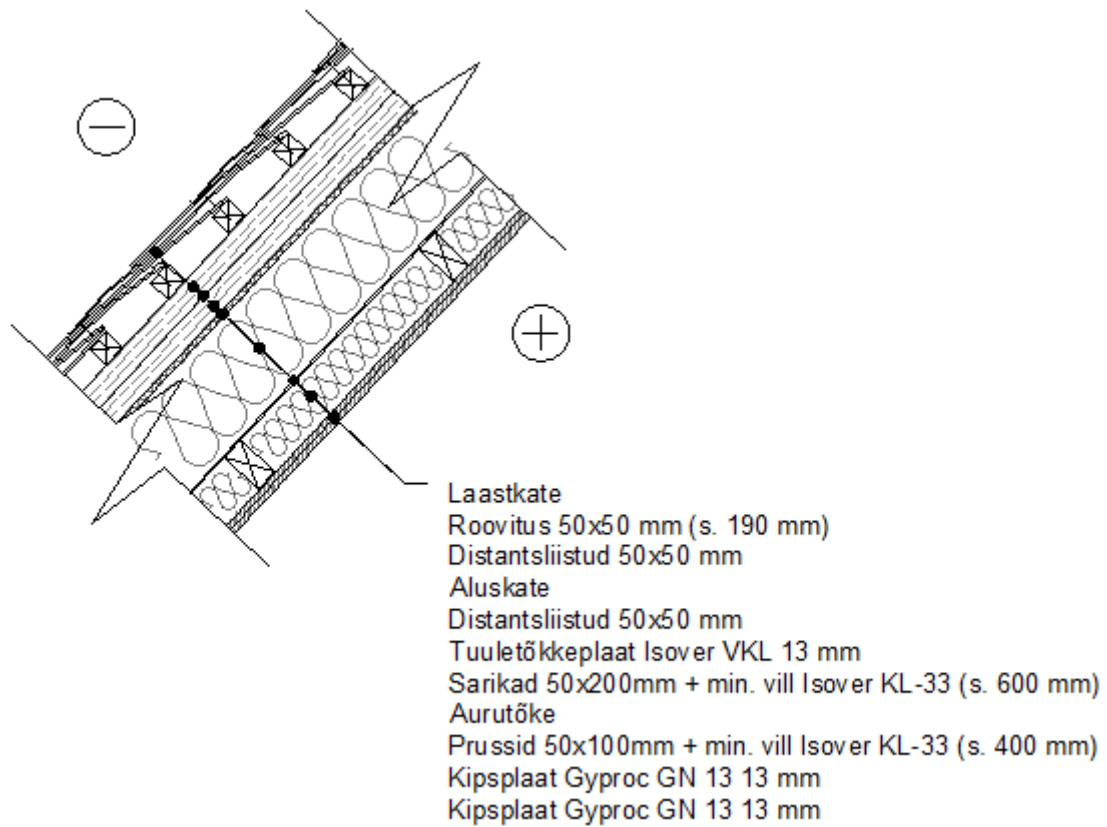
$$U = \frac{1}{8,25} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Soojakadu läbi soojustatud palkseina arvutatakse valemiga 1.9:

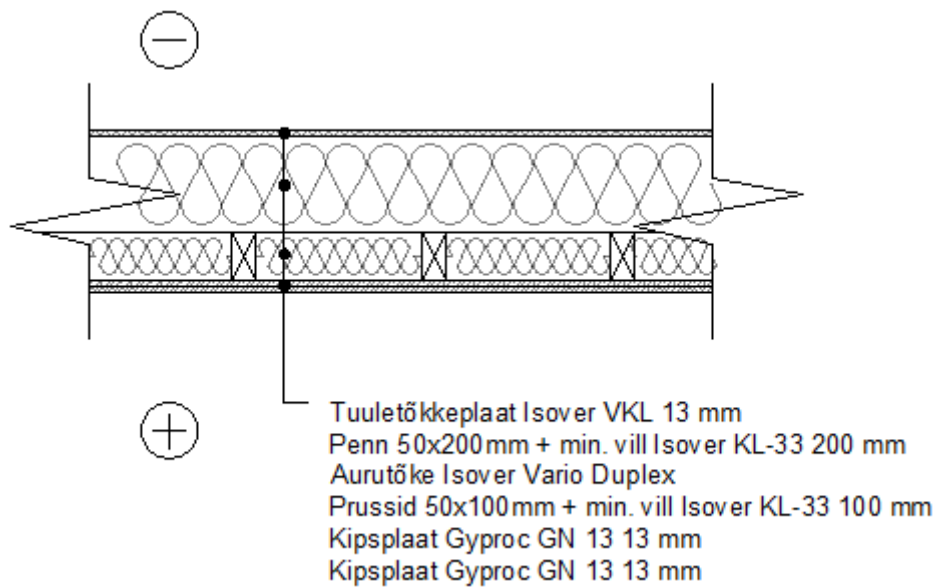
$$\Phi_{palksein} = 107,32 \cdot 0,12 = 13,01 \text{ W/K}$$

1.1.6 Katuslae ja pööningu vahelae soojusjuhtivus

Nii katuslae kui pööningu vahelae puhul on tegemist mittehomogeensete piirdetarinditega, mille kogusoojustakistus arvutatakse valemiga 1.4. Kuna arvutuskäik on sarnane soojustatud palkseina soojusjuhtivuse arvutusele, siis on nende piirete soojustakistuste ja soojusjuhtivuse väärtused esitatud kokkuvõtlikult tabelis 1.2. Katuslae ja pööningu vahelae lõiked on kirjeldatud joonisel 1.3 ja 1.4.



Joonis 1.3. Katuslae lõige



Joonis 1.4. Pööningu vahelae lõige

Materjalide sooja-erijuhtivused:

$$\lambda_{Isover\ VKL} = 0,032 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{Isover KL-33}} = 0,033 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{puit}} = 0,13 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{kipsplaat}} = 0,25 \text{ W/mK}$$

Tabel 1.2. Katuslae ja pööningu vahelae soojustakistused- ja juhtivused

	R_{si}	R_{se}	R_T'	R_T''	R_T	U
Välispiire	$\text{m}^2\text{K/W}$					$\text{W/m}^2\text{K}$
Katuslagi	0,10	0,10	7,74	8,01	7,88	0,13
Pööningu vahelagi	0,17	0,04	7,28	7,62	7,45	0,13

Piirete välispinna soojustakistus (R_{se}) ja sisepinna soojustakistus (R_{si}) saadakse tabelist 1.1. Katuslae puhu võrdsustatakse välispinna soojustakistus (R_{se}) sisepinna soojustakistusega (R_{si}), kuna laudise ja RKL-i vahele jääv õhkvahe suurendab piirdetarindi soojustakistust.

Soojakadu läbi katuslae arvutatakse valemiga 1.9:

$$\Phi_{\text{katuslagi}} = 92,38 \cdot 0,13 = 11,73 \text{ W/K}$$

Soojakadu läbi pööningu vahelae arvutatakse valemiga 1.9:

$$\Phi_{\text{vahelagi}} = 25,66 \cdot 0,13 = 3,45 \text{ W/K}$$

1.1.7 Välisseina difusiooni arvutused

Glaseri meetodiga on võimalik kindlaks teha, kas veeauru difuussel liikumisel läbi piirde tekib kondensvett ning kas tekkinud veel on võimalik välja kuivada.

Veeauru difusioon tähendab veeauru liikumist läbi tahke ehitusaine. Veeauru difusiooni iseloomustatakse difusioonikonstandiga μ , mis näitab mitu korda on antud materjali difusioonitakistus suurem kui sama paksusel seisval õhukihi. [3]

Käesolevas töös teostatakse difusiooni arvutused maakivi erinevatele soojustuslahendustele. Kondenseerumise riski arvutused on tehtud ET-2 0404-0764 [4] põhjal.

Kihi aurutakistus arvutatakse valemiga:

$$S_d = \mu \cdot s, \quad (1.13)$$

kus μ – difusioonitakistuskonstant,
 s – materjalikihi paksus, m.

Veeauru osarõhk ehk partsiaalrõhk ruumis arvutatakse valemiga:

$$p = p_s \cdot \varphi, \quad (1.14)$$

kus p_s – küllastunud auru rõhk,
 φ – relatiivne õhuniiskus.

Küllastunud auru rõhk arvutatakse valemitega:

temperatuuridel 0 kuni +30°C:

$$p_s = 288,68 \cdot \left(1,098 + \frac{\theta}{100}\right)^{8,02} \text{ ja} \quad (1.15)$$

temperatuuridel -20 kuni 0°C:

$$p_s = 4,896 \cdot \left(1,486 + \frac{\theta}{100}\right)^{12,30} \quad (1.16)$$

kus θ – temperatuur.

Küllastunud aururõhk on maksimaalne võimalik õhus sisalduva veeauru rõhk antud temperatuuril.

Materjalikihtide soojustakistused on arvutatud vastavalt valemile 1.3.

Materjalikihi temperatuuridiferents arvutatakse valemiga:

$$\Delta\theta = R_n \cdot (\theta_i - \theta_o) \cdot U, \quad (1.17)$$

kus θ_i - sisetemperatuur,
 θ_o - välistemperatuur,
 U – tarindi soojajuhtivus.

Piirde soojusjuhtivus on arvutatud valemiga 1.1.

Arvutuste juures võetakse arvesse järgnevad raamtingimused (DIN 4108-3) [4]:

Kondenseerumisperiood talvel:

- väliskliima -10°C, RH 80%
- sisekliima +20°C, RH 50%

Küllastunud aururõhk arvutatakse valemiga 1.15 ja 1.16:

temperatuuril 20°C:

$$p_s = 288,86 \cdot \left(1,098 + \frac{20}{100}\right)^{8,02} = 2338 \text{ Pa ja}$$

temperatuuril -10°C:

$$p_s = 4,689 \cdot \left(1,486 + \frac{-10}{100}\right)^{12,30} = 260 \text{ Pa}$$

Veeauru osarõhk temperatuuril 20°C arvutatakse valemiga 1.14:

$$p = 2338 \cdot 0,5 = 1169 \text{ Pa}$$

Veeauru osarõhk temperatuuril -10°C arvutatakse valemiga 1.14:

$$p = 260 \cdot 0,8 = 208 \text{ Pa}$$

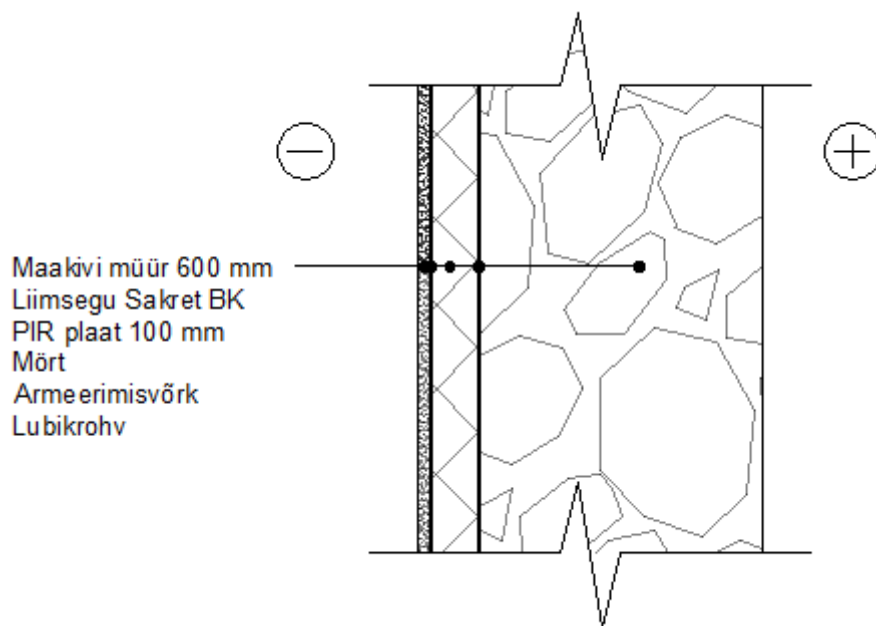
Vastavalt valemitele 1.1-1.3 ja 1.13-1.17 on koostatud maakivist müüritise soojustuslahendustele soojusjuhtivuse ja kondensvee tekkimisi riski arvutustabelid (tabel 1.3, 1.4 ja 1.5)

1.1.8 Maakivist müüritise soojusjuhtivus välispidisel soojustamisel PIR-plaadiga

Antud lahenduse puhul (vt. joonis 15) on kasutatud Recticel Eurowall 21 soojustusplaati, mis on polüisotsüanuraatplaat ehk PIR-plaat. PIR-plaadi valmistamisel kasutatakse madala soojusjuhtivusega gaase, mis omavahel reageerides moodustavad suletud rakkudega struktuuri. Suletud rakkude struktuur muudab PIR-plaadi õhutihedaks, mis omakorda muudab materjali tuule- ja niiskuskindlaks ning tagab hea soojusjuhtivuse. Antud lahenduse puhul kasutatava Recticel Eurowall 21 $\lambda_D=0,021 \text{ W}/(\text{mK})$. Siiski aja jooksul gaas eraldub materjali rakkudest ning asendub õhuga, mistõttu soojusjuhtivus natuke halveneb. Samuti on täheldatud PIR-plaadi omaduste halvenemist külmematel temperatuuridel. [5] Soojustuse valimisel tuleb tähelepanu pöörata ka sellele, et suurema aurutakistusega materjal jääks ruumi sisepinda. Kuna maakivist müüritise difuusne

veeaurutakistus ($S_d=6000$ m) on kordades suurem PIR-plaadi omast ($S_d=6$ m), on väiksem oht veeauru kondenseerumiseks, kui paigaldada soojustus müüritise välispinnale. Siiski on see oht olemas ning plaadi õhutiheduse tõttu on tekkinud veel raske välja kuivada.

PIR-plaadid paigaldatakse müüritise külge spetsiaalse soojusisolatsiooniplaatide liimimiseks mõeldud liimise seguga (nt Sakret BK), mis aitab vältida külmasildade tekkimist. Omavahel ühendatakse plaadid sulundiga, mis tagab soojustuse auru- ja tuulekindluse. Antud lahenduse puhul kasutatud ühe PIR-plaadi hind on 24€ [6].

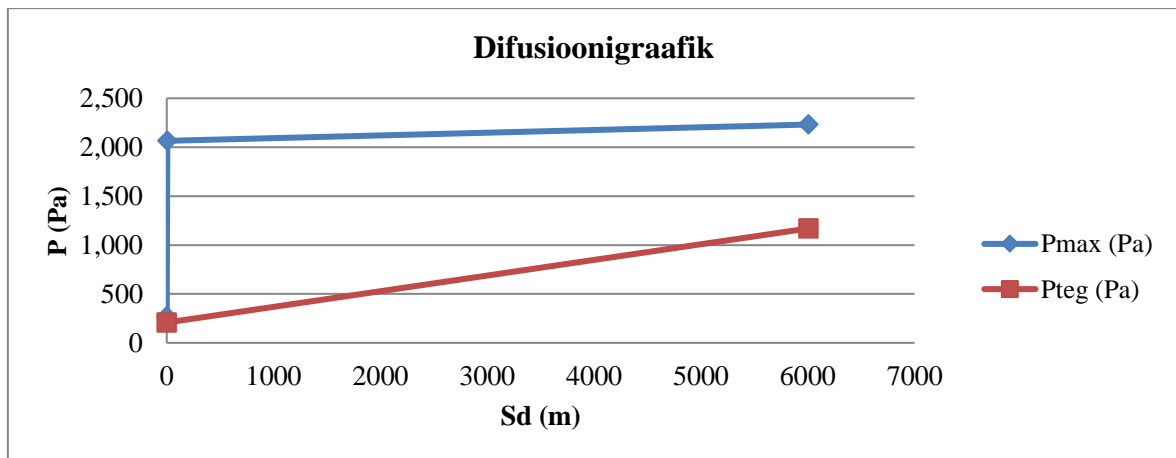


Joonis 1.5 Maakivist müüritise soojustamine välispidiselt PIR-plaadiga lõige

Piire koosneb soojuslikult homogeenetest kihtidest ning piirdetarindi kogusoojustakistus on arvutatud valemiga 1.2. Vee kondenseerumise riski arvutus on tehtud vastavalt Glaseri arvutusmeetodile. Tulemused on esitatud tabelis 1.3 ja joonisel 1.6

Tabel 1.3. Päärde soojusjuhtivus kasutades soojustamisel PIR-plaati

Seinakiht n	d_n	λ_n	R_n	μ_n	$S_{d,n}$	$\Delta\theta$	θ	p_s
	m	W/mK	m ² K/W	-	m	K	°C	Pa
Väliskihi soojaülekanne	-	-	0,04	-	-	0,23	-10	260
Lubikrohv	0,025	0,8	0,03	10	0,25	0,18	-9,77	265
PIR-plaat	0,1	0,021	4,76	60	6	27,59	-9,59	270
Maakivi müüritis	0,6	2,8	0,21	10000	6000	1,24	18,01	2065
Sisekihi soojaülekanne	-	-	0,13	-	-	0,75	19,25	2232
		R_T (m ² K/W)	5,18					
		U (W/m ² K)	0,19					



Joonis 1.6. Veeauru difusioonigraafik kasutades soojustamisel PIR-plaati.

Jooniselt 1.6 järeldub, et antud lahenduse puhul veeauru difuussel liikumisel läbi päärde kondenseerumise riski ei ole.

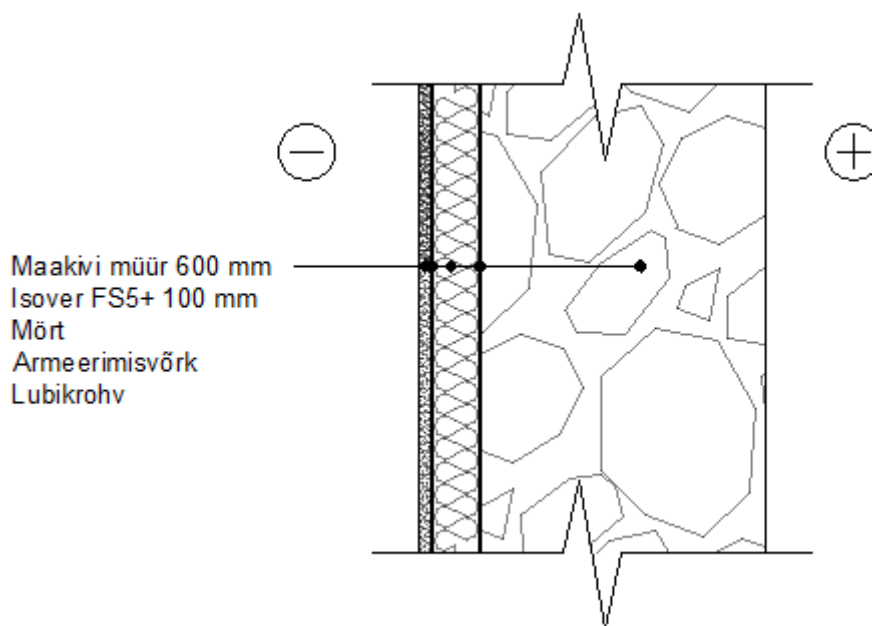
Soojakadu läbi päärde arvutatakse valemiga 1.9:

$$\Phi_{\text{maakivi+PIR}} = 26,18 \cdot 0,19 = 4,97 \text{ W/K}$$

1.1.9 Maakivist müüritise soojusjuhtivus välispidisel soojustamisel mineraalvillaplaadiga Isover FS5+

Maakivi soojustamisel mineraalvillaplaadiga (vt. Joonis 1.7 Maakivist müüritise soojustamine väljastpoolt mineraalvillaplaadiga lõige) on eeliseks mineraalvilla auruläbilaskvus, hüdrofoobsus ja madal soojusjuhtivus (Isover FS5+ $\lambda_D=0,031 \text{ W/mK}$). Auruläbilaskvus lubab veeaurul difuuselt liikuda läbi soojustuse, kuid hüdrofoobsus ei lase niiskusel materjali imenduda. Erinevalt vahtplastplaatidest ei teki mineraalvilla kasutamisel vuukide kohal krohvipragusid [7]. Mineraalvill säilitab oma kuju ja soojusjuhtivuse ka pikema aja möödudes. Itaalias läbi viidud uuringu käigus uuriti 25 aastat tagasi paigaldatud mineraalvilla omadusi, millest selgus, et selle aja jooksul oli villa soojusjuhtivus halvenenud 12%. Peamiseks soojusjuhtivuse vähenemise põhjuseks oli materjali hüdrofoobsuse vähenemine [8].

Mineraalvillaplaadid paigaldatakse müüri külge mehaaniliselt villakinnitite abil [9]. Isover FS5+ ruutmeetri hind on 11,39€ [10].

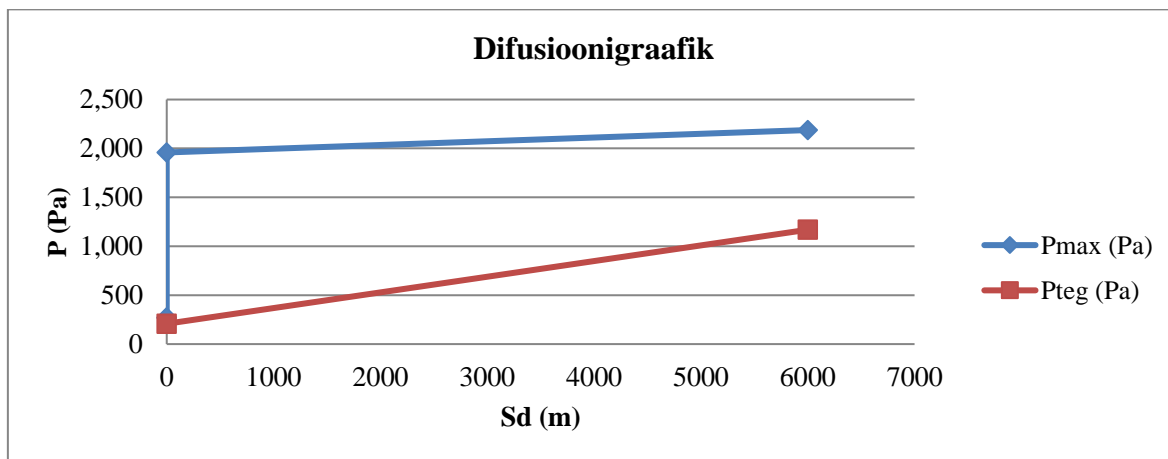


Joonis 1.7 Maakivist müüritise soojustamine väljastpoolt mineraalvillaplaadiga lõige

Piire koosneb soojuslikult homogeenestest kihtidest ning piirdetarindi kogu soojustakistus on arvatud valemiga 1.2. Vee kondenseerumisriski arvutus on tehtud vastavalt Glaseri arvutusmeetodile. Tulemused on esitatud tabelis 1.4 ja joonisel 1.8.

Tabel 1.4. Päärde soojusjuhtivus kasutades soojustamisel mineraalvillplaati

Seinakiht n	d_n	λ_n	R_n	μ_n	$S_{d,n}$	Δt	t	p_s
	m	W/mK	m ² K/W	-	m	K	°C	Pa
Väliskihi soojaülekanne	-	-	0,04	-	-	0,33	-10	260
Lubikrohv	0,025	0,8	0,03	10	0,25	0,26	-9,67	268
Mineraalvillaplaat Isover FS5+	0,1	0,031	3,23	1	0,1	26,58	-9,41	274
Maakivi müüritis	0,6	2,8	0,21	10000	6000	1,77	17,16	1958
Sisekihi soojaülekanne	-	-	0,13	-	-	1,07	18,93	2188
		R_T (m ² K/W)	3,64					
		U (W/m ² K)	0,27					



Joonis 1.8. Veeauru difusioonigraafik kasutades soojustamisel mineraalvillplaati

Jooniselt 1.8 järeldub, et antud lahenduse puhul veeauru difuussel liikumisel läbi päärde kondenseerumise riski ei ole.

