

## **TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED**

ASSESSMENT OF WOODEN CONSTRUCTIONS OF TARTU, MARJA 16 BUILDING,  
STRENGTH CALCULATIONS AND RESTORATION SOLUTIONS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ragne Suvinõmm

Üliõpilaskood: 153841EAEI

Juhendajad: Nele Nutt  
Kalle Pilt

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 202.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 202.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Ragne Suvinõmm (sünnikuupäev: 07.05.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Tartu, Marja 16 korterelamu puitkonstruktsioonide seisukorra hindamine, restaureerimislahendused ja tugevusarvutused“

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendajad on Nele Nutt ja Kalle Pilt,

*(juhendajate nimed)*

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

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

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

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

---

<sup>1</sup>Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

\_\_\_\_\_ (allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

# TalTech Tartu Kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Ragne Suvinõmm, 153841EAEI

Õppekava, peeriala: EAEI02/12 Tartu - Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine

**Juhendaja(d):** Nele Nutt

Kalle Pilt

**Konsultant:** .....(nimi, amet)

### Lõputöö teema:

„Tartu, Marja 16 korterelamu puitkonstruktsioonide seisukorra hindamine, tugevusarvutused ja restaureerimislahendused“

(inglise keeles) „Assessment of wooden constructions of Tartu, Marja 16 building, strenght calculations and restoration solutions“

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hinnata hoone puitkonstruktsioonide seisukorda
2. Teostada puitkonstruktsioonidele tugevusarvutusi
3. Pakkuda välja restaureerimislahendusi kahjustunud puitkonstruktsioonidele

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Töö kirjandusega ja seisukorra hindamine	01.03.21
2.	Tugevusarvutuste teostamine ja restaureerimislahenduste väljapakkumine	01.05.21
3.	Töö vormistamine ja jooniste tegemine	21.05.21

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "24"...mai...2021a

**Üliõpilane:** RagneSuvinõmm ..... ".....".....202....a

/allkiri/

**Juhendaja:** ..... ".....".....202....a

/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....202....a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel



# SISUKORD

SISUKORD.....	5
SISSEJUHATUS .....	10
1 PUIDUST ELAMUTE KONSTRUKTSIOONID .....	12
1.1 Puidu kasutamine konstruktsioonides.....	12
1.2 Puitmaterjali tüübid .....	12
1.3 Puitkonstruktsioonid .....	13
1.3.1 Välisseinad .....	13
1.3.2 Siseseinad .....	16
1.3.3 Vahelagi.....	16
1.3.4 Katus.....	16
2 PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMISE MEETODID .....	18
2.1 Purustavad meetodid .....	18
2.2 Mittepurustavad meetodid .....	18
2.2.1 Visuaalne .....	18
2.2.2 Niiskusesisalduse mõõtmine .....	18
2.2.3 Vastupanu mikropuurimine .....	19
2.2.4 Nõelpenetratsioon .....	19
2.2.5 Ultraheli .....	20
2.2.6 Termograafia .....	20
2.2.7 Muud mõõtmisvahendid .....	20
3 PUIDUKAHJUSTUSED .....	22
3.1 Füüsikalised kahjustused.....	22
3.1.1 Niiskusesisalduse muutumine .....	22
3.1.2 Temperatuuri muutused .....	22

3.1.3	Päikese soojus- ja UV-kiirgus .....	23
3.2	Keemilised kahjustused .....	23
3.3	Mehaanilised kahjustused .....	23
3.4	Bioloogilised kahjustused .....	24
3.4.1	Seenkahjustused .....	24
3.4.2	Putuka kahjustused .....	27
3.4.3	Bakterikahjustused .....	29
4	PUITKONSTRUKTSIOONIDE RESTAUREERIMISTÖÖD .....	30
4.1	Materjali kvaliteet.....	30
4.2	Palkide vahetus.....	30
4.3	Proteesimine.....	32
4.4	Talade tugevdamise meetodikad .....	33
4.4.1	Puittala otste tugevdamine .....	33
4.4.2	Ühesildelise tala muutmine mitmesildeliseks .....	35
4.4.3	Puittalade tugevdamine abitaladega või külglappidega .....	35
4.4.4	Talade tugevdamine tõmbevarrastega.....	36
4.5	Sarikate tugevdamise meetodikad .....	36
4.5.1	Sarikate proteesimine .....	36
4.5.2	Sarikate ja pärilinvöö jätkamine külglappidega .....	37
4.5.3	Vekseldamine .....	38
5	MARJA 16 ÜLEVAADE .....	39
5.1	Tehnilised andmed .....	39
5.2	Hoone puitkonstruktsioonid .....	40
5.2.1	Sise- ja välisseinad.....	40
5.2.2	Vahelaed .....	40
5.2.3	Katusekonstruktsioon .....	41