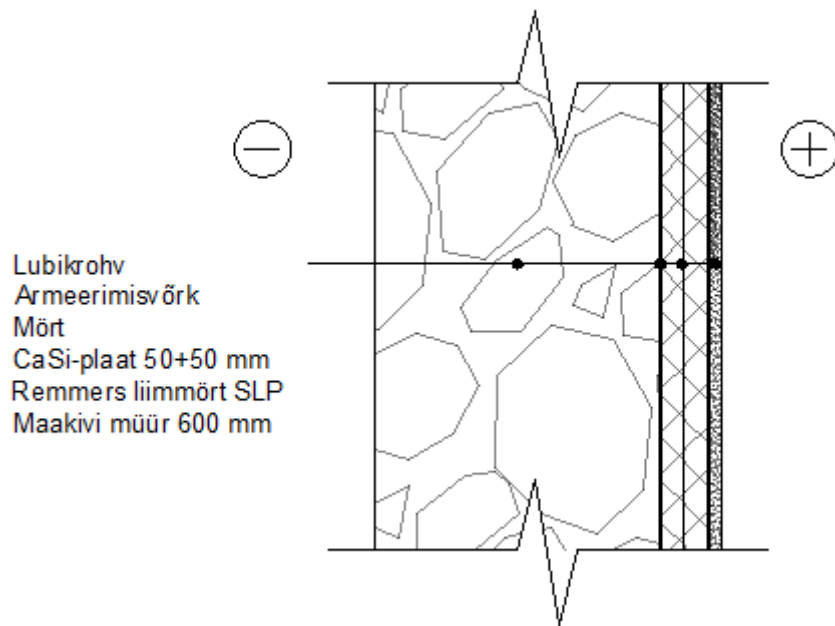
Soojakadu läbi päärde arvutatakse valemiga 1.9:

$$\Phi_{\text{maakivi}+FS5+} = 26,18 \cdot 0,27 = 7,07 \text{ W/K}$$

1.1.10 Maakivist müüritise soojusjuhtivus seespidisel soojustamisel CaSi-plaadiga

Antud lahenduse puhul on eesmärgiks säilitada maakivist müüritise arhitektuurne välisilme hoone fassaadil. Selleks on kasutatud kaltsiumsilikaatplaati Remmers SLP 50 N. Seespidine soojustamine on alati seotud suuremate riskidega, kuna veeaur hakkab kondenseeruma soojustuse külmemale pinnale. Materjali, kus kapillaarne veejuhtivus omab suurt rolli soojustusmaterjali toimivuses, nimetatakse kapillaaraktiivseks materjaliks. See tähendab, et kapillaarjõudude toimel hakkab niiskus soojustuse välispinnalt tagasi liikuma soojustuse sisepinnale, kust see difundeerub väiksema niiskussisaldusega keskkonda. Antud lahenduse puhul on kasutatud CaSi-plaati, mis on väga kapillaaraktiivne materjal: kõrge avatud poorsuse ning madala veeaurudifusioonitakistusega [11]. Niiskuskahjustuste tekkimist tõkestab ka materjali kõrge pH-tase [12]. CaSi-plaat on leidnud laialdast kasutust Kesk-Euroopas tellishoonete seespidisel soojustamisel. Eestis ei ole CaSi-plaat veel kasutust leidnud, kuid selle omadusi on testitud telliskivist koolimaja seespidisel soojustamisel, kus ta näitas oodatuid tulemusi ehk niiskustase soojustuse välispinnal ei tõusnud üle kriitilise piiri. Kapillaaraktiivne soojustusmaterjal aitab kontrollida niiskussisalduse tasakaalu konstruktsioonis ning seeläbi vähendab niiskuskahjustuste tekkimise ohtu [11].

Remmers SLP 50N CaSi-plaadid paigaldatakse seinale Remmersi enda poolt toodetava spetsiaalse liimmördiga, mis on samuti kapillaaraktiivsete omadustega, kaitstes plaati hallituse eest. [11]. Ka plaadi peale kantav viimistluskiht peab olema väikese difusioonitakistusega. Antud konstruktsioonis kasutatud Remmers SLP 50 N plaadi hind on võetud sarnasel tootel Skamotec 225 50 mm järgi ehk 34,30€/plaat [13].

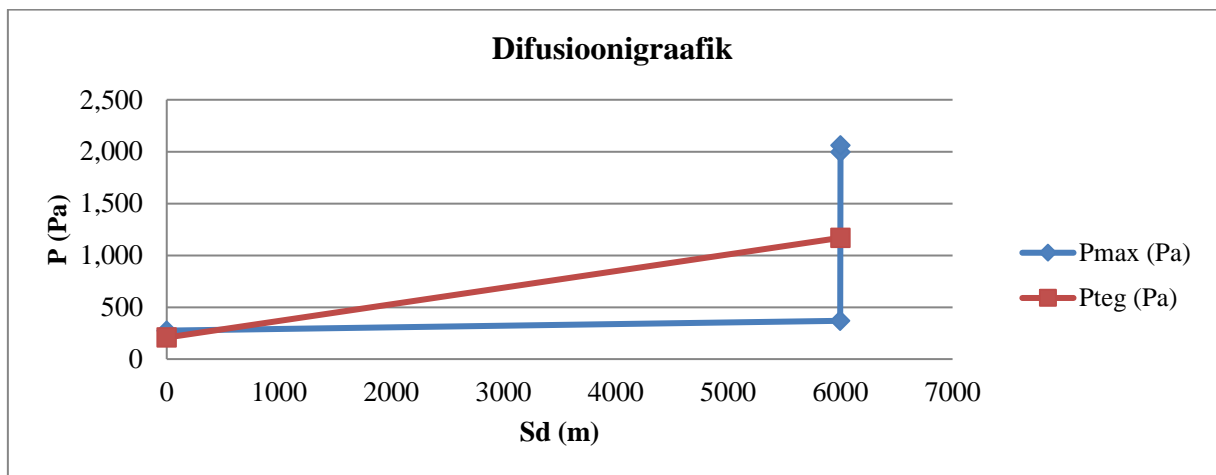


Joonis 1.9. Maakivist müüritise soojustamine CaSi-plaadiga seestpoolt lõige

Piire koosneb soojuslikult homogeenetest kihtidest ning piirdetarindi kogu soojustakistus on arvutatud valemiga 1.2. Vee kondenseerumisrisi arvutus on tehtud vastavalt Glaseri arvutusmeetodile. Tulemused on esitatud tabelis 1.5 ja jooniselt 1.10.

Tabel 1.5. Piirde soojusjuhtivus kasutades soojustamisel CaSi-plaadi

Seinakiht n	d_n	λ_n	R_n	μ_n	$S_{d,n}$	Δt	t	p_s
	m	W/mK	m^2K/W	-	m	K	°C	Pa
Väliskihi soojaülekanne	-	-	0,04	-	-	0,63	-10	260
Maakivi müüritis	0,6	2,8	0,21	10000	6000	3,37	-9,37	275
CaSi-plaat	0,1	0,067	1,49	11	1,1	23,47	-6,00	369
Lubikrohv	0,025	0,8	0,03	10	0,25	0,49	17,46	1996
Sisekihi soojaülekanne	-	-	0,13	-	-	2,04	17,96	2059
							20	2338
		R_T (m^2K/W)	1,91					
		U (W/m^2K)	0,52					



Joonis 1.10. Veeauru difusioonigraafik kasutades soojustamisel CaSi-plaati

Joonis 1.10 järeldeb, et soojustuse välispinnal tekib kondensvett. Glaseri meetod ei arvesta aga materjali veeimavust ega kapillaarset vee transporti materjalis, mis mõlemad vähendavad veeauru kondenseerumise riski.

Soojakadu läbi piirde arvutatakse valemiga 1.9:

$$\Phi_{\text{maakivi}+\text{CaSi}} = 26,18 \cdot 0,52 = 13,61 \text{ W/K}$$

1.2. Hoone aastane soojusenergia kulu arvestades kraadpäevi

Kraadpäevade arvu abil on võimalik välja arvutada soojuskadu kütteperioodi kohta. Kliimaatilistest erinevustest tingituna pole kraadpäevade arvud Eesti eripiirkondades võrreldavad ning seetõttu on Eesti jagatud kuueks erinevaks piirkonnad. Antud hoone asub Jõgevamaal ning kuulub seega kraadpäevade arvestamisel II ehk Tartu piirkonda [14].

Vastavalt KredExi kodulehel esitatud normaalaasta kraadpäevade arv Tartu piirkonnas tasakaalutemperatuuril 17°C on 4295.

Hoone aastane soojusenergiakulu läbi välispiirete:

$$Q = \frac{\sum \Phi \cdot \text{kraadpäevad} \cdot 24h}{A}, \quad (1.18)$$

kus $\sum \Phi$ – summaarne soojakadu, W/K;

kraadpäevad – kraadpäevade arv piirkonnas, päeva;

A – hoone köetav põranda pindala, m²

Hoone köetav pindala:

$$A = 168,5 \text{ m}^2$$

Hoone soojusenergiakulu arvestades kraadpäevi (maakivi soojustamisel PIR-plaadiga) arvutatakse valemiga 1.18:

$$\begin{aligned} \sum \Phi &= \Phi_{\text{põrand}} + \Phi_{\text{avatäited}} + \Phi_{\text{palksein}} + \Phi_{\text{katuslagi}} + \Phi_{\text{vahelagi}} + \Phi_{\text{maakivi+PIR}} \\ &= 9,96 + 22,95 + 13,01 + 11,73 + 3,45 + 4,97 = 66,07 \text{ W/K} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{66,07 \cdot 4295 \cdot 24}{168,5} = 40,42 \text{ kWh/m}^2$$

Hoone soojusenergiakulu arvestades kraadpäevi (maakivi soojustamisel Isover FS5+) arvutatakse valemiga 1.18:

$$\begin{aligned} \sum \Phi &= \Phi_{\text{põrand}} + \Phi_{\text{avatäited}} + \Phi_{\text{palksein}} + \Phi_{\text{katuslagi}} + \Phi_{\text{vahelagi}} + \Phi_{\text{maakivi+FS5}} \\ &= 9,96 + 22,95 + 13,01 + 11,73 + 3,45 + 7,07 = 68,17 \text{ W/K} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{68,17 \cdot 4295 \cdot 24}{168,5} = 41,70 \text{ kWh/m}^2$$

Hoone soojusenergiakulu arvestades kraadpäevi (maakivi soojustamisel CaSi-plaadiga) arvutatakse valemiga 1.18:

$$\begin{aligned} \sum \Phi &= \Phi_{\text{põrand}} + \Phi_{\text{avatäited}} + \Phi_{\text{palksein}} + \Phi_{\text{katuslagi}} + \Phi_{\text{vahelagi}} + \Phi_{\text{maakivi+FS5}} \\ &= 9,96 + 22,95 + 13,01 + 11,73 + 3,45 + 13,61 = 74,71 \text{ W/K} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{74,71 \cdot 4295 \cdot 24}{168,5} = 45,72 \text{ kWh/m}^2$$

1.3. Analüüs ja järeldus

Soojustamist vajava maakivi müüritise pindala kokku on 41 m². Soojustusmaterjalide hindade ja soojustamist vajava müüritise pindala põhjal on koostatud materjali kogumaksumuse tabel (vt. tabel 1.6). PIR- ja CaSi plaadi plaadi hind on ümber arvutatud m²-hinnaks.

Tabel 1.6. Maakivist müüritise soojustusmaterjalide maksumus

Soojustusmaterjal	Recticel Eurowall 21	Isover FS5+	Remmers SLP 50 N
Soojustusmaterjali hind (m ²)	33,33 €/m ²	11,39 €/m ²	56,19 €/m ²
Materjali maksumus kokku (€)	1366,5 €	467 €	4607,6 €

Välispidisel soojustamisel PIR- ja mineraalvillaplaadiga on hoone soojuskaod peaaegu samas suurusjärgus. Maakivi soojustamisel PIR-plaadiga on aastane soojusenergiakulu 40,21 kWh/m² ja soojustamisel Isover FS5+ 41,70 kWh/m². PIR-plaadil on küll tunduvalt parem soojusjuhtivus kui mineraalvillal, kuid kuna soojustatav pindala ei ole väga suur, siis on ka erinevus väiksem. Mõlema lahenduse puhul ei tekkinud kondensvett piirdesse. Mineraalvillaplaadi hind on küll soodsam kui PIR-plaadil, kuid paigaldamine on ajakulukam, kuna müüritise külge tuleb paigaldada villakinnitid.

Soojustuse paigaldamisel piirde sisepinnale tuleb tähelepanu pöörata kasutatavate materjalide omadustele. Seespidil soojustamisel CaSi-plaadiga tekkis küll kondensvett piirdes (vt. joonis 1.10), kuid kapillaaraktiivne CaSi-plaat laseb veeaurul tagasi liikuda siseruumi. Suur avatud poorsus tähendab aga suuremat soojusjuhtivust: maakivi soojustamisel CaSi-plaadiga oli hoone aastane soojusenergiakulu 45,72 kWh/m², mis on 12% suurem kui välispidisel soojustamisel Recticel Eurowall 21 PIR-plaadiga ning 9% suurem kui soojustamisel Isover FS5+ mineraalvillaplaadiga. Samuti tuleb CaSi-plaadi materjali kogumaksumus kolm korda kallim PIR-plaadist ning kümme korda kallim mineraalvillasoojustusest.

Nii soojustusmaterjalide hinna kui soojapidavuse võrdluse tulemusel otsustati välispidise PIR-soojustuse kasuks. PIR-plaat on küll kolm korda kallim kui Isover FS5+ (vt. tabel 1.6), kuid PIR plaat on tuule ja niiskuskindlam ning paigaldamine on kiirem ja mugavam. Käesolevas töös käsitleti veeauru difuusset liikumist läbi piirde, mis moodustab umbes 1% hoonest väljaviimist vajavast veest. Kuna maakivi difusioonitakistus on väga suur ($\mu = 10000$), siis tuleb suurem osa veest välja juhtida konvektiivselt ehk ventilatsiooni kaudu [3]. Tähtsat rolli omab ka vundamendi soojustamine ja hüdriisoleerimine, et kaitsta konstruktsiooni pinnaseniiskuse eest, ning drenaaži rajamine ümber hoone, et juhtida pinnasevett eemale. [15] Samuti tuleb arvestada kapillaarniiskusega. Materjali ja vee kokkupuutel hakkab vesi mööda materjali poore edasi liikuma. Kapillaarset veetõusu müüritises aitab peatada injekeerimise teel müüritisse paigaldatav horisontaalne hüdriisolatsioon.

2. KOORMUSTE JA PUITKONSTRUKTSIOONIDE KANDEVÕIME ARVUTUSED

2.1 Üldosa

Antud hoonele on teostatud tugevusarvutused katusekonstruktsioonidele ning vahelaetaladele. Projekteeritavate katuse- ja vahelaekonstruktsioonide ristlõigete kandevõimekontrollid on teostatud kandepiirseisundis ning lisaks on kontrollitud vahelaetalade deformatsioonide jäämist lubatud piiridesse kasutuspiirseisundis.

Kasutatud standardid

EVS-EN 1990:2002+NA:2002 „Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused“ [16]

EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 „Ehituskonstruktsioonide koormused.

Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused“ [17]

EVS-EN 1991-1-3:2006+NA:2006 „Ehituskonstruktsioonide koormused.

Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus“ [18]

EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 „Ehituskonstruktsioonide koormused.

Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus“ [19]

EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 „Puitkonstruktsioonide

projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks“ [20]

Kasutatud arvutiprogrammid

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017

AutoCad 2015

Muud abimaterjalid

Ehituskonstruktorigi käsiraamat [21]

2.1.1 Arvutusmeetodi põhimõte

Koormused liigitatakse nende ajalise kestuse järgi alalisteks ehk püsikoormusteks, muutuvkoormusteks ning erakordseteks koormusteks. Käesolevas töös on tehtud

kandevõime kontrollid alalises arvutusolukorras ehk hoone normaalsetes kasutustingimustes. Sellest lähtuvalt on arvestatud alaliste koormustena katuse konstruktsiooni omakaalu ning muutuvkoormustena hoone katusele mõjuvat tuule- ja lumekoormust ning vahelaetaladele mõjuvat kasuskoormust.

Piirteisundi kontrollimisel lähtutakse koormuse F normväärtusest F_k , mis määratakse nimiväärtusena standardist. Arvutused tehakse arvutusväärtustega, mis saadakse normväärtuste korrutamisel osavaruteguriga, mis võtab arvesse koormuse võimalikku hälvet normväärtusest ebasoodsamas suunas, ja kombinatsiooniteguritega, mis arvestavad samaaegselt mõjuvate muutuvkoormuste kõige ebasoodsamate väärtuste samaaegse mõjumise tõenäosust. Piirteisundi kontrollarvutuse tulemusel määratakse konstruktsioonis koormuste mõjul tekkinud sisejõud, pinged ja paigutised.

Koormuste arvutusväärtused ning koormuskombinatsioonide üldvalemid on vastavad projekteerimise aluseid käsitlevale normdokumendile EVS-EN 1990:2002+NA:2002 [16].

Kandepiirteisundi koormuskombinatsioon alalises arvutusolukorras:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.1)$$

Kasutuspiirteisundi normatiivne koormuskombinatsioon:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \quad (2.2)$$

Valemite 2.1 ja 2.2 tähistus on järgmine:

- γ – koormuse osavarutegur,
- G – alaline koormus,
- P – eelpingekoormus,
- $Q_{k,1}$ – domineeriv muutuvkoormus,
- ψ – koormuse kombinatsioonitegur,
- $Q_{k,i}$ – muu muutuvkoormus.

2.2 Koormused

2.2.1 Omakaalukoormus

Materjalide mahukaalud on võetud standardist EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 [17], Ehituskonstruktori käsiraamatust [21] ning Isoveri ja Gyproci toodete mahukaalud infolehtedest. Omakaaluarvutustes ei ole arvestatud kandekonstruksioonide omakaaluga, kuna sisejõud on leitud programmiga *Autodesk Robot Structural Analysis*, ning programm võtab need ise arvesse.

Katuslae materjalid ja nende omakaalukoormused on esitatud tabelis 2.1, pööninglae materjalid ja omakaalukoormused tabelis 2.2 ning vahelae omakaalukoormused tabelis 2.3.

Tabel 2.1. Katuslae omakaalukoormus

Kiht	Paksus (mm)	Laius (mm)	Mahukaal (kN/m ³)	Samm (mm)	Lauskoormus $g_{k,p}$ (kN/m ²)
Laastkate	-	-	-	-	0,130
Roovlatt	50	50	5	190	0,066
Distantssliist	50	50	5	600	0,021
Aluskate	-	-	-	-	0,001
Distantssliist	50	50	5	600	0,021
Isover VKL 13	13	-	1,18	-	0,015
MV Isover KL 33	200	-	0,245	-	0,049
Puitprussid	100	50	5	600	0,042
MV Isover KL 33	100	-	0,245	-	0,025
Aurutõke	-	-	-	-	0,001
Gyproc GN 13	13	-	-	-	0,084
Gyproc GN 13	13	-	-	-	0,084
					$\sum g_{k,p} = 0,539$

Tabel 2.2. Pööninglae omakaalukoormus

Kiht	Paksus (mm)	Laius (mm)	Mahukaal (kN/m ³)	Samm (mm)	Lauskoormus $g_{k,p}$ (kN/m ²)
Isover VKL	13	-	1,18	-	0,015
MV Isover KL 33	200	-	0,245	-	0,049
Puitprussid	100	50	5	600	0,042
MV Isover KL 33	100	-	0,245	-	0,025
Aurutõke	-	-	-	-	0,001
Gyproc GN 13	13	-	-	-	0,084
Gyproc GN 13	13	-	-	-	0,084
					$\sum g_{k,p} = 0,300$

Tabel 2.3. Vahelae omakaalukoormus

Kiht	Paksus (mm)	Laius (mm)	Mahukaal (kN/m ³)	Samm (mm)	Lauskoormus $g_{k,p}$ (kN/m ²)
Gyproc GL 15	15	-	-	-	0,154
Gyproc GL 15	15	-	-	-	0,154
Isover FLO	22	-	0,85	-	0,019
Puitlaastplaat	22	-	4	-	0,088
MV Isover KL 37	200	-	0,15	-	0,030
Laudis	25	50	5	200	0,031
Gyproc AP 25	-	-	-	-	-
Gyproc GN 13	13	-	-	-	0,084
Gyproc GF 15	13	-	-	-	0,127
					$\sum g_{k,p} = 0,687$

2.2.2 Lumekoormus

Lumekoormus on arvatud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-3:2006 [18]. Lumekoormus arvestatakse mõjuvana ühtlaselt jaotatuna katuse horisontaalprojektsioonile.

Käesolevas töös on leitud lumekoormused viilkatustele kaldenurgaga 47°.

Lumekoormuse normsuurus katusele arvutatakse valemiga:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k, \quad (2.3)$$

kus μ_i – lumekoormuse kujutegur,
 s_k – normatiivne lumekoormus maapinnal,
 C_e – avatustegur,
 C_t – soojustegur.

Eestis on soovitatav kasutada katuse lumekoormuse määramisel C_e väärtust kõikides maastikutingimustes 1,0 ning kuna antud juhul on tegemist hästi soojustatud katusega, siis võetakse ka C_t väärtuseks 1,0.

Viilkatuse, mille kaldenurk α jääb vahemikku $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$, lumekoormuse kujutegur arvutatakse standardi EVS-EN 1991-1-3:2006 tabeli 5.1.1 [18] järgi valemiga:

$$\mu_1 = \frac{0,8 \cdot (60 - \alpha)}{30}, \quad (2.4)$$

kus α – katuse kaldenurk.

Normatiivne lumekoormuse maapinnal on määratud vastavalt standardi EVS-EN 1991-1-3:2006 rahvusliku lisa joonisele NA.4.1 [18] :

$$s_k = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

Lumekoormuse kujutegur arvutatakse vastavalt valemile 2.4:

$$\mu_1 = \frac{0,8 \cdot (60 - 47,0)}{30} = 0,347$$

Normatiivne lumekoormus katusele arvutatakse vastavalt valemile 2.3:

$$s=0,347 \cdot 1,25=0,433 \text{ kN/m}^2$$

2.2.3 Tuulekoormus

Tuulekoormus on arvatud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 [19].

Tuulekoormus on muutuvkoormus. Tuulekoormust arvestatakse tuulerõhuna, mis mõjub risti konstruktsiooni pinnaga.

Konstruktsiooni välispindadele mõjuv tuulerõhk arvutatakse valemiga:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}, \quad (2.5)$$

kus $q_p(z_e)$ – tippkiirusrõhk,
 z_e – välisrõhu arvutuskõrgus,
 c_{pe} – välisrõhu rõhutegur.

Vastavalt standardi EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 [19] tabelile 4.1, asub hoone III maastikutüübi alal. Tuule tippkiirusrõhk III maastikutüübi alal arvutatakse valemiga:

$$q_p = 12,81 \ln^2 \frac{z_e}{0,3} + 89,64 \ln \frac{z_e}{0,3}, \quad (2.6)$$

kus z_e – välisrõhu arvutuskõrgus, mis viilkatuse puhul tuleks võtta sama suur kui on hoone kõrgus.

Tuule tippkiirusrõhk arvutatakse vastavalt valemile 2.6:

$$q_p = 12,81 \ln^2 \frac{7,13}{0,3} + 89,64 \ln \frac{7,13}{0,3} = 411 \text{ N/m}^2 = 0,412 \text{ kN/m}^2$$

Hoonel on kahekaldeline viilkatus, mille tuulerõhutegurid määratakse vastavalt standardi EVS-EN 1991-1-4:2005 [19] tabelitele 7.4a ja 7.4b. Tuulerõhutegurid on määratud interpoleerides tabelis Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Kahekaldelise katuse tuulerõhutegurid $c_{pe,10}$

Katuse kaldenurk α	Tsoonid tuule suunale $\theta=0^\circ$					Tsoonid tuule suunale $\theta=90^\circ$			
	F	G	H	I	J	F	G	H	I
45°	-0,0 +0,7	-0,0 +0,7	-0,0 +0,6	-0,2 +0,0	-0,3 +0,0	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
47°	+0,7	+0,7	+0,613	-0,2 -0,027	-0,3 -0,04	-1,1	-1,373	-0,887	-0,5
60°	+0,7	+0,7	+0,7	-0,2	-0,3	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5

Katusele mõjuvad tuulerõhud on arvatud vastavalt valemile 2.5 ning esitatud tabelis Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Tuulerõhud katusele

Tsoon	Tsoonid tuule suunale $\theta=0^\circ$					Tsoonid tuule suunale $\theta=90^\circ$			
	F	G	H	I	J	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	+0,7	+0,7	+0,613	-0,2 -0,027	-0,3 -0,04	-1,1	-1,373	-0,887	-0,5
w_e (kN/m ²)	0,29	0,29	0,25	-0,08 -0,011	-0,124 -0,017	-0,453	-0,566	-0,365	-0,206

2.3 Puitkonstruktsioonide kandevõime kontroll

2.3.1 Katusekonstruktsioonid

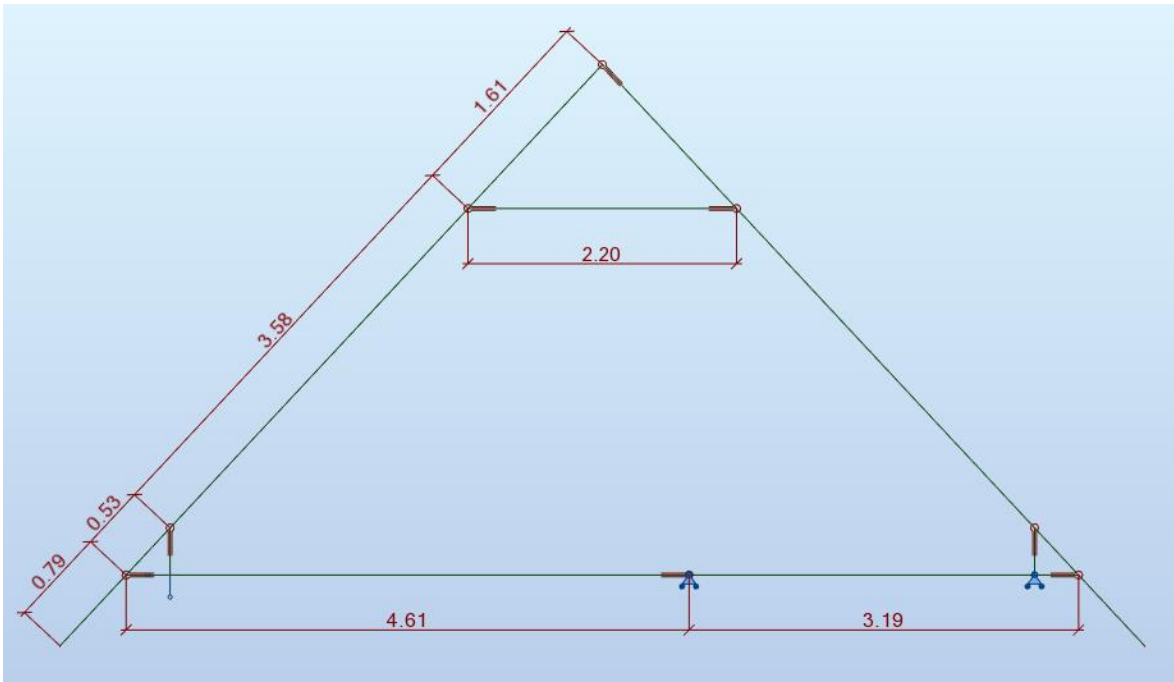
Planeeritava hoone katuseks on viilkatus, mille kalle on 47°. Katuse kandekonstruktsioon on lahendatud harjal omavahel ühendatud ja pennidega seotud sarikapaaridega, mis on toetatud tappidega müüripalgile, mille pealispinda on freesitud hammas. Vertikaalsed jõud toesõlmedes võtab vastu kandev palksein ning horisontaalsed jõud võtavad vastu vahelaetalad, mis on seotud sarikatega ja omavahel seina toetuskohas.

Käesolevas töös ei ole kontrollitud konstruktsiooni kandevõimet katuseosas, kus asub trepp ning vahelaetala ei seo sarikaid. Antud kohas kanduvad horisontaalsed koormused läbi vööpalkide trepiava külgedel asuvatele konstruktsioonidele. Projekti konstruktiivses osas tuleb kontrollida sarikate ja nendega ühenduses olevate konstruktsioonide kandevõimet kõigis katuse osades.

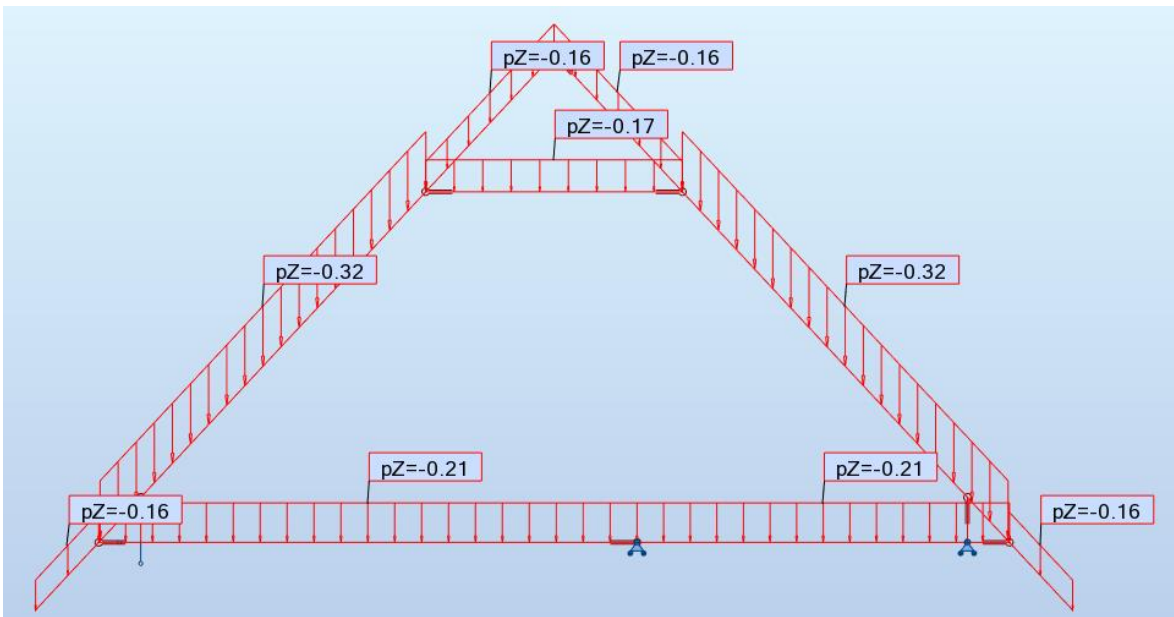
Nii hoone sarikad kui ka pennid on ristlõikega 50x200 mm ning kuuluvad tugevusklassi C16. Katusekandjad paigaldatakse sammuga 600 mm. Vahelaetalad on ristlõikega 75x200 mm ning kuuluvad samuti tugevusklassi C16. Talad paigaldatakse sammuga 300 mm, et pikema sildega talade läbipaine jääks lubatud piiridesse. Konstruktsiooni kasutusklass on 1.

Katuse- ning vahelaekonstruktsiooni varrasskeem on koostatud programmis *Autodesk Robot Structural Analysis Professional (ARSAP) 2017*. Arvutuste kontrollimiseks on ARSAP-is määratud koormuste kestusklassid, varraste nõtkepikkused jt vajalikud tegurid ning koostatud koormuskombinatsioonid. Varrasskeemis võtavad palkide mõju arvesse sarikate ja laetalade vahelised vardad, mille ristlõiked on $(30\text{mm} + \text{tala laius} + 30\text{mm}) \times (\text{sarika toetuspind} + 30\text{ mm})$. ARSAP-is muudeti nende varraste elastsusmoodulid ristikiudu varraste elastsusmooduliks, et sisejõud jaguneksid õigesti.

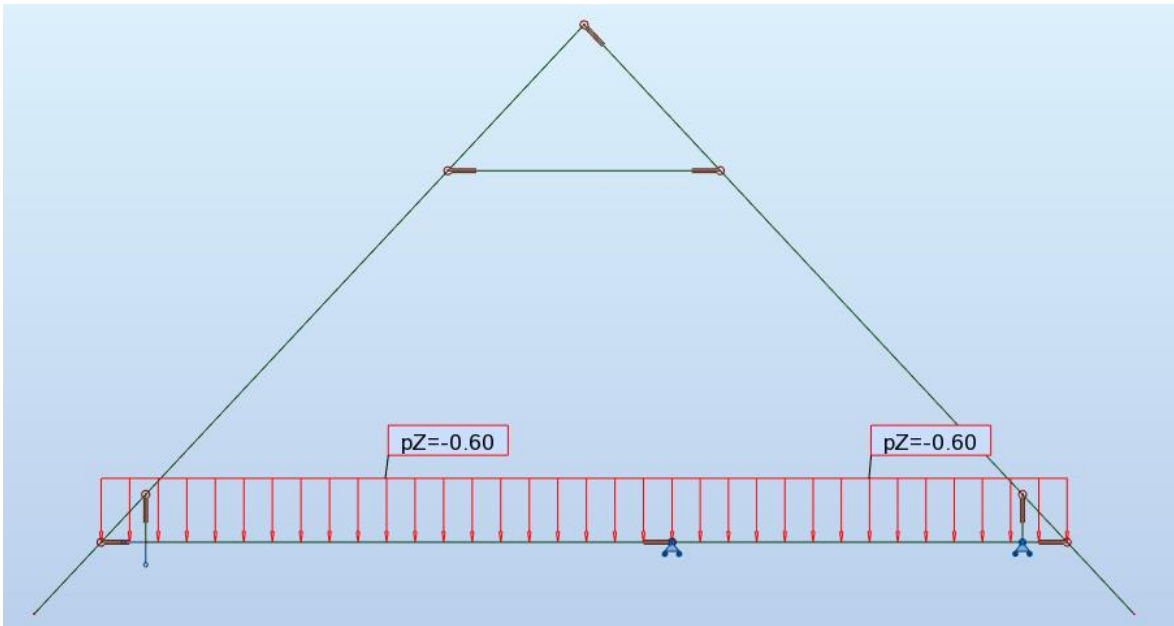
Konstruktsioonide varrasskeem on esitatud joonisel 2.1 ja mõjuvad normatiivsed koormused on esitatud joonistel 2.2-2.6.



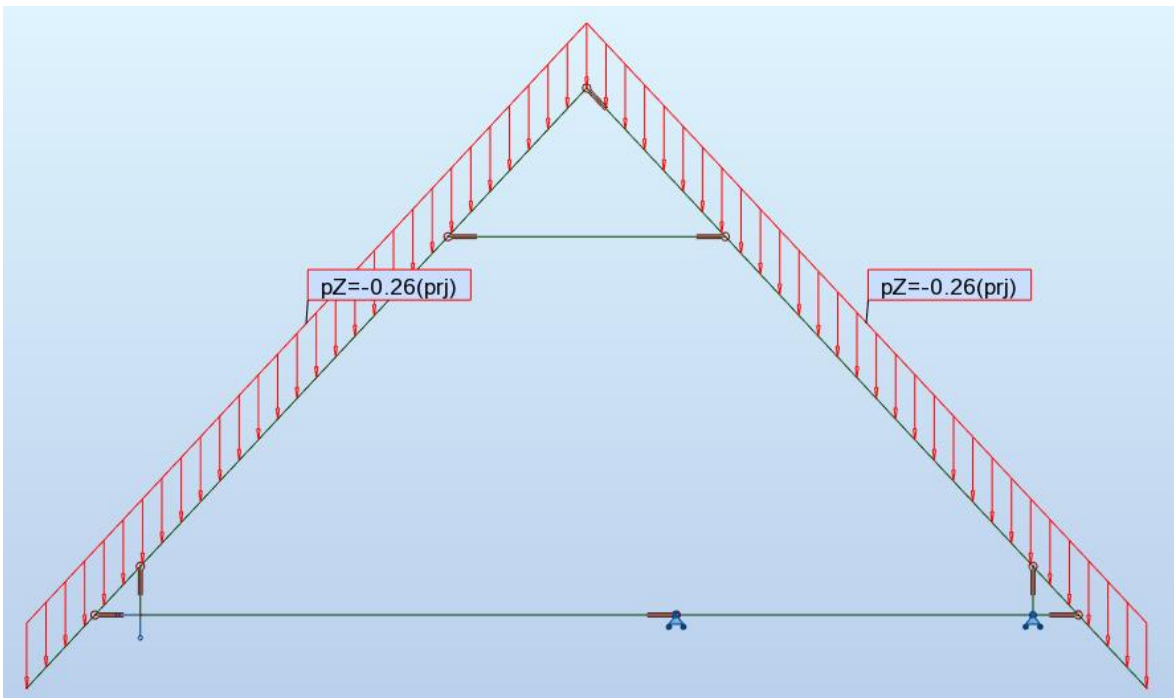
Joonis 2.1. Katusekonstruktsiooni varrasskeem



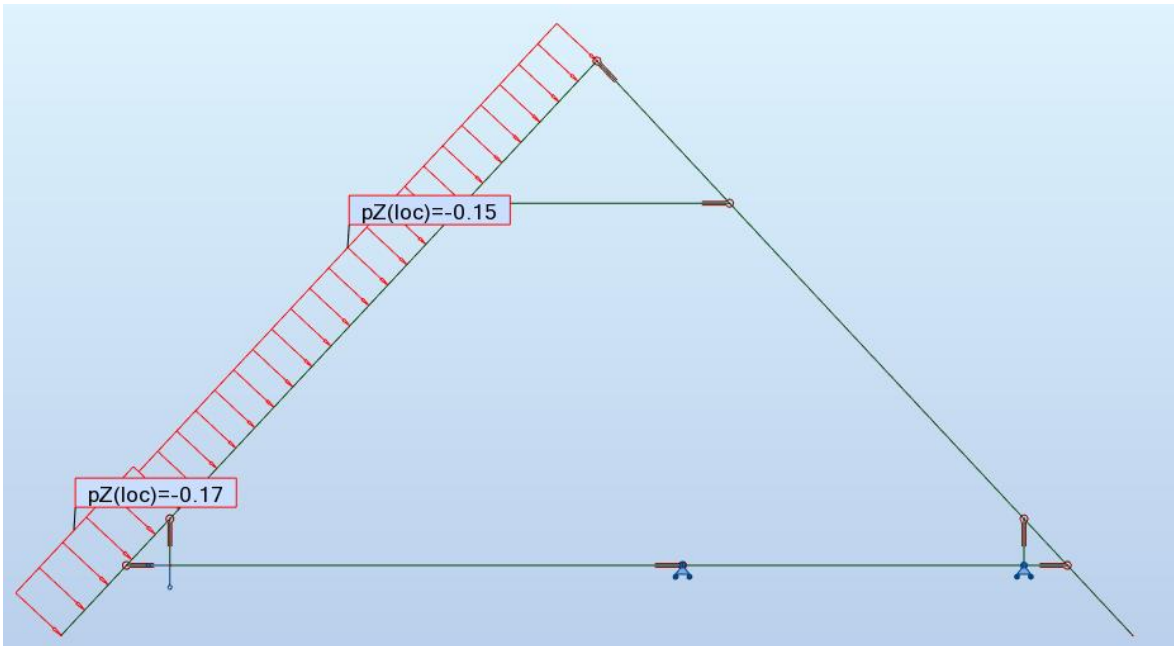
Joonis 2.2. Normatiivne omakaalu koormus, kN/m



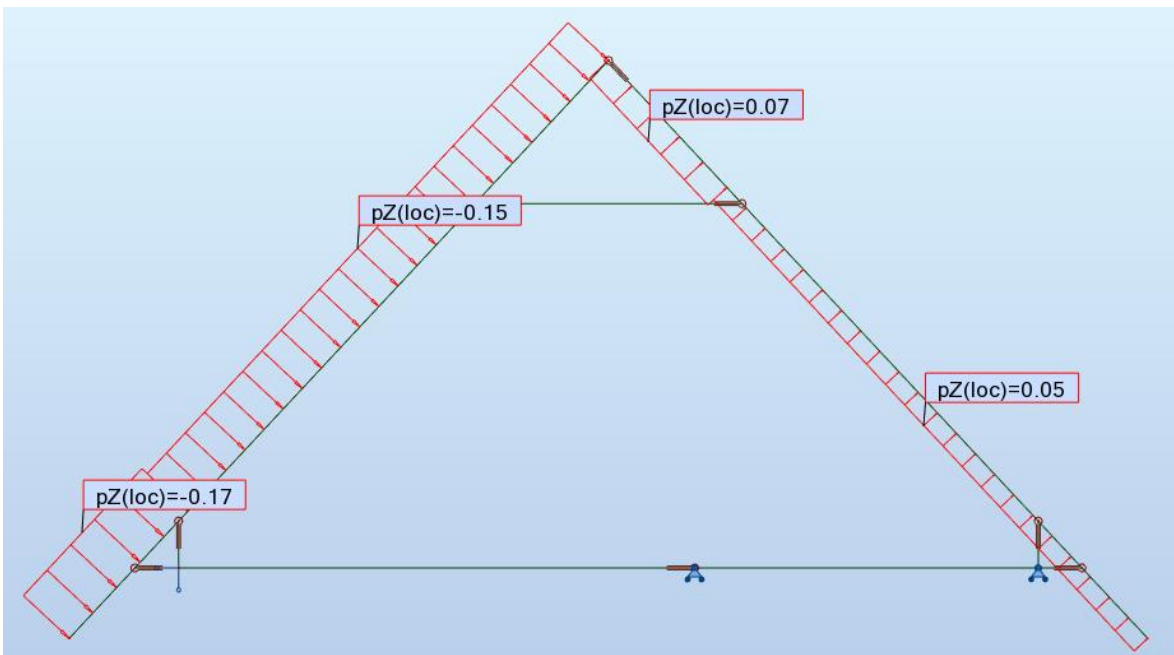
Joonis 2.3 Normatiivne kaskukoormus, kN/m



Joonis 2.4. Normatiivne lumekoormus, kN/m



Joonis 2.5. Normatiivne luulekoormus (surub ühte katuse poolt), kN/m



Joonis 2.6. Normatiivne tuulekoormus (tuul surub ja tõmbab), kN/m

Tugevusklassi C16 kuuluva okaspuidust saematerjali omadused Ehituskonstruktori käsiraamatu [21] tabelist 14.5:

$$\text{Paindetugevus} - f_{m,k} = 16 \text{ N/mm}^2$$

Survetugevus – $f_{c,0,k}=17 \text{ N/mm}^2$

Survetugevus – $f_{t,0,k}=10 \text{ N/mm}^2$

Nihketugevus – $f_{v,k}=3,2 \text{ N/mm}^2$

Elastsusmoodulid:

- 5% pikikiudu – $E_{0,05}=5400 \text{ N/mm}^2$
- pikikiudu – $E_{0,\text{mean}}=8000 \text{ N/mm}^2$

Materjali omaduse arvutusväärtus arvutatakse vastavalt standardis EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20] esitatud valemile:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (2.7)$$

kus X_k – materjali tugevusomaduse arväärtus,

γ_M – materjali omaduse osavarutegur,

k_{mod} – koormuse kestuse ja konstruktsiooni niiskuse mõju arvestav tugevusparameetri modifikatsioonitegur.

Saematerjali osavarutegur vastavalt standardi EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20] tabelile 2.3:

$$\gamma_M = 1,3$$

Saepuidu modifikatsioonitegur vastavalt standardi EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20] tabelile 3.1, kui hoone kasutusklass on 1 ning koormuse kestusklass lühiajaline (lumekoormus $s=1,25 \text{ kN/m}^2$, tuulekoormus):

$$k_{mod} = 0,9$$

2.3.2 Sarikale mõjuvad sisejõud ja pingedeformatsioonid

Vastavalt valemile 2.1 osutus sarika ja penni kandevõimele survele koos paindega kõige ohtlikumaks koormuskombinatsioon domineeriva lumekoormusega:

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,lumi} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,tuul} \cdot Q_{k,tuul}$$

Vastavalt valemile 2.1 osutus sarika põikjõu kandevõimele kõige ohtlikumaks koormuskombinatsioon domineeriva tuulekoormusega:

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,tuul} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,lumi} \cdot Q_{k,tuul}$$

Osavaru- ja kombinatsioonitegurite väärtused on võetud standardis EVS-EN 1990:2002+NA:2002 [16] esitatud tabelitest NA.1.1 ja NA.1.2(B):

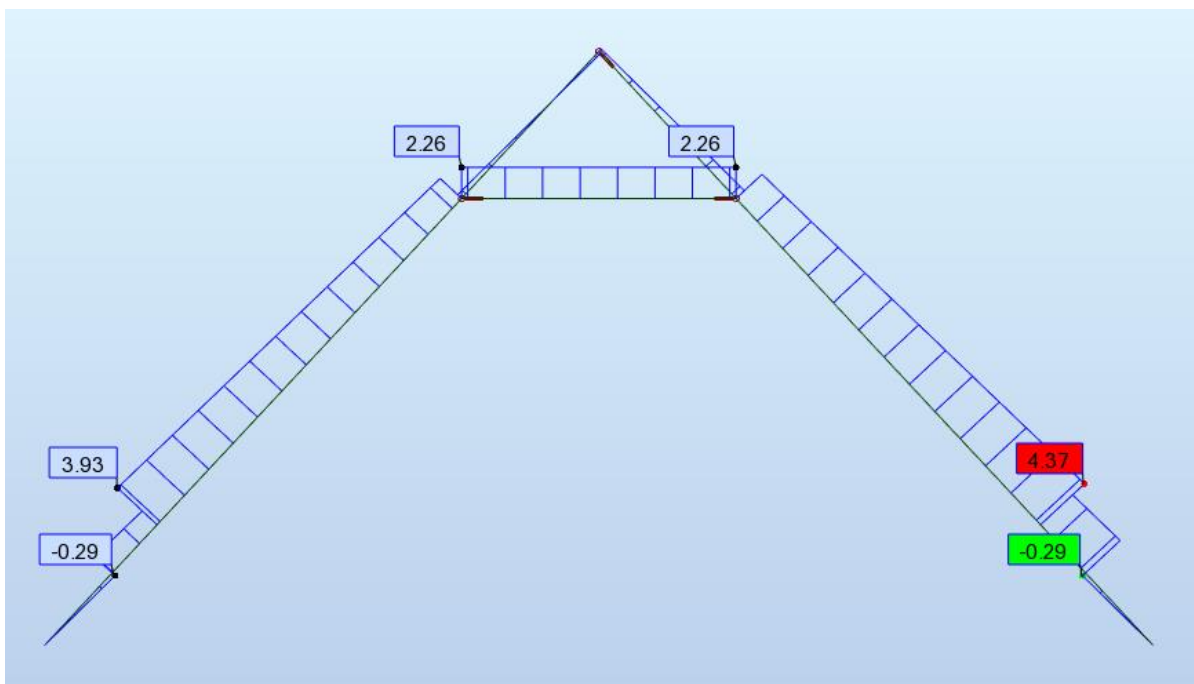
$$\gamma_G = 1,2$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

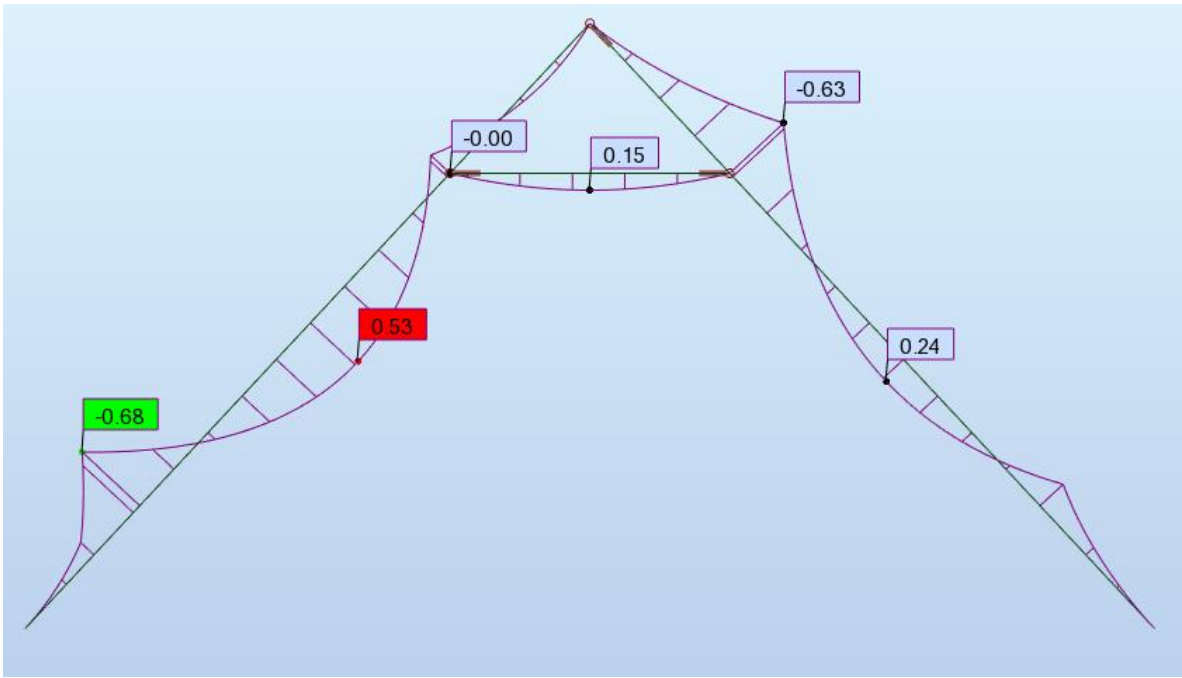
$$\psi_{0,tuul} = 0,6$$

$$\psi_{0,lumi} = 0,5$$

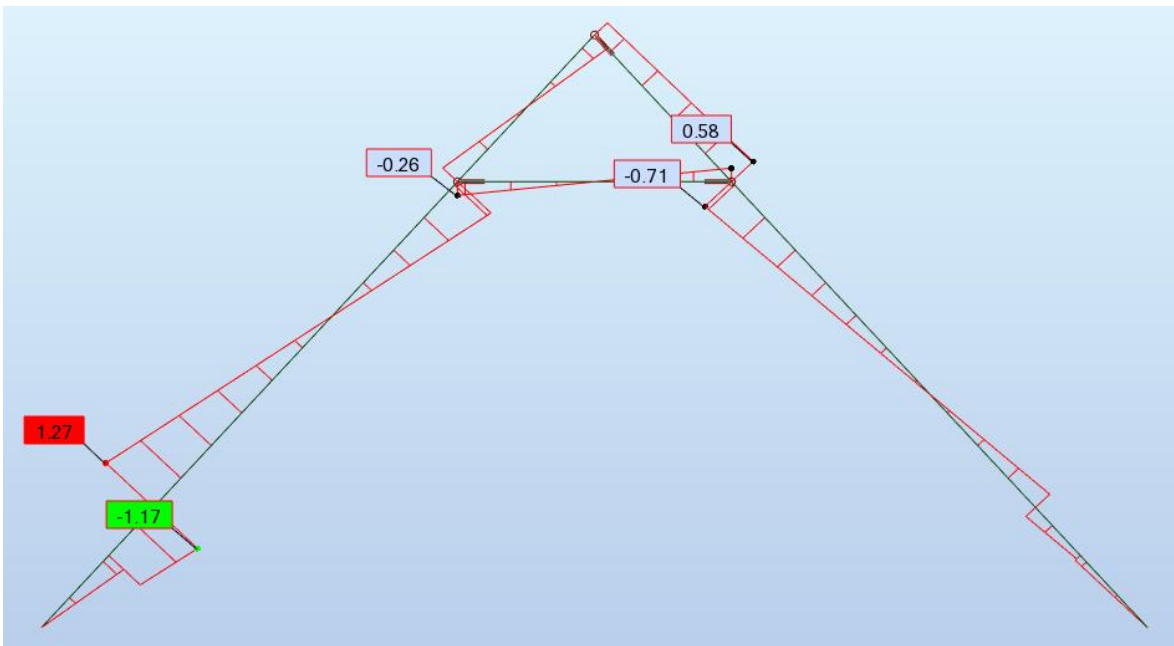
Katusekandjate sisejõudude epüürid ja deformatsioonid on esitatud joonistel 2.7-2.10