5.2.4	Tuulekoda .....	42
5.3	Varasemalt teostatud ehitustehnilised uuringud .....	42
6	PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINNANG .....	44
6.1	Välisseinte konstruktsioon .....	44
6.1.1	Akende all asuvad palgiread .....	44
6.1.2	Alumised palgiread .....	45
6.1.3	Teise korruse välisseinte palgiread .....	46
6.2	Siseseinte konstruktsioon .....	49
6.3	Vahelae talade konstruktsioon .....	51
6.3.1	Keldri ja esimese korruse vahelagi.....	51
6.3.2	Esimese ja teise korruse vahelagi.....	54
6.3.3	Teise korruse ja pööningu vahelagi.....	54
6.4	Katuse konstruktsioon .....	55
6.5	Puidust tuulekoda.....	56
7	TUGEVUSARVUTUSED .....	58
7.1	Üldist.....	58
7.1.1	Kasutatud normdokumendid ja arvutiprogrammid .....	58
7.1.2	Arvutusalusused ja meetodika.....	59
7.2	Koormused .....	59
7.2.1	Üldosa .....	59
7.2.2	Kasuskoormus .....	61
7.2.3	Lumekoormus.....	61
7.2.4	Tuulekoormus.....	62
7.2.5	Omakaalukoormus .....	66
7.2.6	Kande- ja kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonid.....	67
7.2.7	Normatiivsed joonkoormused kandeelementidele lõikes .....	69

7.3	Katusekonstruktsioonide tugevusarvutused .....	71
7.3.1	Üldosa .....	71
7.3.2	Vekseltalade kontroll .....	72
7.3.3	Sarika kandevõime kontroll survele koos paindega .....	74
7.3.4	Penni kandevõime kontroll survele.....	84
7.4	Keldri vahelaetalade tugevusarvutused .....	86
7.4.1	Üldosa .....	86
7.4.2	Kandevõime kontroll muljumisele .....	87
7.4.3	Paine .....	91
7.4.4	Keldri vahelaetala läbipainde kontroll kasutuspiiriseisundis .....	96
8	Restaureerimislahendused .....	102
8.1	Seinte konstruktsioon .....	102
8.1.1	Välisseina alumiste palgiridade vahetamine ja proteesimine.....	102
8.1.2	Akna aluste ja ülemiste palkide proteesimine .....	102
8.2	Siseseina alumise palgi vahetamine .....	103
8.3	Vahelaetalad.....	103
8.3.1	Keldri ja esimese korruse vahelaetalad .....	103
8.3.2	Teise korruse ja pööningu vahelaetalad.....	104
8.4	Katuse konstruktsioon .....	104
8.4.1	Sarikate vekseldamine .....	104
8.4.2	Sarikate lisamine.....	105
8.4.3	Sarikate ühendamine .....	105
8.4.4	Sarikaotste proteesimine.....	105
8.5	Tuulekoda .....	106
8.5.1	Tuulekoja tõstmine .....	106
9	KOKKUVÕTE.....	107

10	SUMMARY .....	109
11	KASUTATUD KIRJANDUS.....	111
	LISAD .....	115
	Lisa 1. Keldri vahelaetalade sisejõudude epüürid (kuvatõmmised arvutusprogrammist ARSAP 2022). .....	115
	Lisa 2. Graafiline osa.....	119
	Lisa 3. Seinte alumiste palkide vastupanupuurimisel tulemuseks saadud graafikud .	131

## SISSEJUHATUS

Käesoleva töö teemaks on rohkem kui sajand tagasi ehitatud kahekorruselise korterelamu puitkonstruktsioonide seisukorrale hinnangu andmine ja restaureerimislahenduste pakkumine.

Hoone ise on põhiplaani ristkülikukujuline ning hoovi poole eenduva trepikojaga. Marja tn 16 korterelamu on pärit 19. sajandi lõpust, mis omab ajaloolist väärtust Supilinna hoonestuse arhitektuurinäitena. Samuti asub käesoleva töö uurimisobjekt miljööalal ning seal kehtivad Supilinna teemaplaneeringu muinsuskaitse eritingimused. Et hoone oleks ka edaspidi üks arhitektuurinäidetest, tuleb hoonet säilitada.

Algselt asus hoone esimesel korrusel lisaks korteritele ka vürtspood, kuid nüüd asub vanal poepinnal samuti korter. Marja 16 hoone on varasemalt olnud remontimata, kuid viimastel aastatel on hakatud hoonele tähelepanu pöörama. Keldri vahelagi on avatud, et oleks ligipääs kahjustunud põrandataladele ja vundamendile. Vajunud vundamendi edasi vajumise tõkestamiseks on valatud kõrvale uus betoonist vundament. Samuti hakatakse teostama puitkonstruktsioonide parandustöid.

Hoone on hetkel kaotanud osaliselt otstarbe. Säilinud on kümnest korterist kolme korteri kasutamine, teisi ei ole võimalik elamiseks kasutada, põhjuseks on kas kahjustada saanud konstruktsioonid või käimasolevad remonttööd.

Käesoleva magistr töö eesmärgiks on hinnata Marja 16 hoone puitkonstruktsioonide seisukorda, kasutades erinevaid meetodeid. Üheks seisukorra hindamise meetmeks on ka tehtavad tugevusarvutused. Samuti käsitletakse töös kahjustuste tekkimise põhjuseid. Vastavalt puitkonstruktsioonide kahjustustele tuleb välja pakkuda neile restaureerimislahendusi, et hoone ei oleks ohtlik elanikele ning säilitaks enda esialgse otstarbe.

Magistr töö eesmärkidest lähtuvalt püstitati järgmised ülesanded:

- Hoone puitkonstruktsioonide ülesmõõdistamine
- Tehnilise seisukorra hindamine, kasutades kahjustuste tuvastamiseks erinevaid meetodeid, sh tugevusarvutuste teostamine
- Hoone puitkonstruktsioonidele ja nende kahjustustele vastavate jooniste koostamine
- Kahjustunud puitkonstruktsioonidele restaureerimislahenduste väljapakkumine

Töö käigus on läbi töötatud varasemalt hoonele teostatud mükoloogiline ekspertiis ning palju kirjandusmaterjali. Puitkonstruktsiooni kirjeldamiseks ja seisukorra hindamiseks on uurimisobjektile teostatud vaatlusi ning erinevaid mõõdistusi.

Töö esimene pool koosneb teoreetilisest osast, mis kirjeldab puitkonstruktsioone ning nende kahjustusi. Samuti tuuakse ülevaade puidukahjustustest ja erinevatest kahjustuste hindamise meetmetest.

Töö teine pool keskendub Marja 16 korterelamu puitkonstruktsioonide kirjeldamisele ja seisukorra hindamisele. Tehakse kriitilisemas seisus olevatele puitkonstruktsioonidele tugevusarvutused ning lõpuks pakutakse välja restaureerimislahendusi.

Töö lisast on leitavad ülesmõõdistuste alustel tehtud puitkonstruktsioonide joonised koos peale märgitud kahjustustega.

# 1 PUIDUST ELAMUTE KONSTRUKTSIOONID

## 1.1 Puidu kasutamine konstruktsioonides

Puit on üks tavalisemaid elamu ehitusmaterjale. Ehituseks võib kasutada nii palke, planke kui ka prusse. (Jürgenson, 1949)

Vanemad säilinud puitelamud on ehitatud Eestimaa asumites 18. sajandil. Enamik säilinud puithoonestust pärineb 19. saj. lõpust ja 20. saj. algusest seoses üldise linnastumisega ja tööstuse arenguga kaasnenud ehitusbuumiga. Erinevad ajajärgud on eraldatavad peamiselt arhitektuuri ja plaanilahenduse osas. Konstruktsiooni osas suuri muudatusi ei olnud. (Kalamees, et al., 2011)

Eesti vanemad puitkorterelamud ehitati üldjuhul rõht- või püstpalkseintega ning ilma täiendava soojustuseta välisseintel. Püstpalk-konstruktsioon hakkas rõhtpalk-konstruktsiooni kõrvale tekkima alles 20. sajandi algul. Püstpalk-konstruktsiooni levik tulenes sellest, et tekkis võimalus kasutada erineva läbimõõduga puitu ja et püstpalkhoones on vähem ehitusjärgseid liikumusi ja vajumisi.

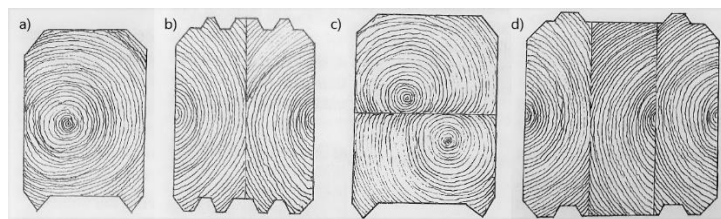
Puitsõrestikkonstruktsiooni hakati kasutama viimastel I maailmasõja eelsetel aastatel. (Kalamees, et al., 2011)

## 1.2 Puitmaterjali tüübid

### Hööveldatud palk

Hööveldatud palk on enim kasutatud tööstuslik palgitüüp, mis on kas täispalk või siis mitmest kokku liimitud osast valmistatud liimpalk. Hööveldatud palgid jagunevad tüübilt: põhipalgid (Joonis 1.1 - a), rõht- või püstkihilised palgid (Joonis 1.1 - b ja c) ja sulundpalgid (Joonis 1.1 - d). Palkide paksus jääb vahemikku 70-210 mm.. Kõige jämedamad ühest puust hööveldatud palgid on 170 mm paksud. (Keppo, 2001)