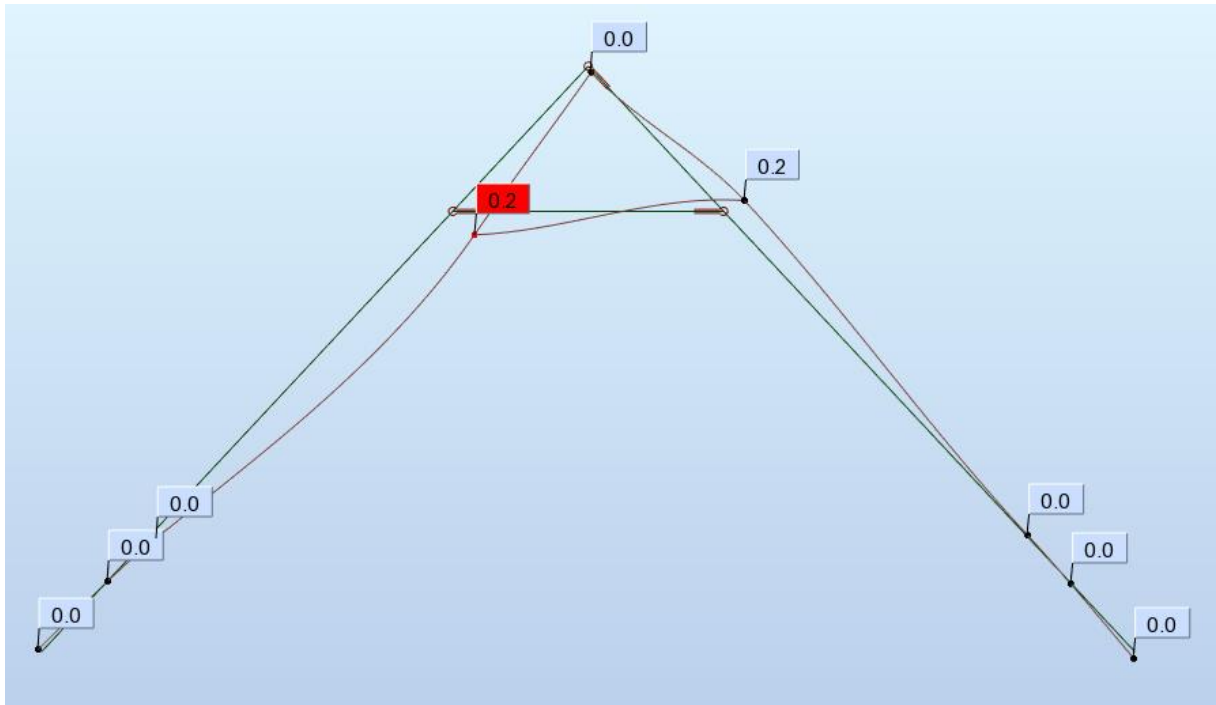
Joonis 2.7. Katusekandja pikijõu epüür (kN)



Joonis 2.8. Katusekandja paindemomendi epüür (kNm)



Joonis 2.9. Katusekandja põikjõu epüür (kN)



Joonis 2.10. Katusekandja deformatsioonid, cm

2.3.3 Sarika kandevõime kontroll survele koos paindega

Sarika kandevõime kontroll survele koos paindega on tehtud vastavalt standardile EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20].

Sarika puhul on tegemist surutud ja painutatud postiga. Saleda varda puhul, kui $\lambda_{rel} > 0,3$, peab olema rahuldatud tingimus:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2.8)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (2.9)$$

kus $\sigma_{c,0,d}$ – pikikiudu survepinge arvutusväärtus;

$\sigma_{m,y,d}$; $\sigma_{m,z,d}$ – arvutuslikud paindepinged peatelgede suhtes;

$f_{c,0,d}$ – pikikiudu survetugevuse arvutusväärtus;

$f_{m,y,d}$; $f_{m,z,d}$ – paindetugevuse arvutusväärtused;

$k_{c,y}$; $k_{c,z}$ – nõtketegurid peatelgede suhtes;

k_m – tegur, mis arvestab pingete ümberjaotamist ja materjali mittehomogeensust (täisnurkse ristlõike puhul $k_m = 0,7$).

Arvutuslik survepinge arvutatakse valemiga:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A}, \quad (2.10)$$

kus $F_{c,d}$ – tsentrilise survejõu arvutusväärtus;

A – ristlõike pindala.

Arvutuslik paindepinge arvutatakse valemiga:

$$\sigma_{m,y(z),d} = \frac{M_{y(z),d}}{W_{y(z)}}, \quad (2.11)$$

kus $M_{y(z),d}$ – paindemoment peatelgede suhtes,

$W_{y(z)}$ – ristlõike vastupanumoment peatelgede suhtes.

Nõtketegurid arvutatakse valemiga:

$$k_{c,y(z)} = \frac{1}{k_{y(z)} + \sqrt{k_{y(z)}^2 - \lambda_{rel,y(z)}^2}}, \quad (2.12)$$

$$\text{kus } k_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y(z)} - 0,3) + \lambda_{rel,y(z)}^2], \quad (2.13)$$

kus β_c – sirgsuse tegur, mis saepuidul on 0,2.

Suhtelised saledused telgede suhtes arvutatakse valemiga:

$$\lambda_{rel,y(z)} = \frac{\lambda_{y(z)}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (2.14)$$

kus $\lambda_{y(z)}$ – saledused peatelgede suhtes,

$f_{c,0,k}$ – normatiivne survetugevus pikikiudu,

$E_{0,05}$ – 5% elastsusmoodul pikikiudu.

Saledused peatelgede suhtes arvutatakse valemiga:

$$\lambda_{y(z)} = \frac{l_{ef,y(z)}}{i_{y(z)}}, \quad (2.15)$$

kus $l_{ef,y(z)}$ – nõtkepikkus peatelgede suhtes,

$i_{y(z)}$ – inertsiraadius peatelgede suhtes.

Inertsiraadius peatelgede suhtes arvutatakse valemiga:

$$i_{y(z)} = \sqrt{\frac{I_{y(z)}}{A}}, \quad (2.16)$$

kus $I_{y(z)}$ – inertsimoment y- või z-telje suhtes.

Inertsimoment peatelgede suhtes arvutatakse valemiga:

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (2.17)$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12}, \quad (2.18)$$

kus h – ristlõike kõrgus,

b – ristlõike laius.

Liigendkinnitustega varda nõtkepikkus arvutatakse valemiga:

$$l_{ef} = 1,0 \cdot s, \quad (2.19)$$

kus s – sille.

Sarikale mõjuvad maksimaalne paindemoment ja survejõud saadakse jooniselt 2.7 ja 2.8:

$$M_{sd} = 0,68 \text{ kNm}$$

$$F_{c,d} = 3,93 \text{ kN}$$

Nõtkepikkus y-telje suhtes arvutatakse valemiga 2.19 ja arvestatakse asjaoluga, et varras deformeerub räästast kuni harjani (vt. joonis 2.10):

$$l_{ef,y} = 1,0 \cdot 5190 = 5190 \text{ mm}$$

Nõtkepikkus z-telje suhtes on piiratud roovide sammuga $s=190$ mm ning arvutatakse valemiga 2.19:

$$l_{ef,z} = 0,6 \cdot 190 = 114 \text{ mm}$$

Inertsimoment arvutatakse valemitega 2.17 ja 2.18

$$I_y = \frac{50 \cdot 200^3}{12} = 33333333 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{200 \cdot 50^3}{12} = 2083333 \text{ mm}^4$$

Inertsiraadiused arvutatakse valemiga 2.16:

$$i_y = \sqrt{\frac{33333333}{10000}} = 57,73 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{2083333}{10000}} = 14,43 \text{ mm}$$

Saledused peatelgede suhtes arvutatakse valemiga 2.15:

$$\lambda_y = \frac{5190}{57,7} = 89,89$$

$$\lambda_z = \frac{114}{14,43} = 7,90$$

Suhtelised saledused peatelgede suhtes arvutatakse valemiga 2.14:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{89,89}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{17}{5400}} = 1,61$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{7,90}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{17}{5400}} = 0,14 < 0,3$$

Sarikate väljanõtkumine z-telje suhtes on takistatud kahelt poolt roovidega, millest tulenevalt võetakse tegur $k_{c,z} = 1$ ning nõtket z-telje suhtes ei arvestata.

Abitegur k_y arvutatakse valemiga 2.13:

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,61 - 0,3) + 1,61^2] = 1,92$$

Nõtketegur $k_{c,y}$ arvutatakse valemiga 2.12:

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,92 + \sqrt{1,92^2 - 1,61^2}} = 0,34$$

Arvutuslik survepinge ja paindepinge arvutatakse valemitega 2.10 ja 2.11:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{3,93 \cdot 10^3}{50 \cdot 200} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{0,68 \cdot 10^6 \cdot 6}{50 \cdot 200^2} = 2,04 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik paindetugevus ja survetugevus arvutatakse valemiga 2.7:

$$f_{c,0,d} = 0,9 \cdot \frac{17}{1,3} = 11,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = 0,9 \cdot \frac{16}{1,3} = 11,08 \text{ N/mm}^2$$

Kandevõime kontroll vastavalt valemitele 2.8 ja 2.9:

$$\frac{0,39}{0,34 \cdot 11,77} + \frac{2,04}{11,08} + 0,7 \cdot \frac{0}{11,08} = 0,28 < 1$$

$$\frac{0,39}{1 \cdot 11,77} + 0,7 \cdot \frac{2,04}{11,08} + \frac{0}{11,08} = 0,16 < 1$$

Sarika kandevõime survele koos paindega on tagatud.

2.3.4 Sarika kandevõime kontroll põikjõule

Sarika kandevõime kontroll põikjõule on tehtud vastavalt standardile EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20].

Sarika kandevõime kontrollil nihkele peab olema täidetud tingimus:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1, \quad (2.20)$$

kus τ_d – arvutuslik nihkepinge,
 $f_{v,d}$ – nihketugevuse arvutusväärtus.

Arvutuslik nihkepinge riskülikulise ristlõike puhul arvutatakse valemiga:

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_{sd}}{b_{ef} \cdot h}, \quad (2.21)$$

kus V_{sd} – põikjõu arvutusväärtus,
 b_{ef} – ristlõike efektiivlaidus, mis arvestab pragude mõju,
 h – ristlõike kõrgus.

Ristlõike efektiivlaidus arvutatakse valemiga:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b, \quad (2.22)$$

kus k_{cr} – pragunemistegur, mille väärtus saepuidu korral on 0,67.

Sarikale mõjuv suurim arvutuslik põikjõud saadakse jooniselt 2.9:

$$V_{sd} = 1,27 \text{ kN}$$

Efektiivlaidus arvutatakse valemiga 2.22:

$$b_{ef} = 0,67 \cdot 50 = 33,5 \text{ mm}$$

Arvutuslik nihkepinge arvutatakse valemiga 2.21:

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot 1,27 \cdot 10^3}{33,5 \cdot 200} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik nihketugevus arvutatakse valemiga 2.7:

$$f_{v,d} = 0,9 \cdot \frac{3,2}{1,3} = 2,22 \text{ N/mm}^2$$

Kandevõime kontroll vastavalt valemile 2.20:

$$\frac{0,28}{2,22} = 0,13 < 1$$

Sarika kandevõime põikjõule on tagatud.

2.3.5 Penni kandevõime kontroll survele koos paindega

Penni kandevõime kontroll survele koos paindega on tehtud vastavalt standardile EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20].

Arvutuslik survejõud ja painemoment saadakse jooniselt 2.7 ja 2.8:

$$F_{c,d} = 2,26 \text{ kN}$$

$$M_{s,d} = 0,15 \text{ kN}$$

Penni saledus on suurem z-telje suhtes, millest lähtuvalt on tehtud kandevõime kontroll.

Nõtkepikkus z-telje suhtes arvutatakse valemiga 2.19:

$$l_{ef,z} = 1,0 \cdot 2200 = 2200 \text{ mm}$$

Inertsimoment arvutatakse valemitega 2.17 ja 2.18

$$I_z = \frac{200 \cdot 50^3}{12} = 2083333 \text{ mm}^4$$

Inertsiraadiused arvutatakse valemiga 2.16:

$$i_z = \sqrt{\frac{2083333}{10000}} = 14,43 \text{ mm}$$

Saledused peatelgede suhtes arvutatakse valemiga 2.15:

$$\lambda_z = \frac{2200}{14,43} = 152,42$$

Suhtelised saledused peatelgede suhtes arvutatakse valemiga 2.14:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{152,42}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{17}{5400}} = 2,72$$

Tegur k_z arvutatakse valemiga 2.13:

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,72 - 0,3) + 2,72^2] = 4,45$$

Tegur $k_{c,z}$ arvutatakse valemiga 2.12:

$$k_{c,z} = \frac{1}{4,45 + \sqrt{4,45^2 - 2,72^2}} = 0,13$$

Arvutuslik survepinge leitakse valemitega 2.10 ja 2.11:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{2,26 \cdot 10^3}{50 \cdot 200} = 0,23 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{0,15 \cdot 10^6 \cdot 6}{50 \cdot 200^2} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus arvutatakse valemiga 2.7:

$$f_{c,0,d} = 0,9 \cdot \frac{17}{1,3} = 11,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = 0,9 \cdot \frac{16}{1,3} = 11,08 \text{ N/mm}^2$$

Kandevõime kontroll survele koos paindega vastavalt valemile 2.24:

$$\frac{0,23}{0,13 \cdot 11,77} + \frac{0,45}{11,08} = 0,19 < 1$$

Penni kandevõime nõrkele koos paindega on tagatud.

2.3.6 Vahelaetalale mõjuvad sisejõud ja pinged

Vahelaetalad töötavad tõmbele koos paindega. Talale mõjuvad normatiivsed omakaalu- ja kasuskoormuse joonkoormused ning punktkoormused katuslae omakaalu- ja lumekoormusest. Vahelaetalad töötavad koos katusekandjatega, mille koormusskeemid on esitatud joonistel 2.1-2.6. Vahelaetalade sisejõudude epüürid on esitatud joonistel 2.11-2.13.

Vastavalt valemile 2.1 osutus vahelaetala kandevõimele kõige ohtlikumaks koormuskombinatsioon domineeriva kasuskoormusega:

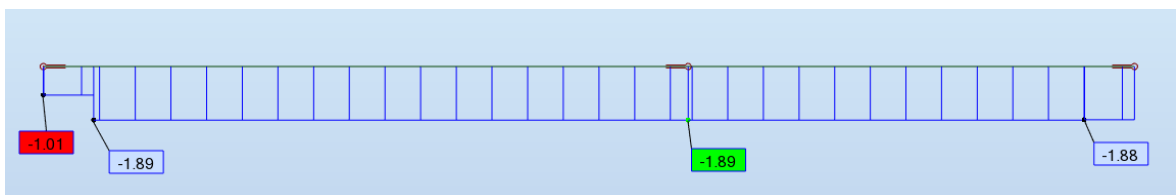
$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,kasus} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,tuul} \cdot Q_{k,tuul}$$

Osavaru- ja kombinatsioonitegurite väärtused on võetud standardis EVS-EN 1990:002+NA:2002 [16] esitatud tabelitest NA.1.1 ja NA.1.2(B):

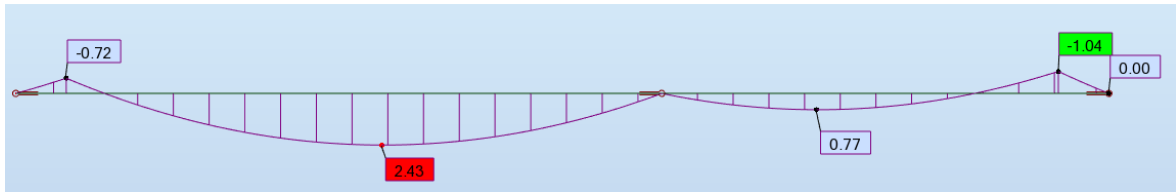
$$\gamma_G = 1,2$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

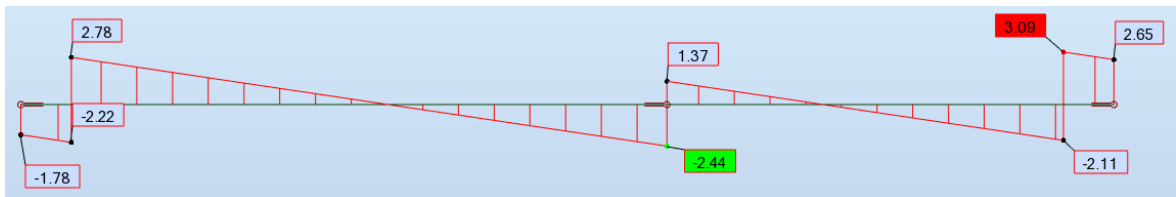
$$\psi_{0,tuul} = 0,6$$



Joonis 2.11. Vahelaetala pikijõu epüür, kN



Joonis 2.12. Vahelaetala paindemomendi epüür, kN



Joonis 2.13. Vahelaetala põikjõu epüür, kN

2.3.7 Vahelaetala kandevõime kontroll tõmbele koos paindega

Hoone vahelaetad on ristlõikega 75x200 mm ning kuuluvad tugevusklassi C16. Vahelaetad paigaldatakse sammuga 300 mm.

Tugevusklassi C16 kuuluva okaspuidust saematerjali arvutusteks vajalikud omadused (Ehituskonstruktori käsiraamat [21] tabel 14.5):

$$\text{Paindetugevus} - f_{m,k} = 16 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tõmbeetugevus} - f_{t,0,k} = 10 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Nihketugevus} - f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Elastsusmoodul} - E_{0,\text{mean}} = 8000 \text{ N/mm}^2$$

Vahelaetalade kandevõime kontrollil on lähtutud standarditest EVS-EN 1990:2002+NA:2002 [16] ja EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20].

Arvutuslik paindemoment ja tõmbejõud saadakse jooniselt 2.11 ja 2.12:

$$M_{sd} = 1,89 \text{ kNm},$$

$$N_{t,d} = 2,43 \text{ kN}$$

Painutatud ja tõmmatud tala korral kehtib tingimus:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (2.23)$$

Arvutuslik tõmbepinge ja paindepinge arvutatakse valemitega 2.10 ja 2.11:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{1,89 \cdot 10^3}{75 \cdot 200} = 0,13 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{2,43 \cdot 10^6 \cdot 6}{75 \cdot 200^2} = 4,86 \text{ N/mm}^2$$

Modifikatsioonitegur saadakse vastavalt standardis EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20] esitatud tabelile 3.1, kui hoone kasutusklass on 1 ning koormuse kestusklass keskkestev (kasuskoormus):

$$k_{mod} = 0,8$$

Arvutuslik paindetugevus ja tõmbetugevus arvutatakse valemiga 2.7:

$$f_{m,y,d} = 0,8 \cdot \frac{16}{1,3} = 9,85 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{t,0,d} = 0,8 \cdot \frac{10}{1,3} = 6,15 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimuste kontroll vastavalt valemile 2.23:

$$\frac{0,13}{6,15} + \frac{4,86}{9,85} = 0,51 < 1$$

Vahelaetala kandevõime tõmbele koos paindega on tagatud.

2.3.8 Vahelaetala kandevõimekontroll põikjõule

Efektiivlaius arvutatakse valemiga 2.22:

$$b_{ef} = 0,67 \cdot 75 = 50,25 \text{ mm}$$

Suurim arvutuslik põikjõud saadakse jooniselt 2.13:

$$V_{sd} = 3,09 \text{ kN}$$

Arvutuslik nihkepine arvutatakse valemiga 2.21:

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot 3,09 \cdot 10^3}{50,25 \cdot 200} = 0,46 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik nihketugevus arvutatakse valemiga 2.7:

$$f_{v,d} = 0,8 \cdot \frac{3,2}{1,3} = 1,97 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimuse kontroll vastavalt valemile 2.20:

$$\frac{0,59}{1,97} = 0,23 < 1$$

Vahelaetala kandevõime põikjõule on tagatud.

2.3.9 Vahelaetala kontroll kasutuspiirseisundis

Läbipainde kontroll on teostatud vahelaetaladele, mis ei ole sarikatega ühendatud.

Talale mõjuvad normatiivsed koormused vastavalt joonistele 2.2 ja 2.3:

$$g_{k,j} = 0,812 \cdot 0,30 = 0,21 \text{ kN/m}$$

$$q_{k,j} = 2,0 \cdot 0,30 = 0,6 \text{ kN/m}$$

Soovitavad tala läbipainde piirväärtused vastavalt standardi EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20] tabelile NA.7.2:

Hetkeline läbipaine muutuvast koormusest:

$$w_{inst,Q} \leq \frac{L}{400} = \frac{4610}{400} = 11,52 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest:

$$w_{net,fin} \leq \frac{L}{300} = \frac{4610}{300} = 15,37 \text{ mm}$$

Hetkelised läbipainded alalisest ja muutuvast koormusest arvutatakse valemitega:

$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot g_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y}, \quad (2.25)$$

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \cdot q_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y}, \quad (2.26)$$

kus g_k ja q_k – normatiivsed joonkoormused,

I_y – ristlõike inertsimoment,

L – sildeava pikkus.

Tala hetkelised läbipainded arvutatakse vastavalt valemitele 2.25 ja 2.26:

$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot 0,21 \cdot 4610^4 \cdot 12}{384 \cdot 8000 \cdot 75 \cdot 200^3} = 3,09 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 4610^4 \cdot 12}{384 \cdot 8000 \cdot 75 \cdot 200^3} = 8,82 \text{ mm} > 10,75 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest arvutatakse valemitega:

$$w_{net,fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}), \quad (2.27)$$

$$w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}), \quad (2.28)$$

kus k_{def} – deformatsioonitegur,

ψ_2 – kombinatsioonitegur.

Vastavalt EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 [20] tabelile 3.2:

$$k_{def} = 0,6$$

Vastavalt EVS-EN 1990:2002+NA:2002 [16] esitatud tabelile A.1.1:

$$\psi_2 = 0,3$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest arvutatakse valemitega 2.27 ja 2.28:

$$w_{net,fin,G} = 3,09 \cdot (1 + 0,6) = 4,94 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin,Q} = 8,82 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,6) = 10,41 \text{ mm}$$

Kogu lõplik läbipaine:

$$w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q} = 4,94 + 10,41 = 15,35 \text{ mm} > 15,37 \text{ mm}$$

Tala läbipaine jääb lubatud piiridesse.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö raames teostati Jõgevamaal Tabivere vallas Reinu külas asuvale elumajaks rekonstrueeritavale laudale välispiirete soojuskaotuste arvutused ning projekteeritavatele katusekonstruktsioonidele ja vahelaetaladele kandevõime arvutused. Lisaks kontrolliti vahelaetalade läbipaindeid kasutuspiiriseisundis.