Joonis 1.1 Hõõveldatud palkide tüübid (Keppo, 2001)

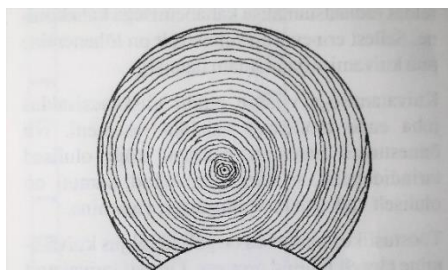
## Ümarpalk

Ümarpalk tehakse alati ühest puutüvest ja puu ristlõikel säilib originaalkujul (Joonis 1.2).

Ümarpalgi tööstuslikke valmistusviise on kaks. Ühe puhul võetakse võimalikult sirge ja ümmargune tüvi, milles puu südamik jääb palgi keskele. Teise puhul saetakse palgist välja toorik, mis hõõveldatakse või treitakse masinaga ümmarguseks, milles võib puu südamik palgi keskkohast kõrvale nihkuda. Palgi südamiku nihkumine võib põhjustada tugevat kaardumist. (Keppo, 2001)

Ümarpuidu ladvaotsa läbimõõt jääb vahemikku 12-26 cm ja peenpalgil 8-11 cm.

Ehituspalkide pikkus on 4,5 kuni 9 meetrit. (Veski, 1969)



Joonis 1.2 Ümarpalk (Keppo, 2001)

## 1.3 Puitkonstruktsioonid

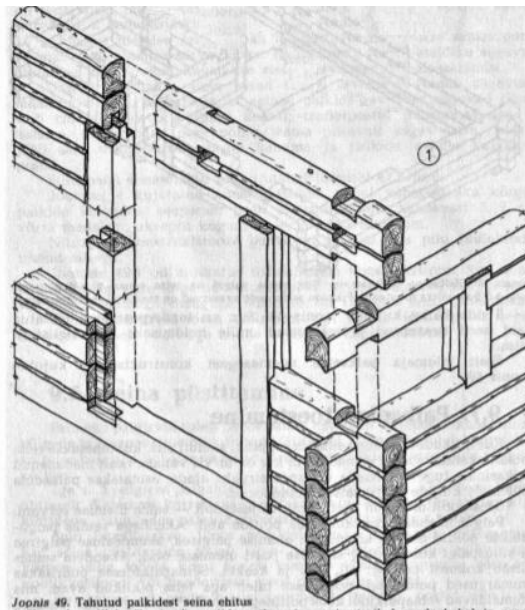
### 1.3.1 Välisseinad

#### Rõhtpalksein

Rõhtpalksein koosneb rõhtasendis üksteisele toetuvatest ümmargustest või tahutud palkidest (Joonis 1.3). Palkseinad ehitatakse vähemalt 150 mm läbimõõduga

ümarpalkidest ning tasase sisepinna saamiseks kasutatakse servatud 150 mm läbimõõduga palke. (Just E. , 2012)

Rõhtpalkseina ehitamisel ümarpalkide omavaheliseks ühendamiseks lõigatakse (freesitakse) nende alumisele pinnale umbes 100 mm laiune süvend ehk vara ja paigaldatakse rõhtsalt üksteise peale. Palgid seotakse omavahel salapulkadega 1,5 - 2,0 m sammuga. Et sein tõuseks ühtlaselt, tuleb ühe palgi tüveots vaheldada järgneva palgi ladvaotsaga. Palkide ühendusnurgad tapitakse. (Just, Öiger, & Just, 2015)



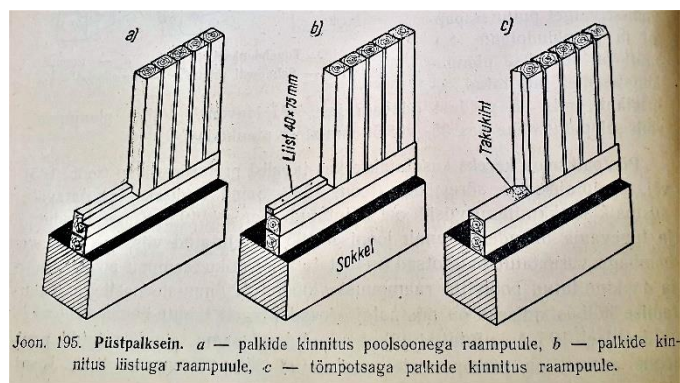
Joonis 1.3 Rõhtpalksein (Masso, 1991)

### **Püstpalksein**

Püstpalkseina kereks kasutatakse puidust sõrestikseinu (Joonis 1.5). Sõrestik tehakse kas uutest kandilistest sõrestikprussidest või vanadest seinapalkidest. Kuna seinapalgid on pinnatud tavaliselt 15 cm paksusteks, siis peavad ka sõrestikuprussid olema mõõtudega 15x15 cm. (Veski, 1969)

Püstpalkideks kasutatakse enamasti vanu varatud seinapalke ja soovitatav on neid paigaldada samas järjekorras, nagu nad asusid rõhtpalkseinas (Veski, 1969). Kõige tihedama ja tugevama ühenduse annab viis, kus vastava hambaga varustatud palgiotsad toetatakse sõrestiku raampuu poolsoontesse (Joonis 1.4- a). Et kergem oleks takutada, on püstpalgi servad kergelt tahatud. (Jürgenson, 1949)

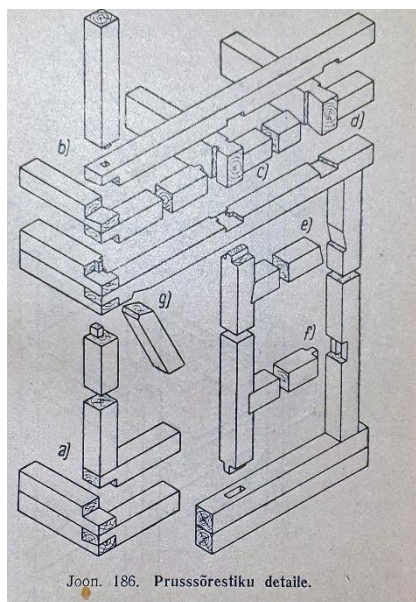
Nagu ka rõhtpalkseinal, tuleb ka püstpalkseinal jäikuse suurendamiseks palgid omavahel salapulkadega ühendada. (Veski, 1969)



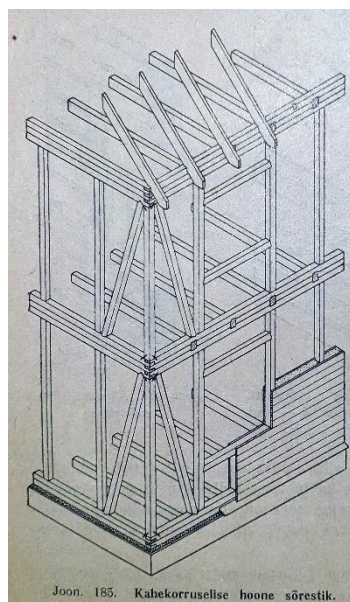
Joonis 1.4 Püstpalksein (Jürgenson, 1949)

## Puitsõrestiksein

Puitsõrestiksein on väikeelamule kõige lihtsamini tehtav kandesein (Joonis 1.5 ja Joonis 1.6). Puitsõrestike kandekarkass tehakse vähemalt 10 cm paksustest prussidest. Karkassi jäikuse tagamiseks peab igasse seina paigaldama diagonaalelemendi või diagonaallaudise. Seinasõrestik seotakse ülemisest otsast laetalade ja sarikatega ühtseks süsteemiks. Hoone koormust kannavad sõrestikpostid. Posti keskkoha nõtkumise vältimiseks tuleb see kinnitada kas rõhtlattide või voodrilaudadega. Postid tuleb toetada aluspuule ning seejärel siduda ülevalt vöölaudadega. Akende alla kui ka peale kinnitatakse lisalauad. Liiteid ei pea tappima. (Just E. , 2012)



Joonis 1.5 Sõrestiksein (Jürgenson, 1949)



Joonis 1.6 Sõrestikseina detailid (Jürgenson, 1949)

### **1.3.2 Siseseinad**

Konstruktiivselt on hoone siseseinad kandvad ja mittekanvad. Enamasti on palkhoone kandvad siseseinad analoogselt välisseintega ehitatud, kas siis rõht- või püstpalk või puitsõrestik lahenduses. (Kalamees, et al., 2011)

Kandvad palgist siseseinad tehakse paksusega 12...15 cm ja seotakse välisseintega. Oluline on, et siseseinad oleksid välisseintega seotud (eriti just rõhtpalkseinte puhul) ja konstruktsioon töötaks tervikuna. Välis- ja siseseinte ühendused peavad olema piisavalt tugevad, et võtta vastu vahelagedelt tuleva koormuse. Seinte omavaheline sidumine tagab selle, et palksein ei vajuks keskelt välja. (Kalamees, et al., 2011)

Mittekanvad siseseinad ei kanna vahelagedelt tulevat koormust, aga nad võivad olla tuletõkkeseinteks, hoone jäigastavateks konstruktsioonideks ja helipidavuse tagamiseks. Algselt mittekanvaks projekteeritud siseseinad võivad aja jooksul muutuda kandvateks. See on võimalik näiteks kui vahelagi vajub läbi või välisseinte vajumisest on siseseinale langenud vahelae koormus. (Kalamees, et al., 2011)