Töö esimeses osas teostati projekteeritavatele välispiiretele soojusjuhtivuse arvutused. Soojustuse valikul lähtuti materjalide omavahelisest sobivusest ja niiskustehnilisest toimimisest. Palkseina kui „hingava“ konstruktsiooni soojustamisel otsustati kasutada Isoveri KL-33 mineraalvilla, mis on hea soojapidavusega ($\lambda_D = 0,033 \text{ W/mK}$) ja väikese difusioonitakistusega ($\mu = 1$) ehk laseb veeaurul läbi konstruktsiooni liikuda. Antud lahenduse puhul otsustati hüdroisolatsiooni mitte paigaldada, kuna külmasild on viidud konstruktsiooni välimisele pinnale ja tänu sellele on vee kondenseerumise risk madal. Mineraalvillasoojustust kasutati ka katuslae soojustamisel. Esimese korruse põranda soojapidavuse tagamiseks paigaldatakse 250 mm paksune Styrofoami soojustplaatide kiht ja veeküttetorudega betoonplaat.

Maakivist sokli soojustamisel võrreldi kolme erineva soojustusmaterjali soojusjuhtivust ja Glaseri meetodiga kontrolliti vee kondensuurumise riski piirdes nende lahenduste korral. Kuna soov oli säilitada maakivi arhitektuurset välisilmet interjööris või ekterjööris, võrreldi soojustuse paiknemist nii müüritise sise- kui ka välispinnal. Võrdluses kasutati välispidise soojustusena Isover FS5+ mineraalvillaplaati või Recticek Eurowall 21 polüisotsüanuraatplaati ehk PIR-plaati ning seespidise soojustusena Remmers SLP 50 N kaltsiumsilikaatplaati. Nii mineraalvillaplaadi kui PIR-plaadi puhul ei tekkinud vee kondenseerumise riski piirdes. Seespidisel soojustamisel kaltsiumsilikaatplaadiga kondensvee tekkimise oht küll on, kuid siinkohal mängib tähtsat rolli materjali kapillaaraktiivsus ja suur avatud poorsus ehk veeaur saab liikuda materjalisisest kapillaarjõudude toimel tagasi siseruumi. Suur avatud poorsus tähendab aga ka halvemat soojapidavust: kaltsiumsilikaatplaadiga soojustamisel oli hoone aastane soojakadu 12% suurem kui soojustamisel PIR-plaadiga ja 9% suurem kui soojustamisel mineraalvillaplaadiga. Niiskustehnilise toimivuse poolest olid sobivad kõik kolm materjali, kuid PIR- ja mineraalvillaga soojustamisel olid hoone soojakaod väiksemad kui CaSi-plaadiga soojustamisel. Otsus langetati PIR-plaadi kasuks, kuna materjal on tuule- ja niiskuskindel ning paigaldamine on kiire ja mugav.

Töö teises osas teostati kandevõime arvutused projekteeritavatele katusekonstruktsioonidele. Katusekandjateks on harjal omavahel ühendatud ja pennidega seotud sarikapaarid. Harjas toetuvad sarikad müüripalgile ja otstest ühendavad sarikapaare laetalad, mis on omavahel seotud palkseina toetuspinnal. Vertikaaljõud võtab toesõlmedes vastu palksein ning horisontaaljõud vahelaetalad. Sarikad ja pennid on ristlõikega 50x200 mm ning paigaldatakse sammuga 600 mm. Vahelaetalad on ristlõikega 75x200 mm ning paigaldatakse sammuga 300 mm, et tagada pikema sildega talade läbipainete jäämine lubatud piiridesse. Nii katusekandjad kui ka vahelaetalad kuuluvad tugevusklassi C16. Katusekonstruktsiooni sisejõudude leidmiseks ja arvutuste kontrollimiseks koostati varraskeem programmis *Autodesk Robot Structural Analysis (ARSAP) 2017*.

Käesolevas töös käsitleti piirete soojusjuhtivust ja katusekandjate kandevõimet. Täiendavalt tuleks uurida olemasoleva maakivivundamendi olukorda ning vajadusel seda tugevdada.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] EVS-EN ISO 13370:2008 Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2011.
- [2] EVS 908-1:2016 Hoone piirdetarindi soojuslähivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2010.
- [3] „Soojustatud välisseina hingamine ja selle arvutusmetoodika,“ [<http://www.tarmatrade.ee/File/FASSAADIDE%20HINGAMISE%20ARVUTUS.pdf>].
- [4] ET-2 0404-0764 Välisseina difusiooniarvutus, Tallinn: Eesti Ehitusteave, 2009.
- [5] „Building Science Corporation,“ 2013.
[<https://buildingscience.com/documents/information-sheets/info-502-temperature-dependent-r-value>].
- [6] „Recticel soojustusplaadi hind,“ [<http://www.soojustus.eu/Eurowall%2021.html>].
- [7] T. Masso, Ehitusfüüsika ABC soojus, niiskus, müra, EHITAME, 2012.
- [8] Francesca Tittarelli, „Degradation of Glass Mineral Wool Insulation after 25 Years in Masonry Cavity Walls,“ *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences*, kd. 1, nr 5, 2013.
- [9] „Isover FS5+ toote kirjeldus,“ [<http://www.isover.ee/tooted/isover-fs5>]
- [10] „Isover isolatsioonitoodete hinnakiri,“ [http://www.isover.ee/sites/isover.ee/files/assets/documents/hinnakiri_01_03_2015_isolatsioon.pdf].
- [11] Enrik Arumägi, Targo Kalamees, Paul Klõšeiko, „Muinsuskaitse all oleva koolimaja tellistest välisseina seespoolse lisasoojustuse soojus- ja niiskustehnilise toimivuse uuring,“ Tallinna Tehnika Ülikool, Tallinn, 2013.
- [12] „Restoration measures that save energy,“ [http://www.remmers.co.uk/fileadmin/mediapool/remmers.co.uk/brochures/facade_repair_and_restoration/767_-_restoration_measures_that_save_energy/767_restoration_measures.pdf.pdf]
- [13] „Kaltsiumsilikaatplaat Skamol Skamotec 225 hind,“ [<http://www.kaminakoda.ee/toode/kaltsiumsilikaat-plaat-skamotec-225-s-isol-skamol/>].
- [14] „KredEx - kraadpäevad,“ [<http://www.kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/>].

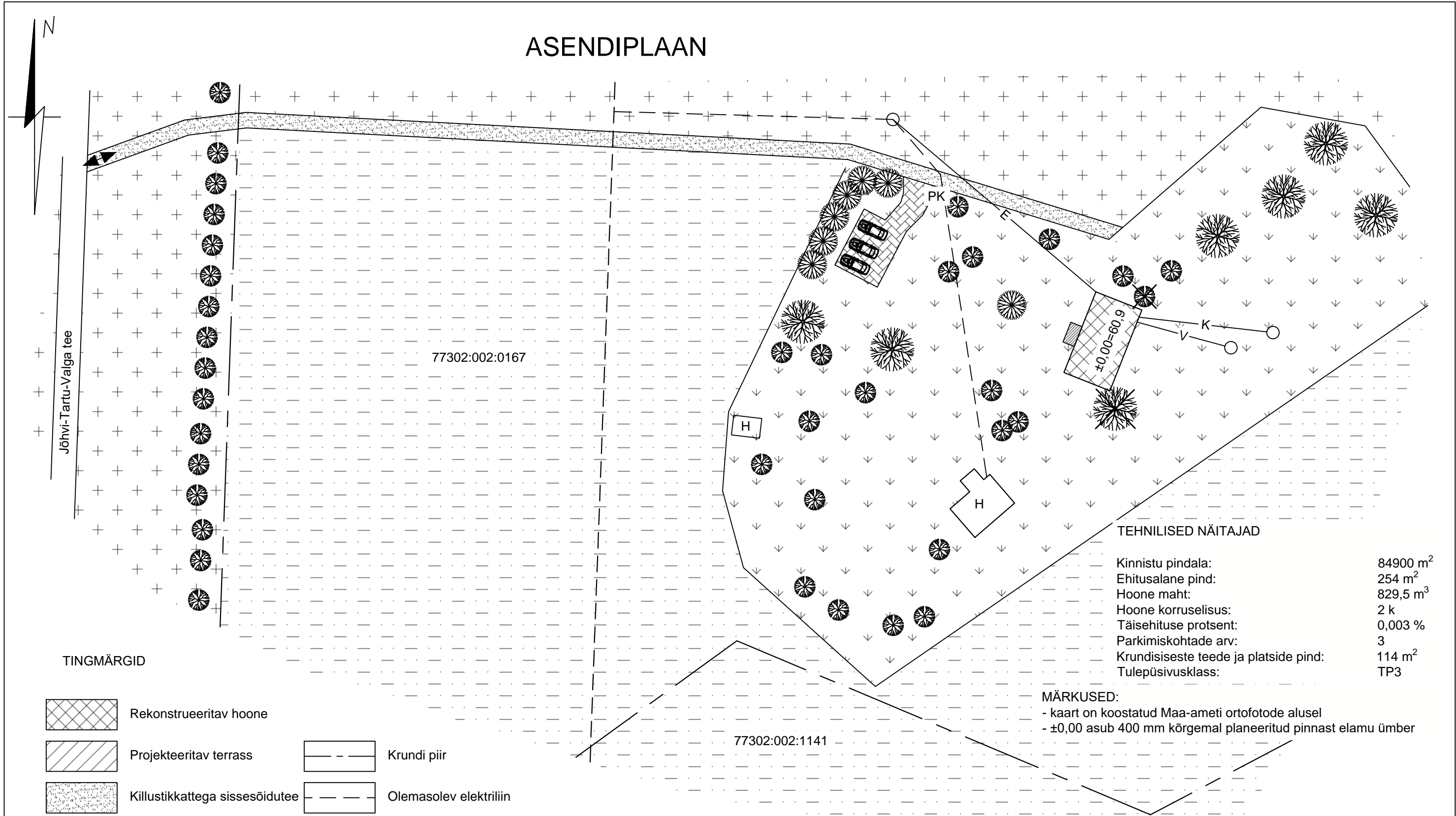
- [15] „Soklite soojustamine,“ [<http://www.tarmatrade.ee/File/soklitesoojustamine.pdf>].
- [16] EVS-EN 1990:2002+NA:2002 Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2002.
- [17] EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused . Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2002.
- [18] EVS-EN 1991-1-3:2006 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus., Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2006.
- [19] EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused.Tuulekoormus, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2007.
- [20] EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2009.
- [21] T. Masso, Ehituskonstruktorigi käsiraamat, EHITAME, 2014.
- [22] EVS-EN 1995-1-1:2005 Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2005.

LISAD

Lisa 1. Graafiline osa

Leht 1	ASENDIPLAAN
Leht 2	VAADE LÄÄNEST
Leht 3	VAADE IDAST
Leht 4	VAADE LÕUNAST
Leht 5	VAADE PÕHJAST
Leht 6	ESIMESE KORRUSE PLAAN
Leht 7	TEISE KORRUSE PLAAN
Leht 8	LÕIGE 1-1
Leht 9	LÕIGE 2-2
Leht 10	KATUSE PLAAN
Leht 11	KATUSEKANDJATE PLAAN
Leht 12	VAHELAETALADE PLAAN
Leht 13	TÜÜPLÕIGE P-1
Leht 14	TÜÜPLÕIGE P-2
Leht 15	TÜÜPLÕIGE VS-1
Leht 16	TÜÜPLÕIGE VS-2
Leht 17	TÜÜPLÕIGE VS-3
Leht 18	TÜÜPLÕIGE SS-1
Leht 19	TÜÜPLÕIGE SS-2
Leht 20	TÜÜPLÕIGE KL
Leht 21	TÜÜPLÕIGE VL-1
Leht 22	TÜÜPLÕIGE VL-2
Leht 23	SOKLI SÕLM 1
Leht 24	SOKLI SÕLM 2

ASENDIPLAAN



TEHNILISED NÄITAJAD

Kinnistu pindala:	84900 m ²
Ehitusalane pind:	254 m ²
Hoone maht:	829,5 m ³
Hoone korruselisus:	2 k
Täisehituse protsent:	0,003 %
Parkimiskohtade arv:	3
Krundisiseste teede ja platside pind:	114 m ²
Tulepüvisusklass:	TP3

MÄRKUSED:

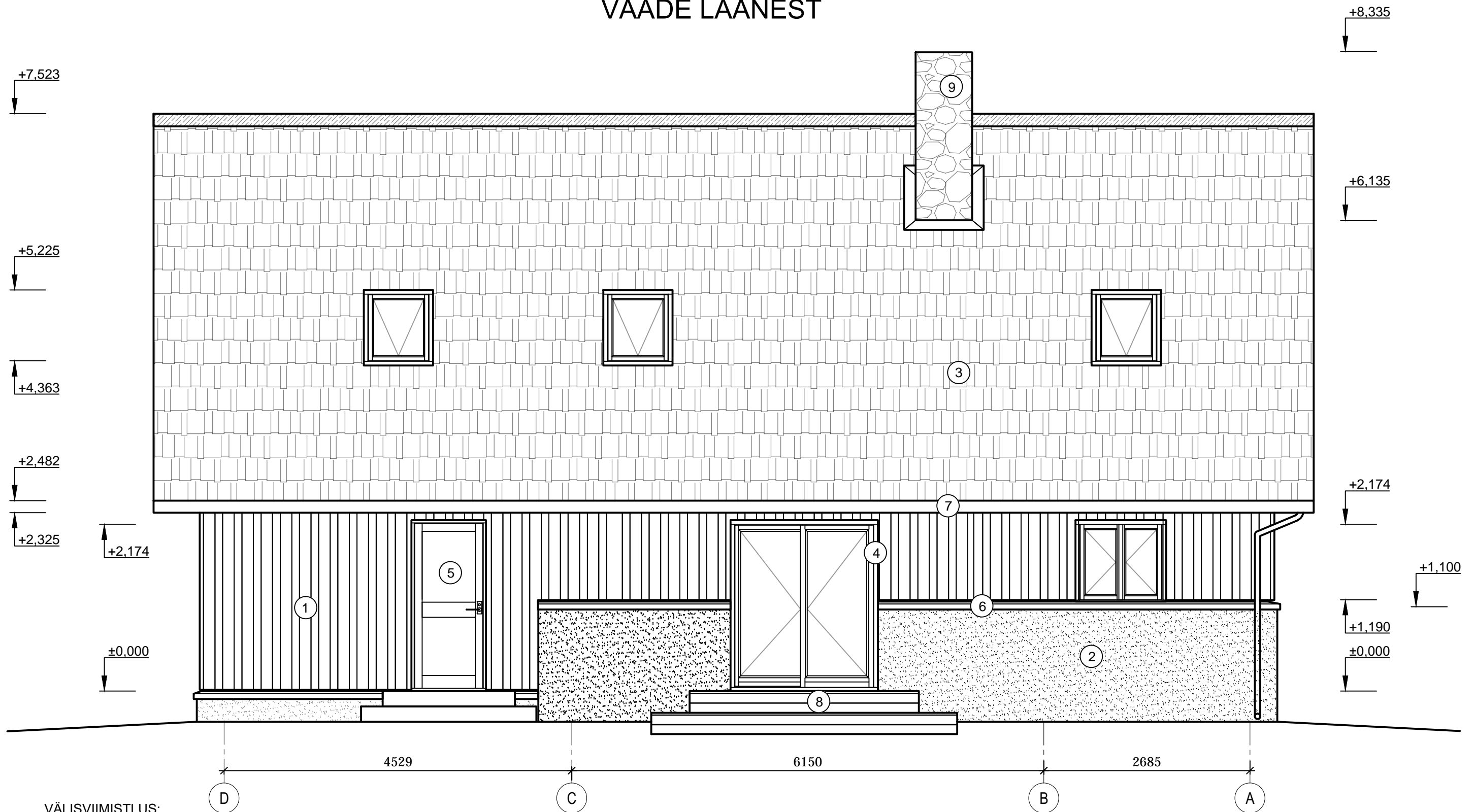
- kaart on koostatud Maa-ameti ortofotode alusel
- ±0,00 asub 400 mm kõrgemal planeeritud pinnast elamu ümber

TINGMÄRGID

	Rekonstrueeritav hoone		Krundi piir		Olemasolev kõrghaljastus
	Projekteeritav terrass		Olemasolev elektriliin		Eemaldatav puu
	Killustikkattega sissesõidutee		Rajatav elektriliin		Sissesõit - väljasõit krundile
	Betoonkivi sillutis		Rajatav veetrass		Parkimiskoht
	Heinamaa		Rajatav kanalisatsioon		Prügikonteiner
	Muru		Olemasolev hoone		
	Põllumaa				
	Katastriüksuse tunnus				

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Asendiplaan
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3
		Mõõtkava: 1:600	Leht: 1/24

VAADE LÄÄNEST

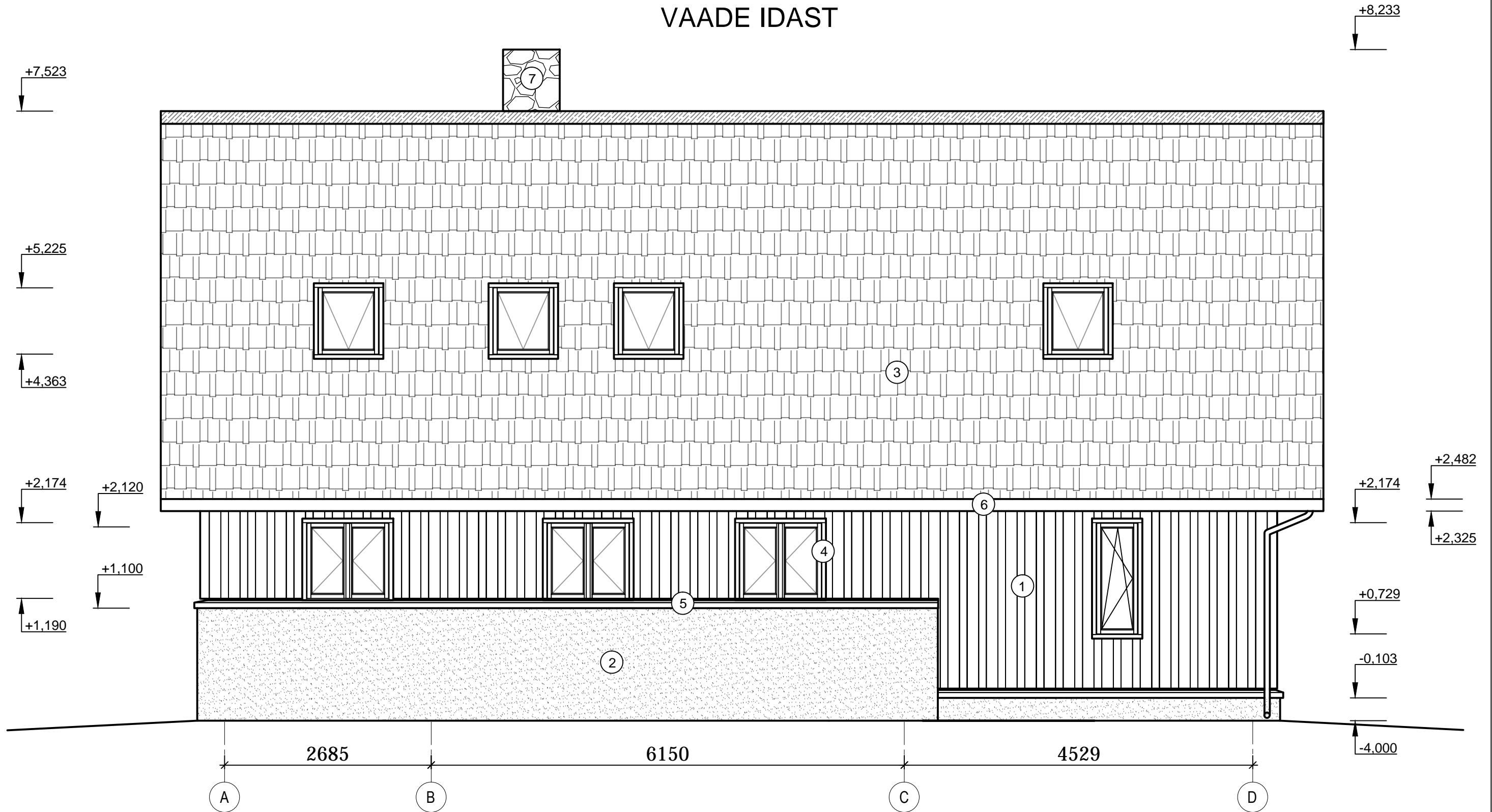


VÄLISVIIMISTLUS:

- | | |
|---|--------------------------------|
| ① Vertikaalne puitvooder, toon RAL 7032 | ⑥ Veeplekk, toon RAL 7030 |
| ② Lubikrohv | ⑦ Vihmaveerenn, toon RAL 7030 |
| ③ Puitlaastkate | ⑧ Terrassilauad, toon RAL 1001 |
| ④ Aknaraamid, toon RAL 9001 | ⑨ Maakividest korsten |
| ⑤ Välisuks, toon RAL 9001 | |


 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Vaade läänest
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3
		Mõõtkava: 1:50	Leht: 2/24

VAADE IDAST

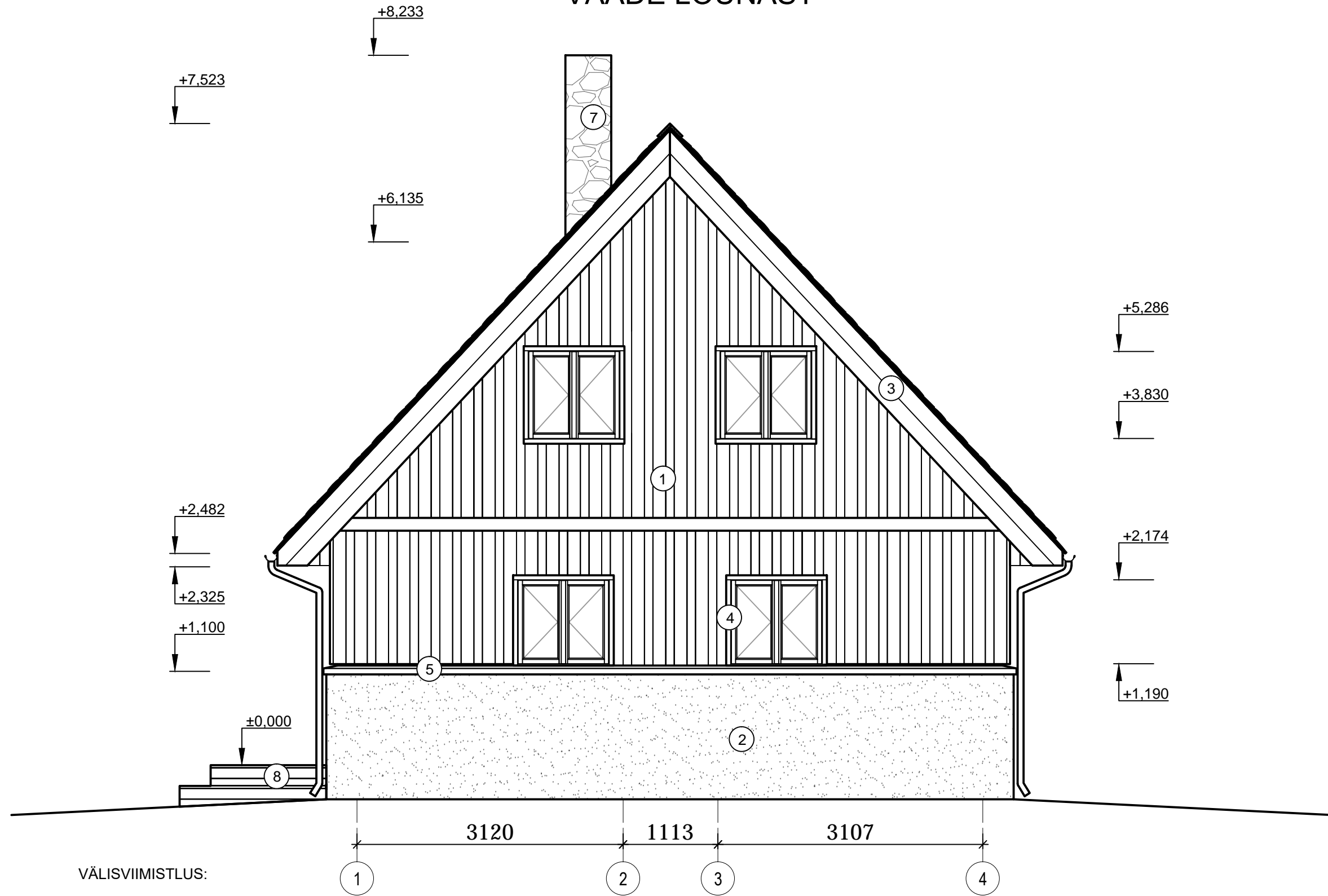


VÄLISVIIMISTLUS:

- | | |
|---|-------------------------------|
| ① Vertikaalne puitvooder, toon RAL 7032 | ⑤ Veeplekk, toon RAL 7030 |
| ② Lubikrohv | ⑥ Vihmaveerenn, toon RAL 7030 |
| ③ Puitlaastkate | ⑦ Maakividest korsten |
| ④ Aknaraamid, toon RAL 9001 | |

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Vaade läänest
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3
		Mõõtkava: 1:50	Leht: 3/24

VAADE LÕUNAST

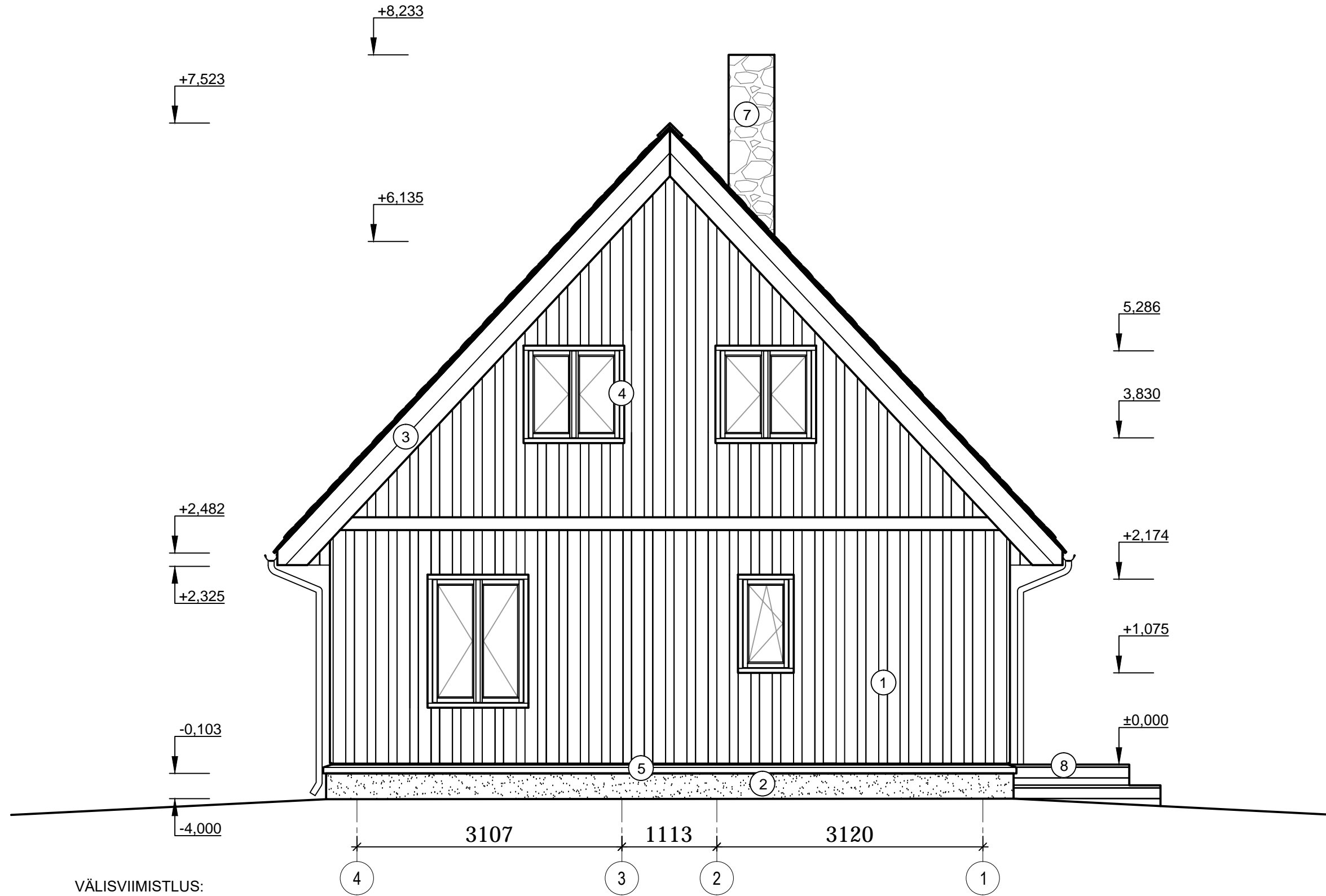


VÄLISVIIMISTLUS:

- | | |
|---|-------------------------------|
| ① Vertikaalne puitvooder, toon RAL 7032 | ⑤ Veeplekk, toon RAL 7030 |
| ② Lubikrohv | ⑥ Vihmaveerenn, toon RAL 7030 |
| ③ Räästalaud, toon RAL 7034 | ⑦ Maakividest korsten |
| ④ Aknaraamid, toon RAL 9001 | ⑧ Terrassilaud, toon RAL 1001 |

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Vaade põhjast
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3
		Mõõtkava: 1:50	Leht: 4/24

VAADE PÕHJAST



VÄLISVIIMISTLUS:

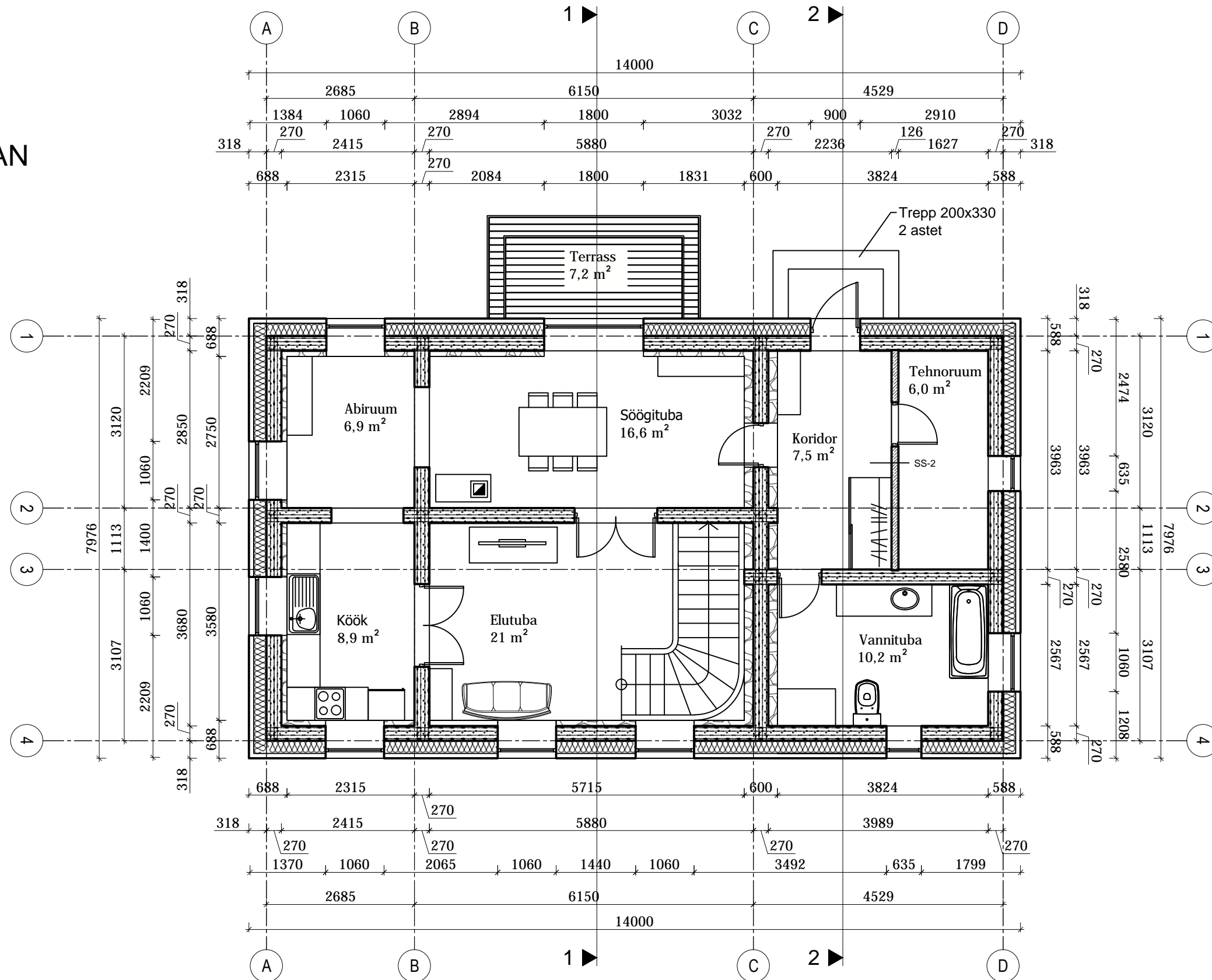
- | | |
|---|-------------------------------|
| ① Vertikaalne puitvooder, toon RAL 7032 | ⑤ Veeplekk, toon RAL 7030 |
| ② Lubikrohv | ⑥ Vihmaveerenn, toon RAL 7030 |
| ③ Räästalaud toon RAL 7034 | ⑦ Maakividest korsten |
| ④ Aknaraamid, toon RAL 9001 | ⑧ Terrassilaud, toon RAL 1001 |

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Vaade põhjast
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3
		Mõõtkava: 1:50	Leht: 5/24

1. KORRUSE PLAAN

TINGMÄRGID:

-  Palksein
-  Mineraalvilla soojustus
-  Laastkate
-  Maakivi müüritis

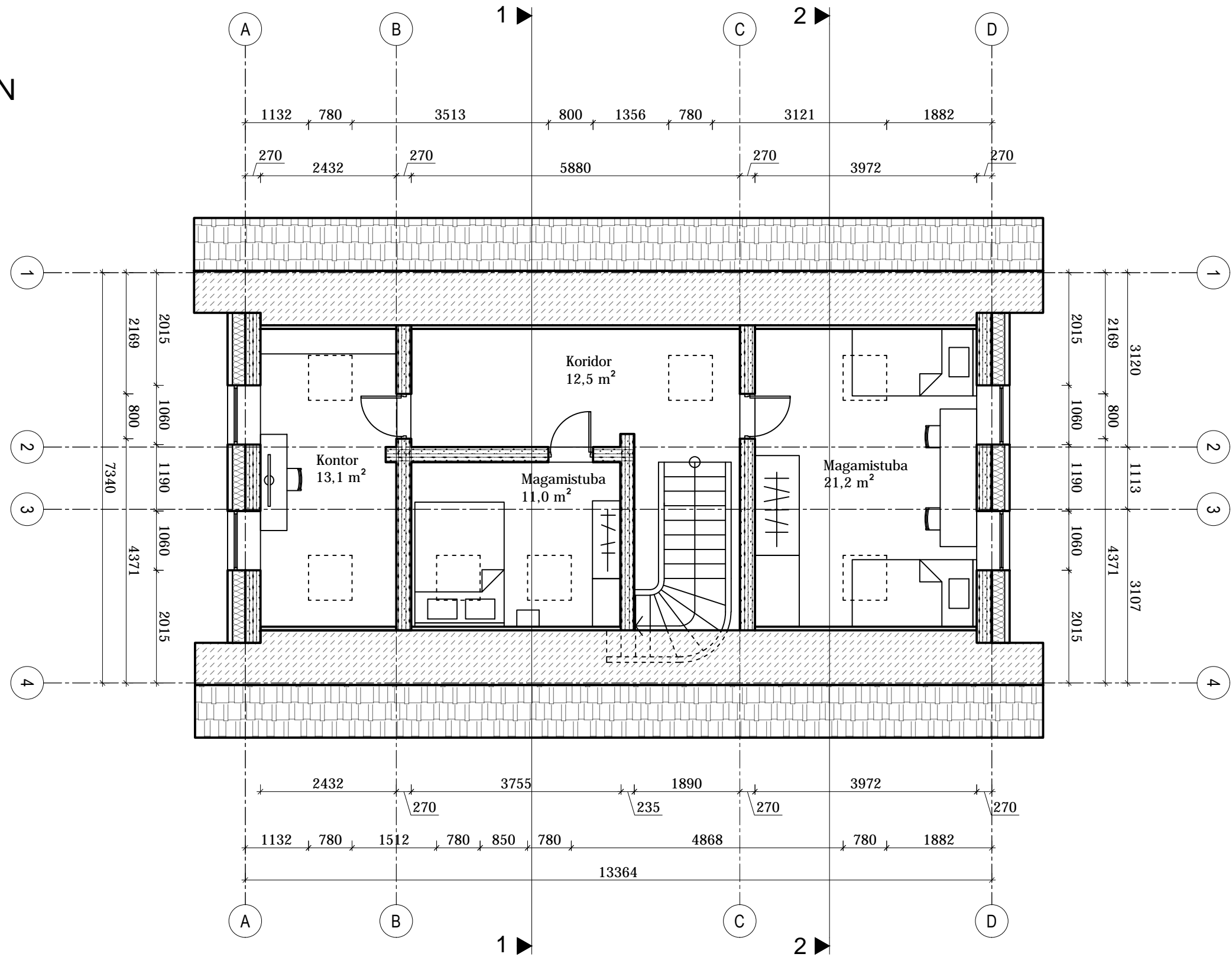


 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: 1. korruse plaan
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3
		Mõõtkava: 1:80	Leht: 6/24

2. KORRUSE PLAAN

TINGMÄRGID:




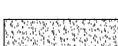

-  Palksein
-  Mineraalvilla soojustus
-  Laastkate
-  Katuslagi lõikes

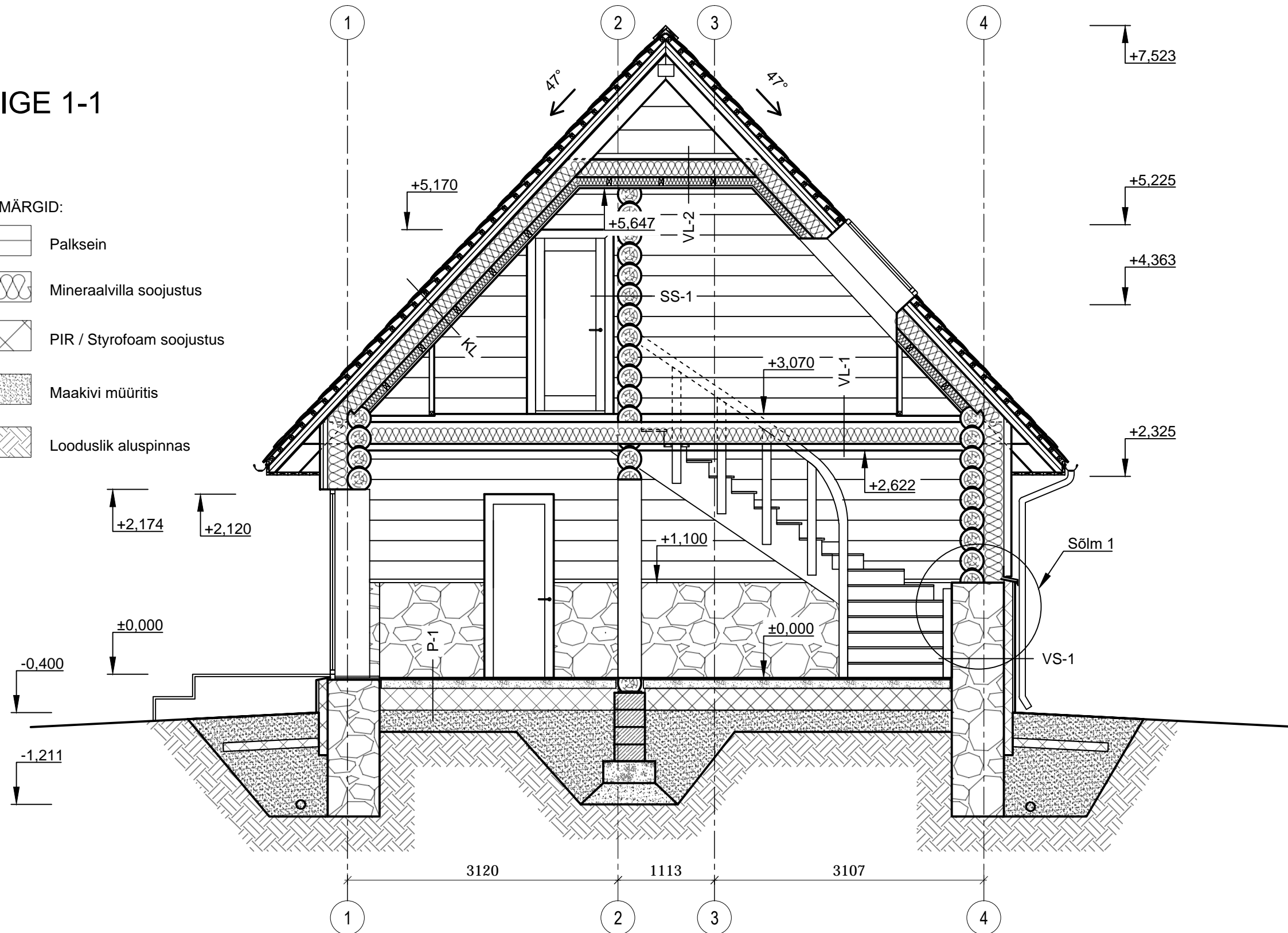


 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(alkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(alkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: 2. korruse plaan
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3 Mõõtkava: 1:75 Leht: 7/24

LÕIGE 1-1

TINGMÄRGID:

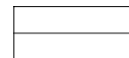
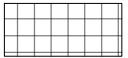
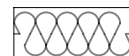


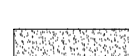

-  Palksein
-  Mineraalvilla soojustus
-  PIR / Styrofoam soojustus
-  Maakivi müüritis
-  Looduslik aluspinnas

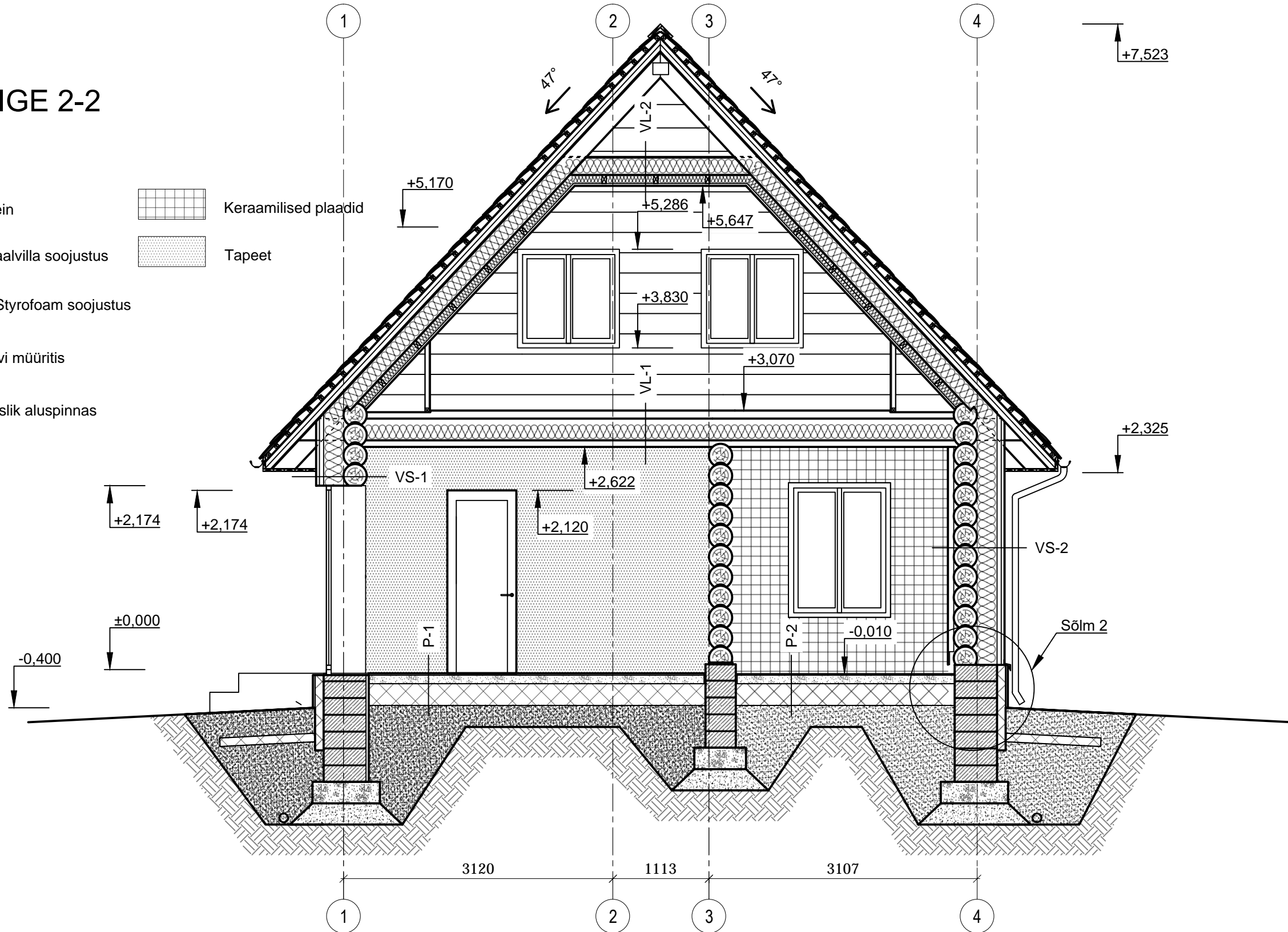


 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(alkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(alkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Lõige 1-1
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3 Mõõtkava: 1:50 Leht: 8/24

LÕIGE 2-2

TINGMÄRGID:

-  Palksein
-  Keraamilised plaadid
-  Mineraalvilla soojustus
-  Tapeet
-  PIR / Styrofoam soojustus
-  Maakivi müüritis
-  Looduslik aluspinnas

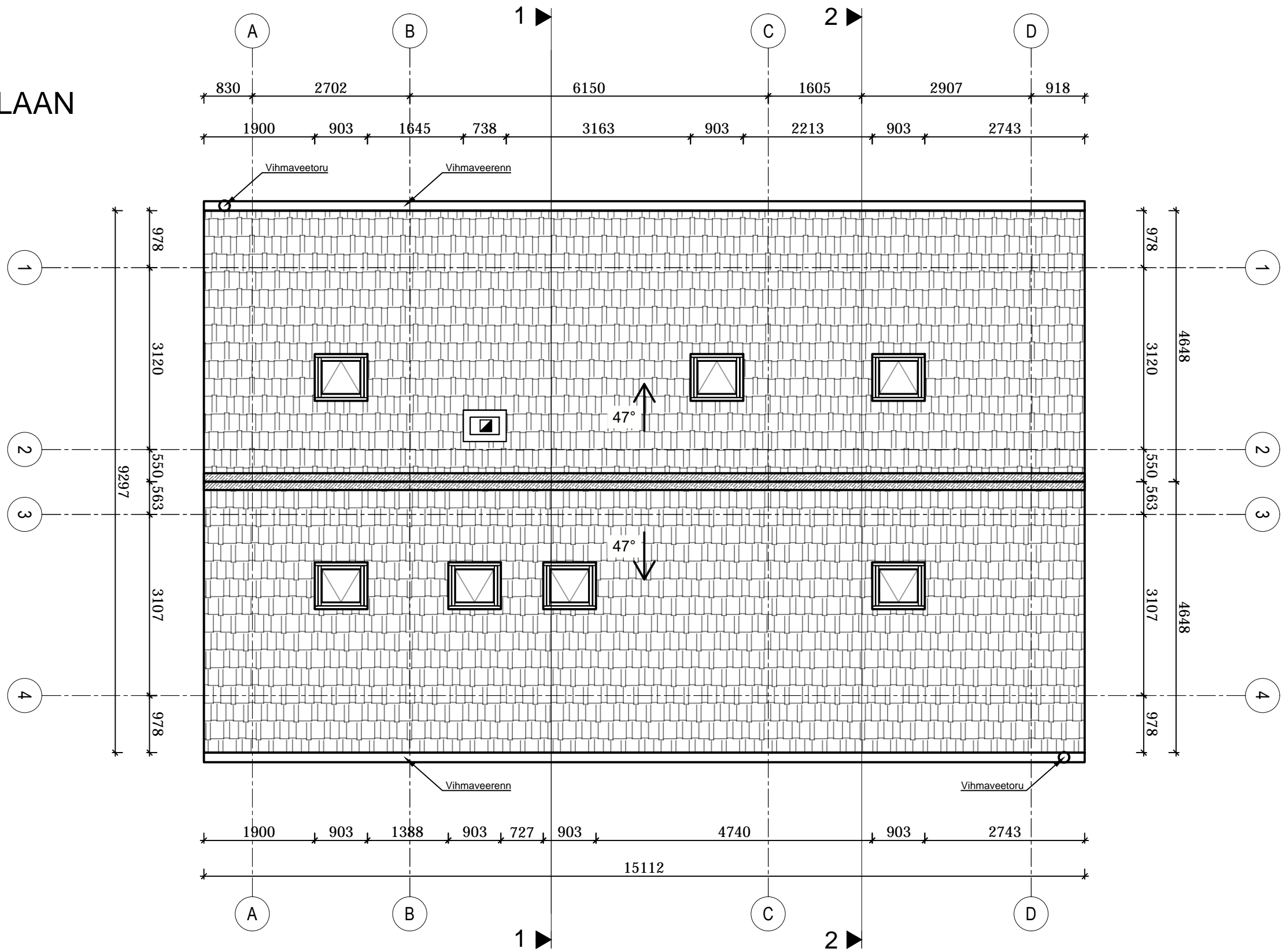


 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus:	
		Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(alkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(alkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Lõige 2-2
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev:	Formaat:
		24.05.17	A3
		Mõõtkava:	Leht:
		1:50	9/24