### **1.3.3 Vahelagi**

Puidust vahelae koosnevad puittaladest, millele toetuvad lae- ning põrandalauad. Puitvahelae-tala materjaliks kasutatakse enamasti mändi või kuuske. Talade ristlõige arvutatakse tugevusõpetuse valemite järgi, võttes arvesse talle mõjuvaid koormusi. Talad toetatakse ühe otsaga välisseinale ja teise otsaga sisemisele kandeseinale. Seinte väljavajumise tõkestamiseks ankurdaakse seinad laetalade otste külge. (Veski, 1969)

Taladevaheline osa täideti varasemalt šlaki, liiva või muu raske täitematerjaliga. 19. sajandi lõpus või veel varem ehitatud majades on ka keldrivahelagi puittaladel. (Kalamees, et al., 2011)

### **1.3.4 Katus**

Puitkorterelamute peamine katusekonstruktsioon on puitsarikatel kelp- või viilkatus. Sõltuvalt hoone laiusest on katuse kandekonstruktsioon lahendatud lihtsa sarikas-penn lahendusega ja laiemate hoonete puhul toolvärk-konstruktsioonina. Katuse puitkonstruktsiooni moodustavad roovid, sarikad, pärliinid (roovtalad) ja katusesõrestik. (Kalamees, et al., 2011)

**Sarikas** peab vastu võtma koormuse katuseroovidelt (laudiselt) ja andma selle üle kas roovtaladele (pärlinitele) või otse hoone seintele. Sarikad saab teha prussidest, laudadest või ümarpuidust. Sarikate vahekaugus valitakse vastavalt sarika ja roovi põiklõikele, katuse kaldele, katusekatte kaalule ning mõjuvale lume- ja tuulekoormuse. (Just, Öiger, & Just, 2015)

**Penn** on rõhtasendis tugi, mis toetab mõlemaid sarikaid omavahel. Et valida õigete mõõtmete ja kujuga penn, tuleb teada kas pennile mõjub venitus või surve. Penn paigaldatakse poolest sarika kõrgusest kõrgemale. (Jürgenson, 1949)

Vanemat tüüpi katusekonstruktsioon koosneb ühest otsaseinast teise otsaseinani kandvast katuseharjast ning sellisel konstruktsiooniil on tavaliselt üks peatala – harjapärlin. Lisaks võib olla veel üks või mitu pikipärlinit mõlemal pool harjapärlinit. Pikipärlinitega katusega hoone otsaviilud on samuti tehtud palkidest. (Söderberg & Kjellberg, 1997)

Kui hoone laius jääb 6 kuni 10 m vahele, siis saab moodustada sarikad kahest elemendist ilma vahepealse toetuseta. Kui sellist lahendust kasutada, siis peab olema tagatud horisontaalsete toereaktsioonide vastuvõtmine kas laetala või spetsiaalse tõmbi poolt. Sellise katusekonstruktsiooni puhul ei tohiks otsaviile ehitada palkidest. (Just, Öiger, & Just, 2015)

Pennsarikaid kasutatakse 6-10 m laiuste vähekorruseliste hoonete puhul. Pennkatuse konstruktsioon koosneb sarikapaaridest, mis on ühendatud katuse harjal ning mis ühendatakse omavahel pennidega. Sarikad toetatakse tappide abil müüriatlele või räästapärlinile. Sarikapuu on seega toetatud nii räästas, harjal kui ka penni kohal. (Jürgenson, 1949)

Sarika toetuseks harjal on enamasti lihtne keeltapp, mis on kinnitatud tugeva pulga, poldi või naelaga (Joonis 1.8). Sarikad kinnitatakse müüriatle külge riiskadega. Müüriatle ankurdatakse seinale. (Just E. , Puitkonstruktsioonid, 2012)

## **2 PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMISE MEETODID**

### **2.1 Purustavad meetodid**

Purustav meetod on see, kui avatakse konstruktsioonid ning viiakse katsetamiseks laborisse. (Pilt & Konsa, 2012)

Purustaval meetodil katsekeha hindamine kahjustab materjali ning seda ei saa enam hiljem uuesti kasutada. Seda meetodit kasutatakse, kui on vaja teada mingi kindla materjali või komponendi tehnilisi näitajaid. (Tec-Scinece, 2018)

Katsekeha hävitavad meetodid on näiteks tõmbe-, surve- ja paindekatse. Samuti ka väsimustest ja löögikatse. (Tec-Scinece, 2018)