KATUSE PLAAN

TINGMÄRGID:

 Puitlaastkate



 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Katuse plaan
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3
		Mõõtkava: 1:75	Leht: 10/24

KATUSEKANDJATE PLAAN

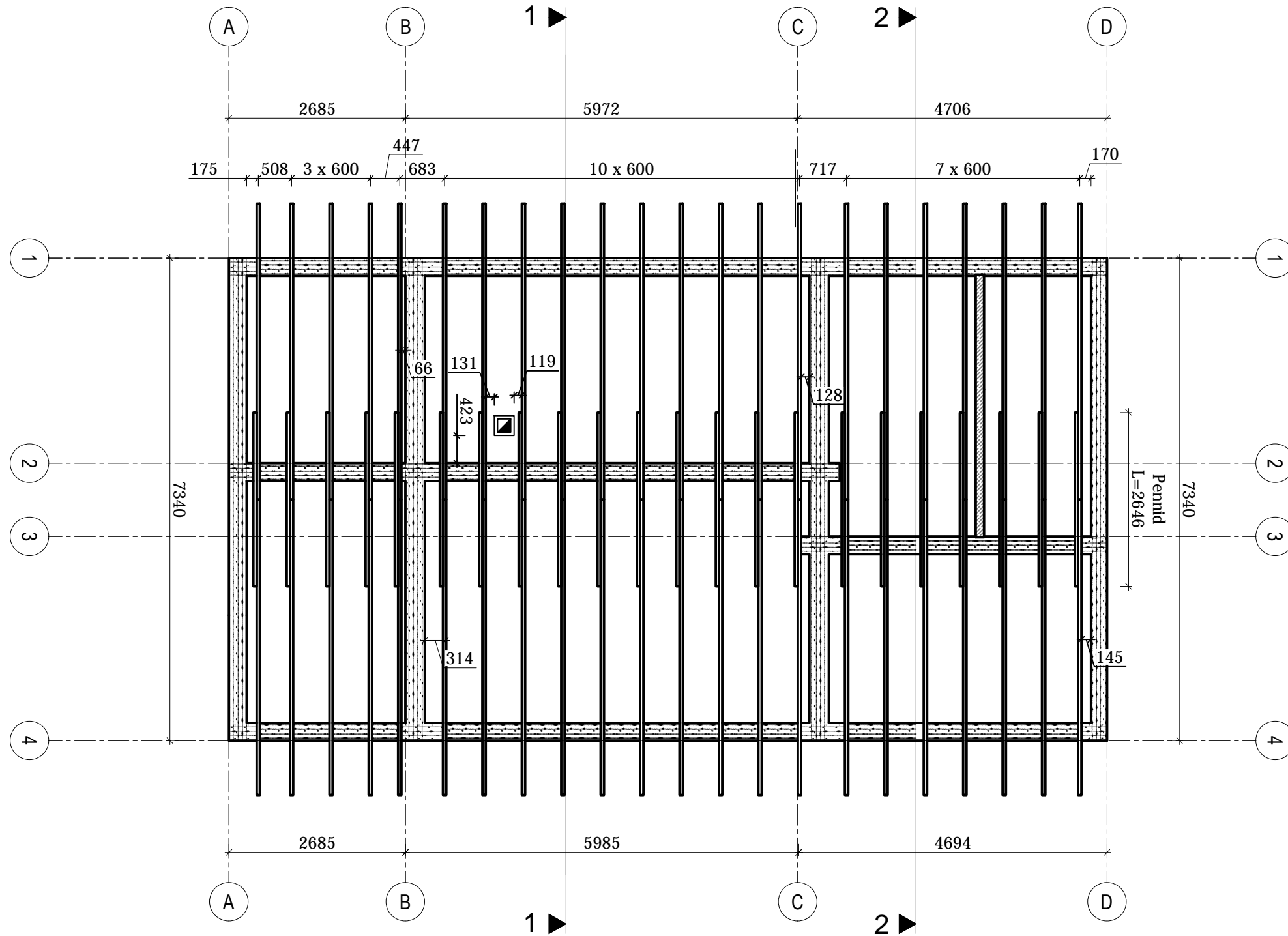
TINGMÄRGID:



Palksein



Puitkarkass-sein

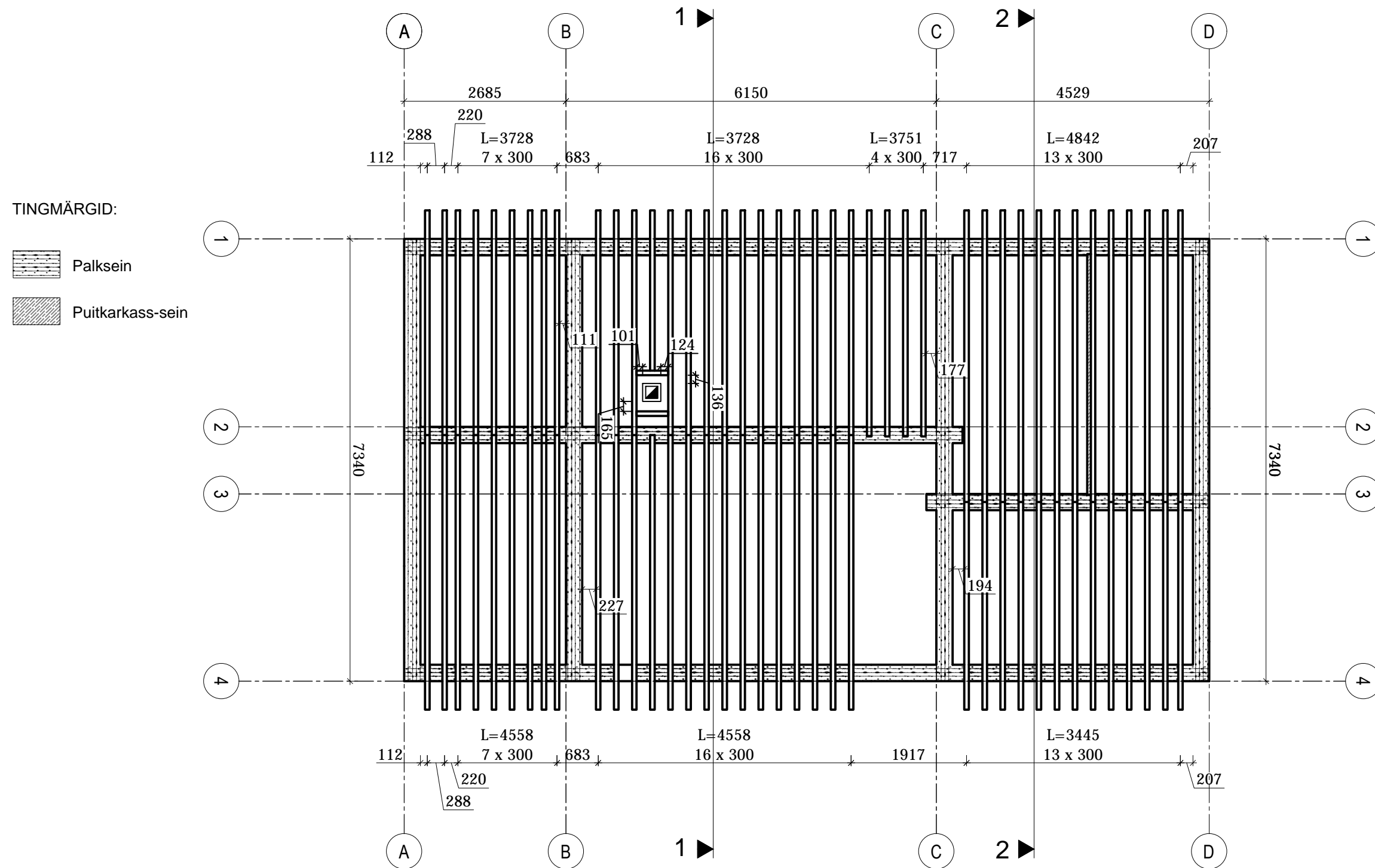


MÄRKUS:

Sarikad ja pennid on ristlõikega 50x200 ja kuuluvad tugevusklassi C16

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Katusekandjate plaan
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3
		Mõõtkava: 1:75	Leht: 11/24

VAHELAETALADE PLAAN

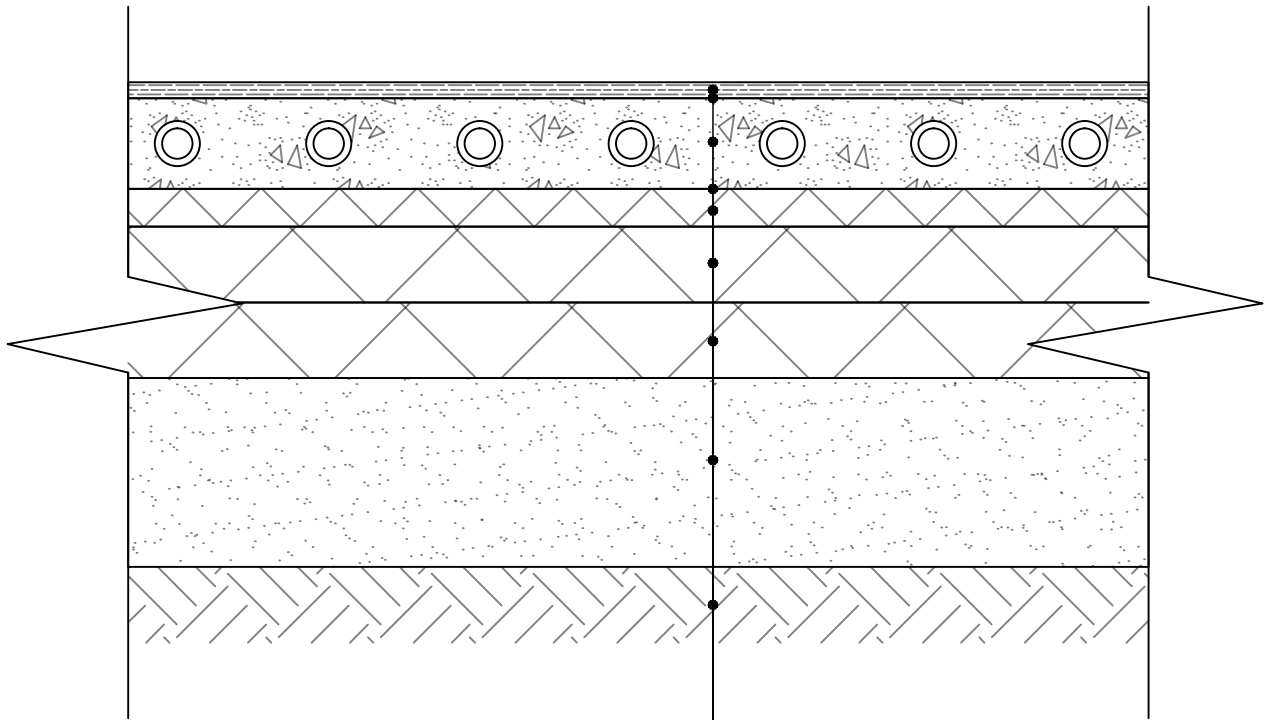


MÄRKUSED:

Vahelaetalad on ristlõikega 75x200 ja kuuluvad tugevusklassi C16
 Talad on omavahel ühendatud terasest naelutusplaadiga seinal liitumiskohas

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Vahelaetalade plaan
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A3
		Mõõtkava: 1:75	Leht: 12/24

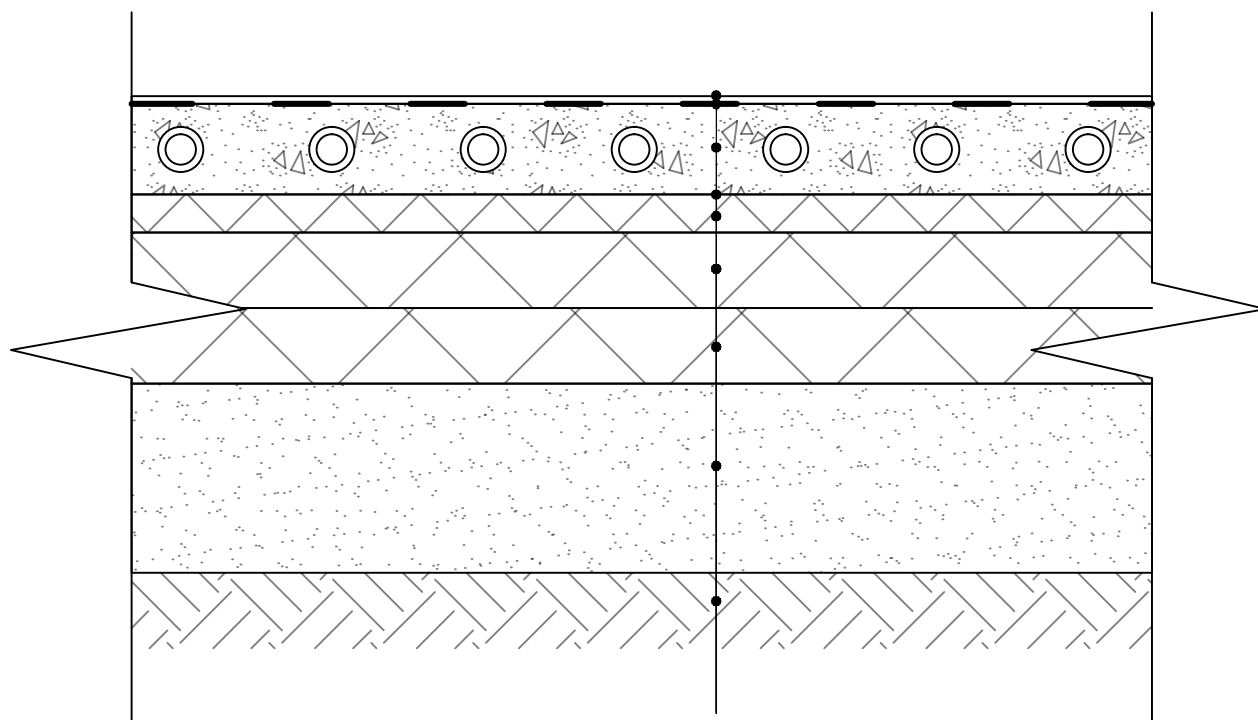
Põrand pinnasel P-1



Laudparkettpõrand 20 mm
 Aluskate
 Betoonplaat 100 mm (vesiküttetorud)
 Polüetüleenkile
 Styrofoam 50 mm
 Styrofoam 100 mm
 Styrofoam 100 mm
 Tihendatud liiv 200 mm
 Looduslik aluspinnas

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige P-1
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:10 Leht: 13/24

Põrand pinnasel P-2



Laudparkettpõrand 20 mm
 Aluskate
 Betoonplaat 100 mm (vesiküttetorud)
 Polüetüleenkile
 Styrofoam 50 mm
 Styrofoam 100 mm
 Styrofoam 100 mm
 Tihendatud liiv 200 mm
 Looduslik aluspinnas

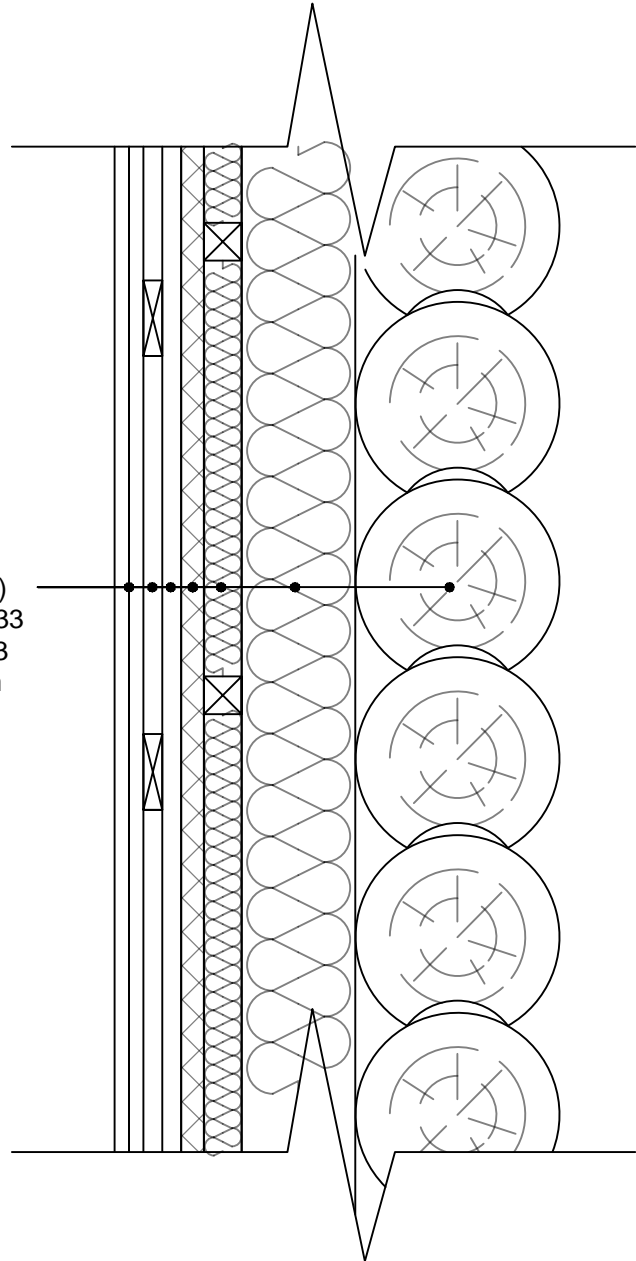
MÄRKUSED:

Vajadusel betoonplaadile kalded vee ärajuhtmiseks trappi (kalle 1:80)

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige P-2
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:10 Leht: 14/24

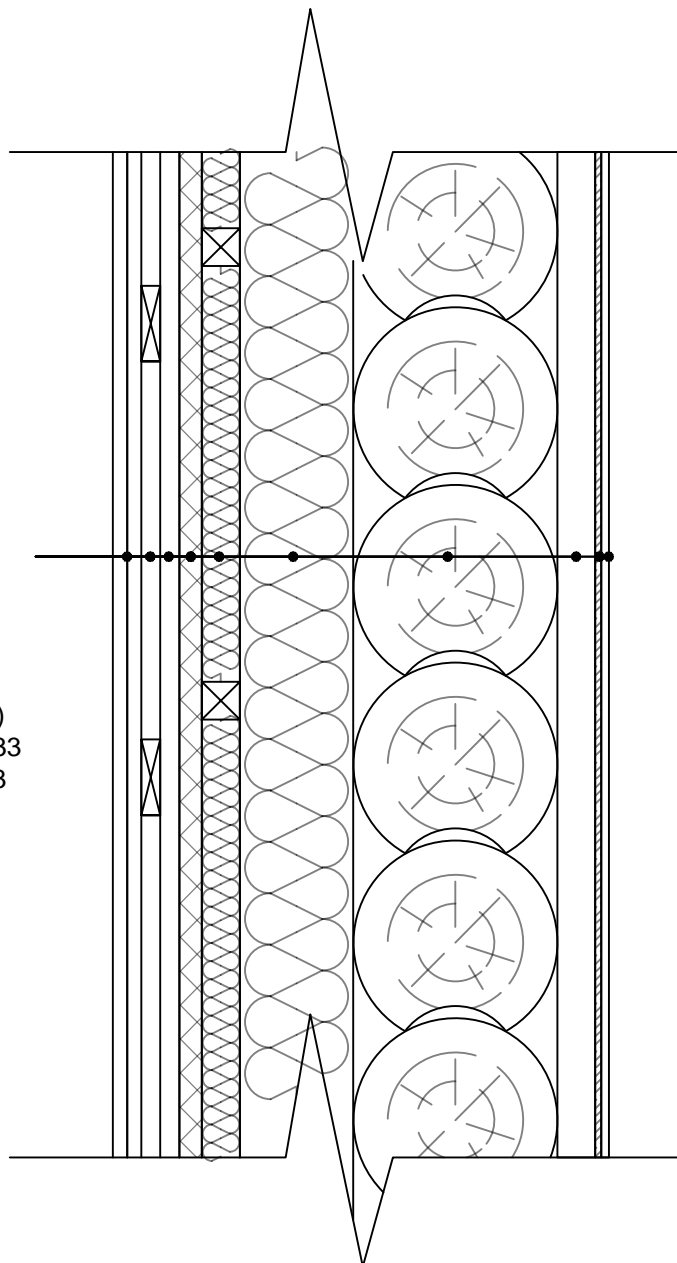
Välissein VS-1

Rõhtpalksein 270 mm (vara vahel Isover SK-C)
 Ver. karkass 50x150 mm + min. vill Isover KL-33
 Hor. karkass 50x50 mm + min. vill Isover KL-33
 Tuuletõkkeplaat Isover RKL-31 Facade 30 mm
 Ver. distantliist 25 mm
 Hor. distantliist 25 mm
 Vertikaalne laudis 19 mm
 Vertikaalne laudis 19 mm



 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige VS-1
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A4
		Mõõtkava: 1:10	Leht: 15/24

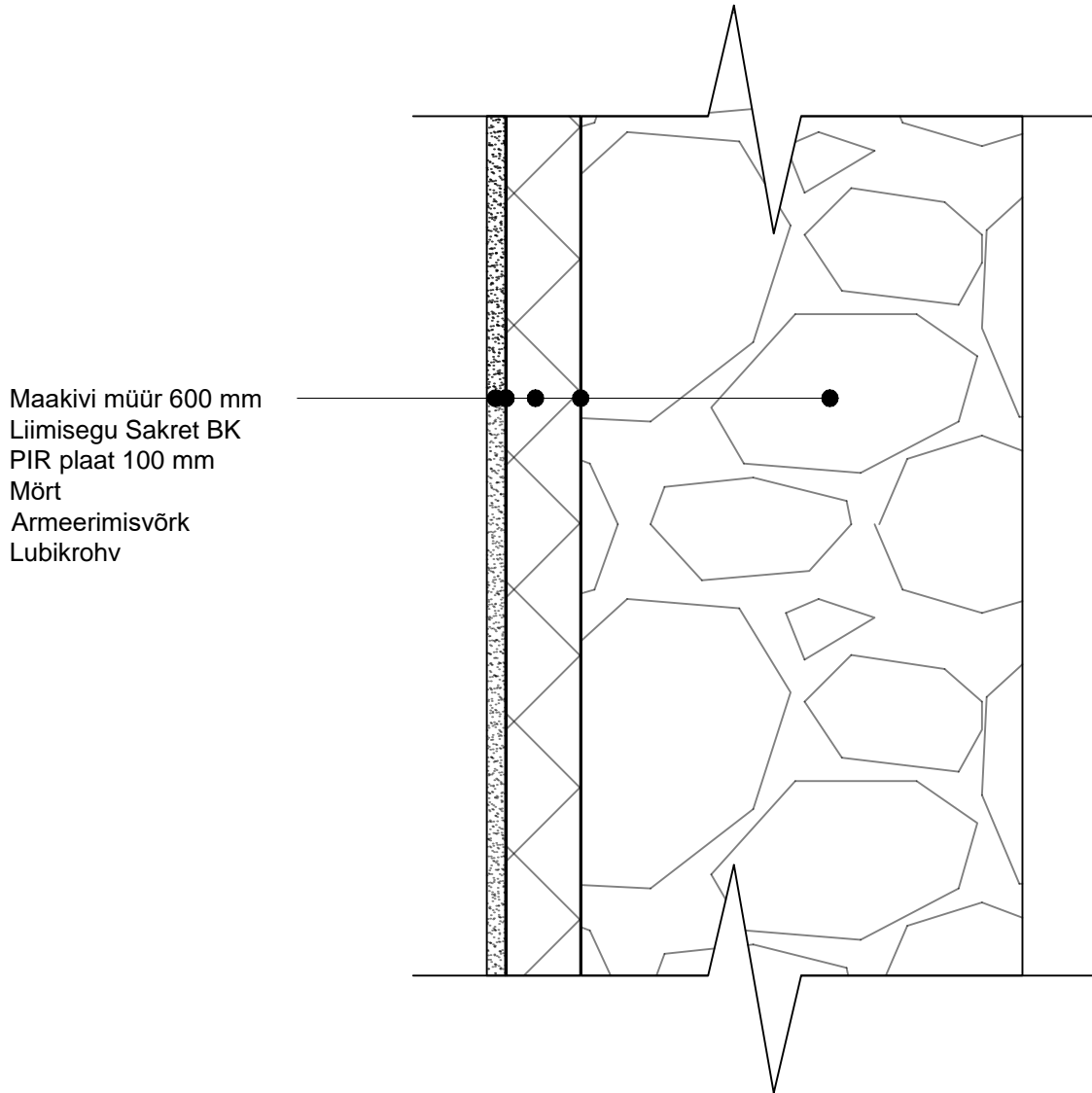
Välissein VS-2



Keraamilised plaadid
 Plaatimisegu
 Veetõke
 Tsementkiudplaat Cembrit Aqua Block 8 mm
 Ver. roovid 50x50 mm (s. 400 mm)
 Rõhtpalksein 270 mm (vara vahel Isover SK-C)
 Ver. karkass 50x150 mm + min. vill Isover KL-33
 Hor. karkass 50x50 mm + min. vill Isover KL-33
 Tuuletõkkeplaat Isover RKL-31 Facade 30 mm
 Ver. distantliist 25 mm
 Hor. distantliist 25 mm
 Vertikaalne laudis 19 mm
 Vertikaalne laudis 19 mm