### **2.2 Mittepurustavad meetodid**

#### **2.2.1 Visuaalne**

Visuaalne vaatlus on kahjustuste määramisel esimene etapp, mille eesmärgiks on märkida probleemsed kohad. Visuaalsel vaatlusel saab puitkonstruktsioonides tuvastada kohad kus on kandepiiriseisundit ületatud (talad on katki või läbi paindunud). Samuti on silmaga näha seente viljakehad, putukakahjustused ning ka puidu pehkinud ja värvierinevustega osad. (Teder, 2018)

#### **2.2.2 Niiskusesisalduse mõõtmine**

Elektrilistel omadustel baseeruvad niiskusesisalduse mõõtjad annavad informatsiooni materjali niiskusesisalduse, õhu suhtelise niiskuse, temperatuuri ja kastepunkti kohta. Elektriliste niiskusemõõtjate kasutamisel tuleb arvestada, et elektrijuhtivus sõltub lisaks niiskusesisaldusele ka materjali omadustest (tihedus, struktuur, puidukiu suund jne). Näiteks kui mõõta mädanikseente poolt kahjustatud puitu, on niiskusesisalduse näit mõõtes elektriliste vahenditega üldjuhul väiksem kui tegelik niiskusesisaldus. Põhjuseks on see, et mädanikseente elutegevuse tulemusena muutub ka puidu tihedus ja struktuur ning sellest tulenevalt ka elektrilised omadused. (Pilt & Konsa, 2012)

### 2.2.3 Vastupanu mikropuurimine

Puidu vastupanu mikropuurimisele elektrooniliselt mõõdetakse resistograafiga. Resistograaf koosneb kahest mootorist, puuri teleskoopstabilisaatorist ning mikropuurist. Puuri ja puuripea läbimõõdud on vastavalt 1,5 ja 3 mm. Puuri energiaallikaks on aku, mille ühe laadimisega on võimalik sooritada kuni 100 puurimist. Seadme tööpõhimõte on mõõta, kui suurt jõudu on vaja rakendada, et puurida puitu konstantsel kiirusel. Resistograaf annab lugemi iga 1/10 või 1/100 mm järel olenevalt seadmest. Puurida on võimalik kuni 1000 mm/min ning seade võimaldab puurimise graafikut koheselt välja trükkida või salvestada tulemused arvutisse. (Tohvri, 2017)

Resistograafi graafikute analüüsiga saab määrata puidu mehaanilisi omadusi ehk kõvadust, tihedust, tugevusklassi, jääkristlõiget, aga ka biokahjustusi, looduslikke defekte ning nõrgestusi. Resistograafi puuduseks on mõõtmistulemuste lokaalsus. Eeliseks on aga suhteliselt suured võimalused mõõtmistulemuste analüüsiks. Resistograafiga saab määrata ka puidu aastarõngaste laiust ja struktuuri ning selle abil saada olulisi andmeid kasutatud puitmaterjali kohta. Kuna resistograafiga on võimalik määrata puidu tugevusnäitajaid ja jääkristlõiget, siis saab kasutada ka olemasolevate puittarindite arvutamiseks Eurocode 5 põhjal loodud standardeid ja juhiseid. (Pilt & Konsa, 2012)

### 2.2.4 Nõelpenetratsioon

Nõelpenetratsiooniga saab mõõta puidu tihedust ja kõvadust. Nõelpenetratsiooni käigus lüüakse dünaamilise jõuga (lõök 6 džauli) peenike metallist nõel puitu, puidu läbimissügavus on pöördvõrdeline puidu kõvadusega ristlõikes. Puidu läbimissügavust saab kasutada puidu tiheduse mõõtmiseks ning ka seentest põhjustatud lagununud puidu sügavuse mõõtmiseks. (Henriques, Nunes, Machado, & Brito, 2011)

Selle meetodi puuduseks on asjaolu, et nii saab mõõta ainult puidu pinnaomadusi. Tulemused sõltuvad katse asukohast, puidu anisotroopsusest ja tihedust, sügispuidu protsendist, puidu defektidest ja lagunemisest ning ka isikust, kes mõõtmist teostab. Nagu ka resistograafil, peab olema teada ka puidu defektivaba väärtuste vahemik, nii saab võrrelda neid mõõtmisel saadud tulemustega ja teha sellest järeldused. (Henriques, Nunes, Machado, & Brito, 2011)

Peamiselt kasutatakse nõelpenetratsiooni tegemiseks katseseadet *Pilodyn 6J*. Nõela läbimõõt on 2,5 mm ja maksimaalne puitu läbistav sügavus on 40 mm. *Pilodyn 6J*

läbistamissügavus on suurem radiaal suunas ja väiksem tangentsiaal suunas. (Teder, 2018)