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige VS-2
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:10 Leht: 16/24

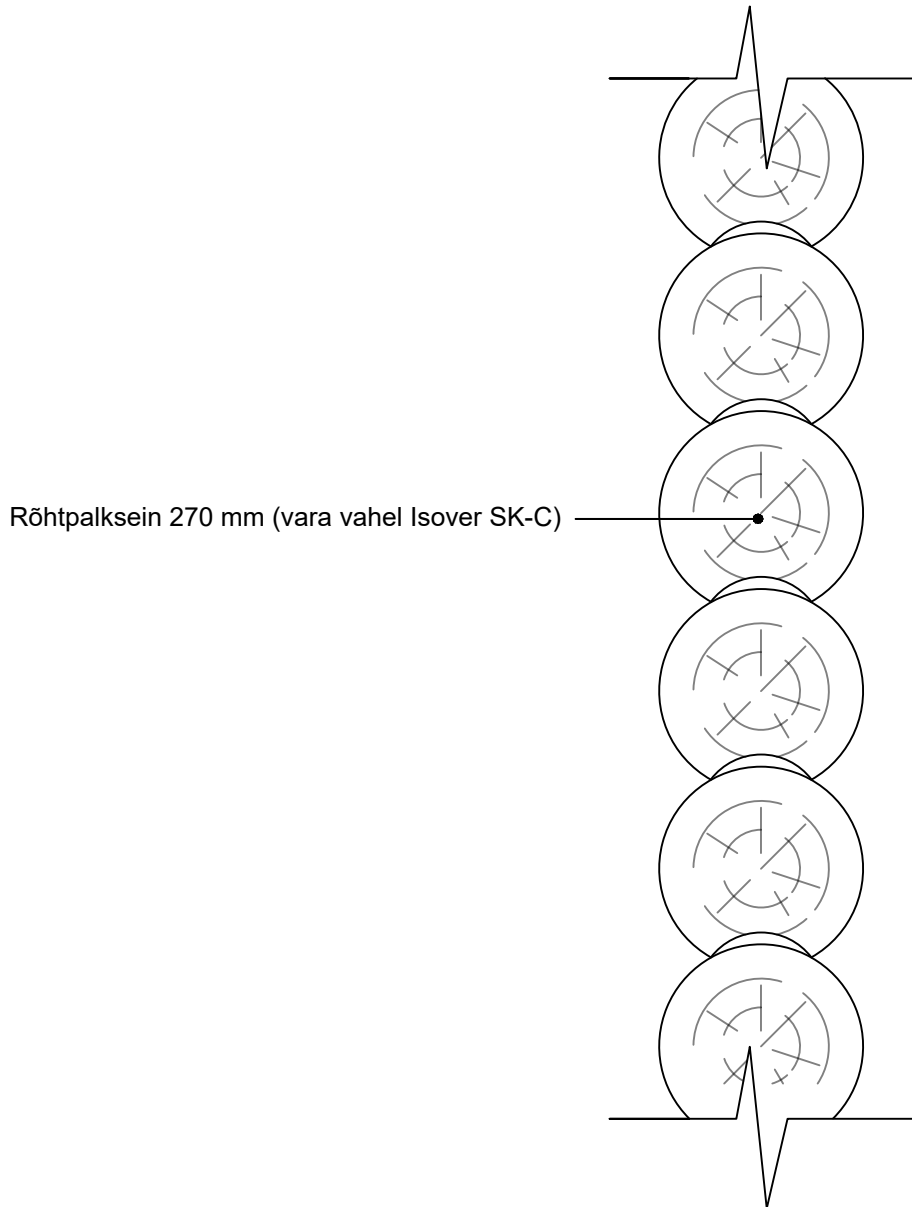
Välissein VS-3




Maakivi müür 600 mm
 Liimisegu Sakret BK
 PIR plaat 100 mm
 Mört
 Armeerimisvõrk
 Lubikrohv

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige VS-3
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:10 Leht: 17/24

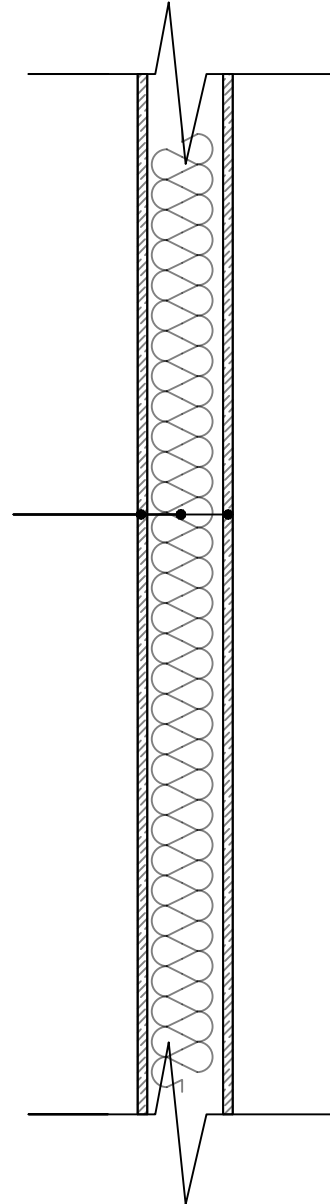
Sisesein SS-1




	TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel				
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö			
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige SS-1			
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž			Kuupäev: 24.05.17	Formaat: A4	Möötkava: 1:10	Leht: 18/24

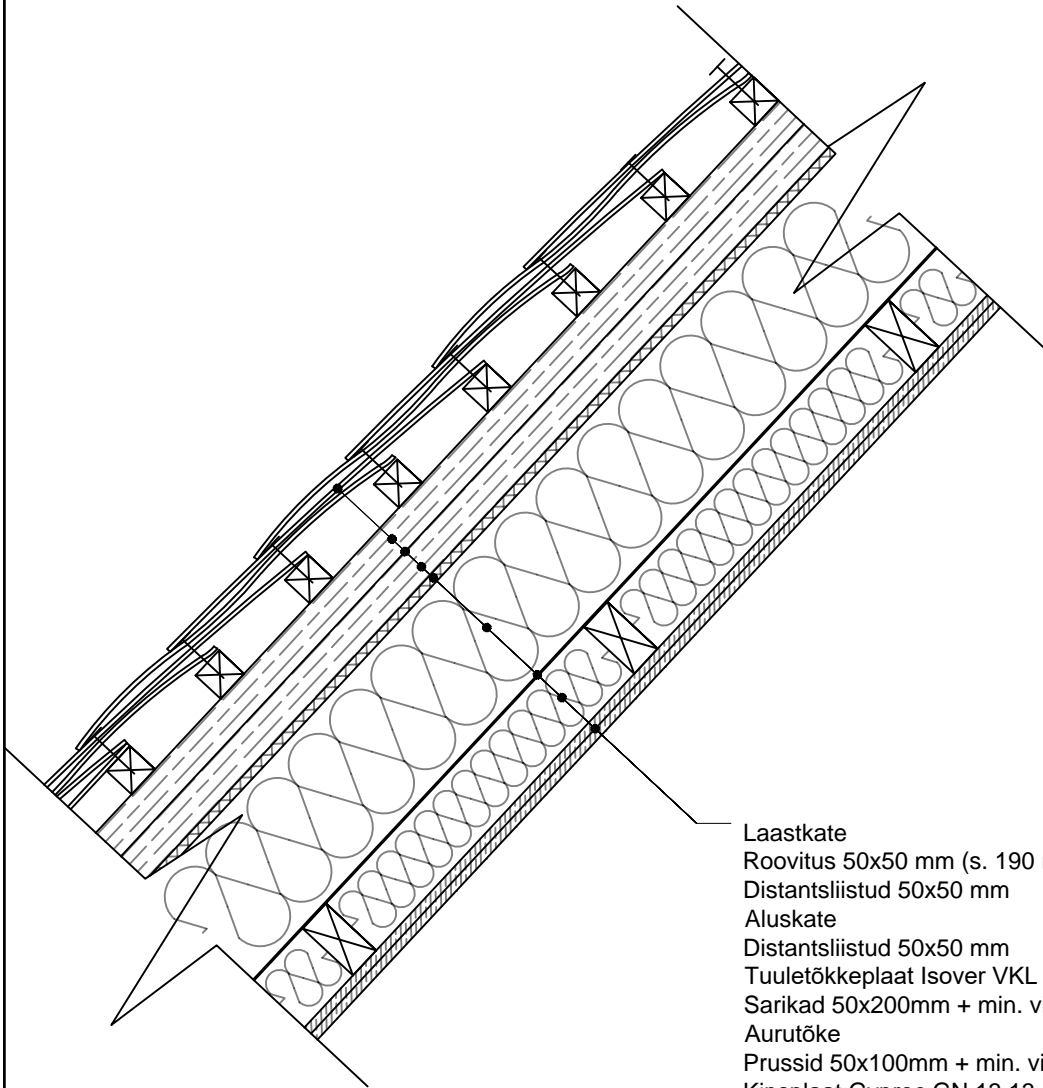
Sisesein SS-2

Kipsplaat Gyproc GN13 13 mm
 Ver. karkass 50x100 mm + min. vill Isover KL-37
 Kipsplaat Gyproc GN13 13 mm



 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige SS-2
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:10 Leht: 19/24

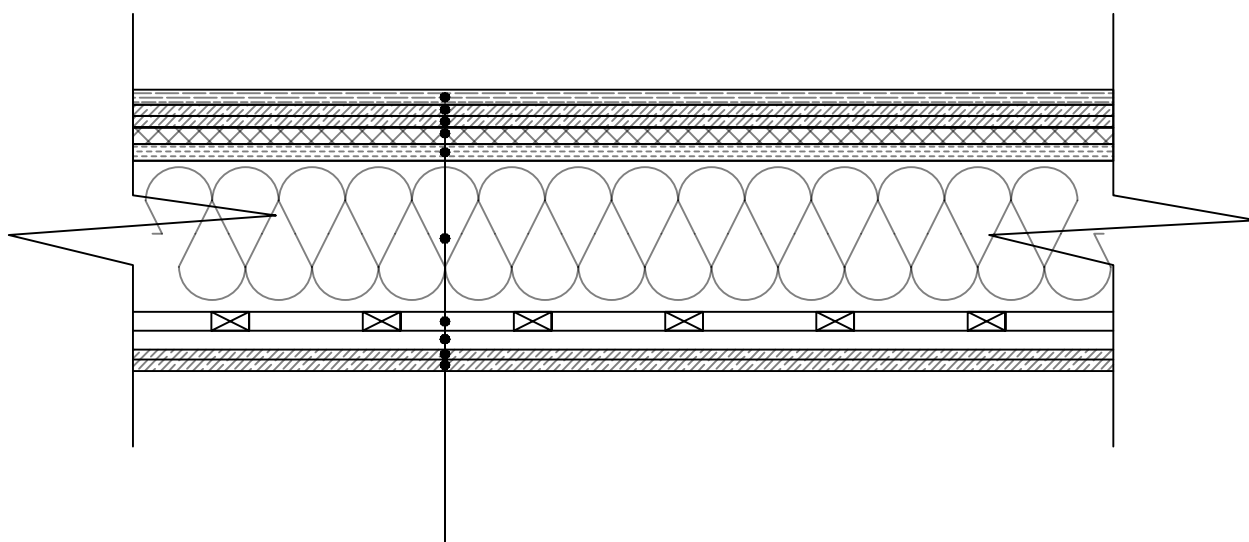
Katuslagi KL



Laastkate
 Roovitus 50x50 mm (s. 190 mm)
 Distantслиistud 50x50 mm
 Aluskate
 Distantслиistud 50x50 mm
 Tuuletõkkeplaat Isover VKL 13 mm
 Sarikad 50x200mm + min. vill Isover KL-33 (s. 600 mm)
 Aurutõke
 Prussid 50x100mm + min. vill Isover KL-33 (s. 400 mm)
 Kipsplaat Gyproc GN 13 13 mm
 Kipsplaat Gyproc GN 13 13 mm

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige KL
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:10 Leht: 20/24

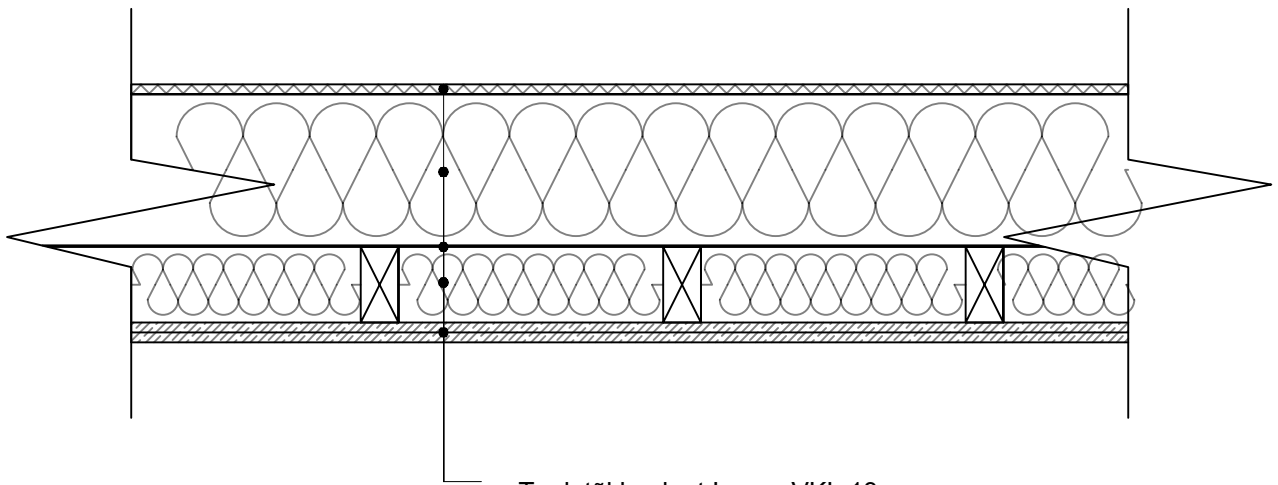
Vahelagi VL-1



Laudparkettpõrand 20 mm
 Aluskate
 Põrandaplaat Gyproc GL 15 15 mm
 Põrandaplaat Gyproc GL 15 15 mm
 Mürasummutusplaat Isover FLO 22 mm
 Puitlaastplaat 105B 22 mm
 Talad 75x200 mm + Isover KL-37 (s. 600 mm)
 Laudis 25x50 mm (s. 200 mm)
 Kipsplaat Gyproc GN 13 13 mm
 Kipsplaat Gyproc GF 15 15 mm

 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige VL-1
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:10 Leht: 21/24

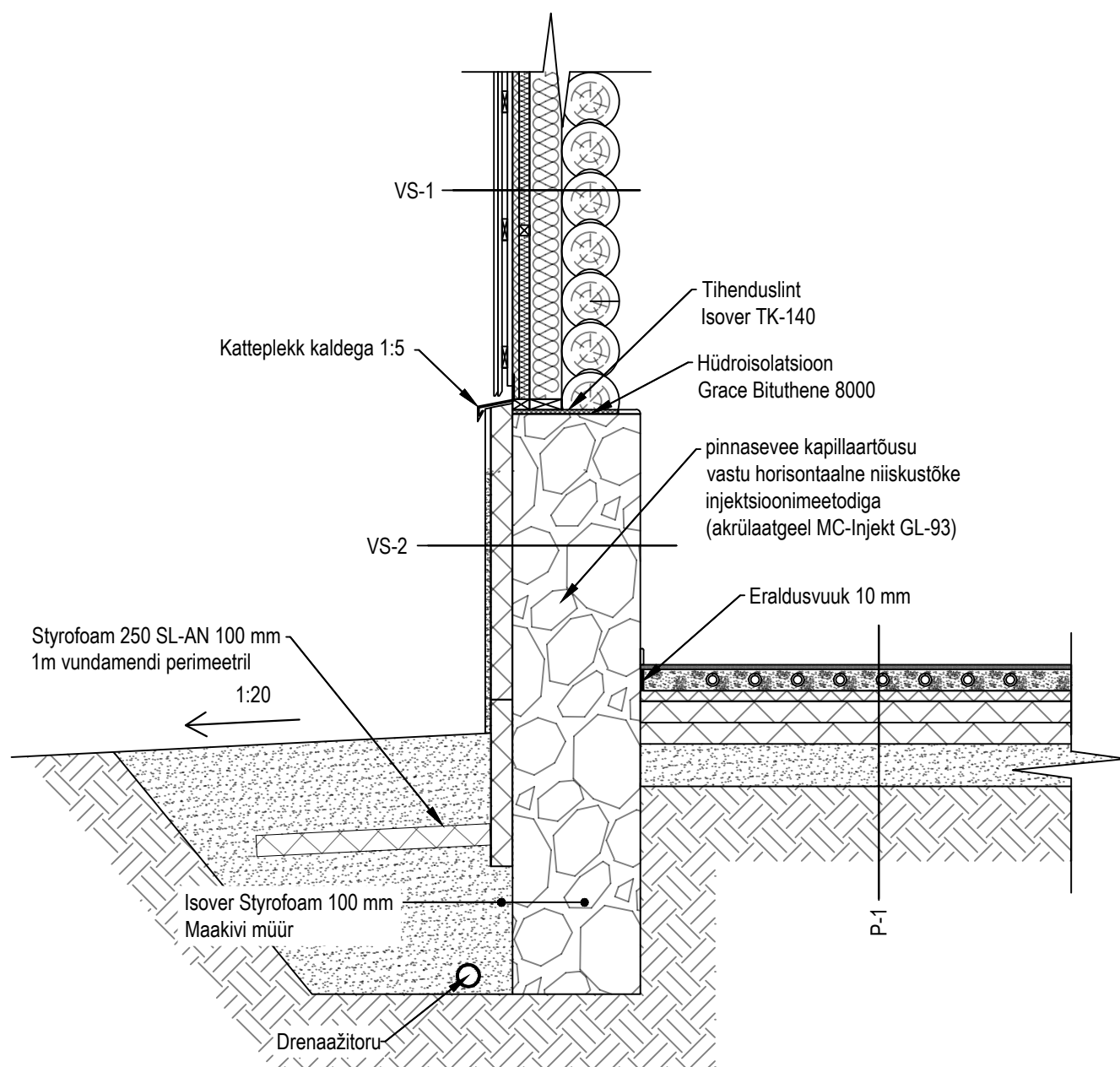
Pööningu vahelagi VL-2



Tuuletõkkeplaat Isover VKL 13 mm
 Penn 50x200mm + min. vill Isover KL-33 200 mm
 Aurutõke Isover Vario Duplex
 Prussid 50x100mm + min. vill Isover KL-33 100 mm
 Kipsplaat Gyproc GN 13 13 mm
 Kipsplaat Gyproc GN 13 13 mm

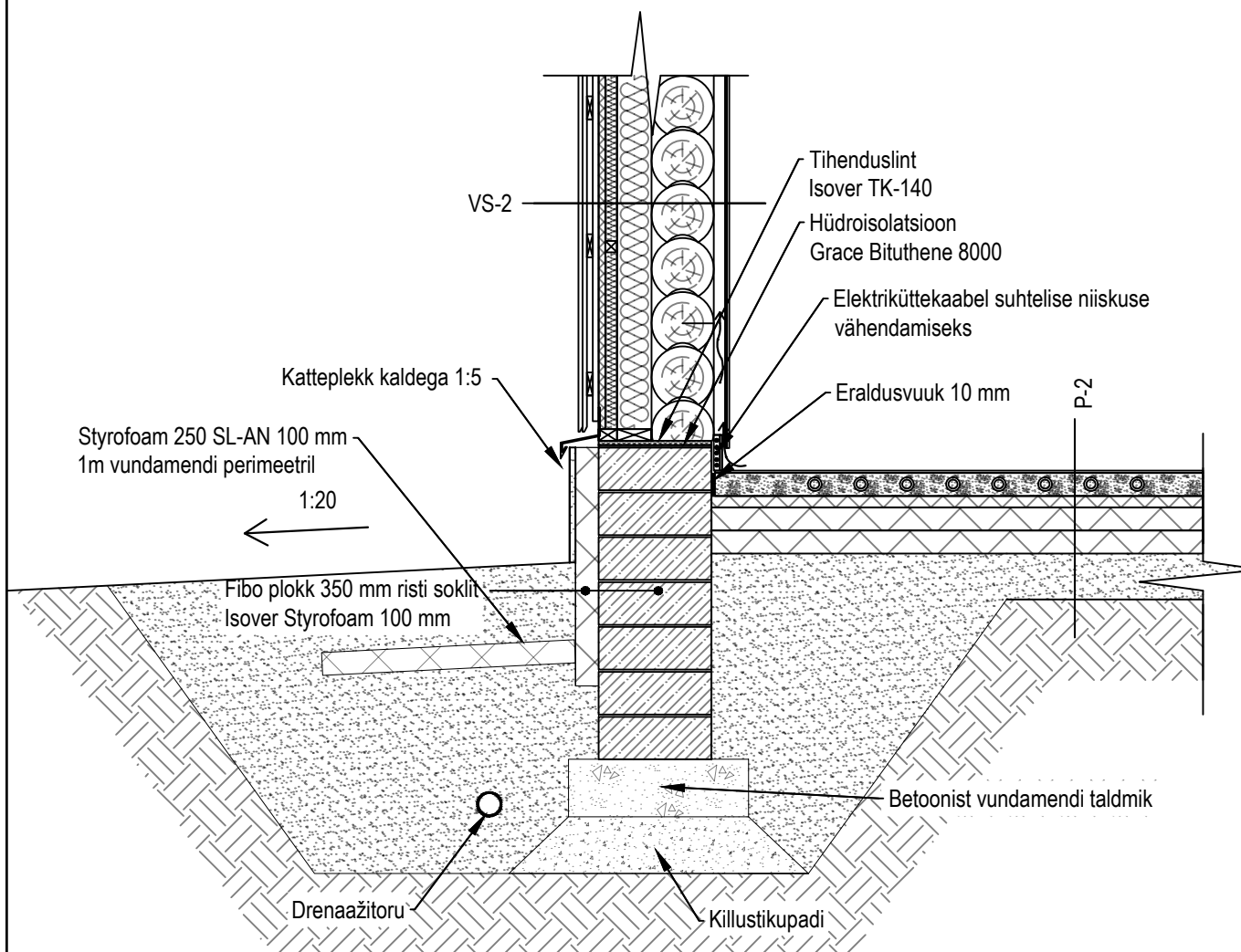
 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Tüüplõige VL-2
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:10 Leht: 22/24

Sõlm 1



 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Sokli sõlm 1
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:30 Leht: 23/24

Sõlm 2



 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY		Töö nimetus: Lauda rekonstrueerimine elumajaks Sepa talu lauda näitel	
Koostas:	Ingrid Pöder	(allkiri, kuupäev)	Töö liik: Inseneriõppe lõputöö
Juhendas:	Illimar Kalk	(allkiri, kuupäev)	Joonise nimetus: Sokli sõlm 2
Inseneriteaduskond Tartu Kolledž		Kuupäev: 24.05.17	Formaati: A4 Mõõtkava: 1:30 Leht: 24/24