### **2.2.5 Ultraheli**

Ultraheli eelis on see, et puitdetailidest saab tervikliku ülevaate. Ultraheli andmete analüüsimisel saab leida oksakohti, lõhesid, struktuuririkkeid ja teisi looduslikke defekte. Samuti saab leida biokahjustusi: puitu lagundavate seente poolt tekitatud mädanikke ning mardikate vastsete käikude ulatust, kuid ka puuritud avasid, sisselõikeid ja muid inimese tekitatud nõrgestusi. Ultraheli puudusteks on tulemuste tõlgendamise keerukus ning suhteliselt suured veapiirid kahjustuste ning nõrgestuste asukohtade määramisel. (Pilt & Konsa, 2012)

### **2.2.6 Termograafia**

Termograafia on meetod objektide pinnatemperatuuride määramiseks infrapunakiirguse abil. Kehad, mille temperatuur on kõrgem kui absoluutne null, kiirgavad soojusenergiat. Termokaamera abil mõõdetakse kehadelt või esemetelt kiirgavat või peegelduvat soojusenergiat. Kui on teada kiirgava pinna omadusi ning keskkonnatingimused, siis saab arvutada selle pinna temperatuuri. (Kalamees, Alev, Endrik Arumägi, Just, & Kallavus, 2011)

Termograafia abil on võimalik teha erinevaid ehituslikke uuringuid ilma tarindeid avamata. Vana hoone puhul saab tuvastada ka varjatud kahjustusi. Näiteks puithoones ebatüüpilistes asukohtades ilmnevad külmasillad võivad viidata viimistluskihtide taha peidetud kahjustunud palkkonstruktsioonile. (Kalamees, et al., 2011)

Termograafi puuduseks on see, et termograafia tehtud pildid ei näita materjali sisemuses leiduvaid kahjustuspiirkondi ning ainult selle seadme kasutamine ei anna piisavalt andmeid põhjalikuks kahjustuste analüüsiks. (Pilt & Konsa, 2012)

### **2.2.7 Muud mõõtmisvahendid**

Puidu tugevuskontrolli saab teha ka teravate käepäraste vahenditega, milleks võivad olla näiteks naaskel, nuga või kruvikeeraja. Nende terava otsaga tuleb suruda puitu, kui ese läheb puitu sügavale ja kergesti, siis on materjali juba kahjustanud kas seened või



mardikad. Määratlemaks mõistet „kergesti“ võib kasutada võrdluseks kuiva värsket puitmaterjali ning teha surumisproov selle katsekehaga. Loomulikult pole tugevuskatset vaja tehagi, kui juba visuaalselt vaadates on puit lagunenu. (Pilt & Konsa, 2012)

Käepäraste vahenditega saab teha ka akustika kontrolli.

Kontrolliks tuleb puit terves ulatuses, näiteks haamriga, läbi koputada, aga nii, et ei tekitaks puidule kahjustusi. Tuleb kuulata helikõla erinevusi. Heli levib kahjustunud puidus aeglasemalt kui terves, kuna kahjustunud puit ei ole enam nii jäik.

Selle meetodi puuduseks on see, et helikõla erinevus võib olla mõjutatud ka millestki muust, peale sisemiste kahjustuste. Samuti ei saa määrata kahjustuse ulatust ning kahjustuse algstaadiumis on seda raske määratleda. (Teder, 2018)

## **3 PUIDUKAHJUSTUSED**

### **3.1 Füüsikalised kahjustused**

#### **3.1.1 Niiskusesisalduse muutumine**

Suur hulk orgaanilisi materjale, sealhulgas ka puit, muudavad oma niiskusesisaldust vastavalt suhtelise õhuniiskuse muutustele ümbritsevas õhus, selliseid materjale nimetatakse hügrokoopseteks. Enamik hügrokoopseid materjale paisub suhtelise õhuniiskuse tõustes ning tõmbub kokku, kui see langeb. Paisumine ja kokkutõmbumine põhjustavad materjalide deformatsioone ja purunemist. (Pilt & Konsa, Hoonete biokahjustused, 2012)

Puitkonstruktsiooni elementide liigse niiskumise tekkimise peamisteks põhjusteks on:

- maaniiskus (puudulik hüdroisolatsioon, niiske põrandaalune ruum, pritsiv vihmavesi);
- vead drenaaži- ja sademetetorustiku konstruktsioonis;
- vee- ja kanalisatsioonitorude leke;
- katuse läbijooks;
- sarikate või talade otste ebapiisav isolatsioon kivimüürides;
- puudulik ventilatsioon;
- niiske õhu sissepääs konstruktsiooni. (Õiger, 2015)

Õhkuiva puidu normaalseks niiskuseks loetakse alla 20%. Puidu normaalsest kõrgem niiskuse sisaldus on soodne keskkond biokahjustuste tekkeks. (Kallavus, 2009)

#### **3.1.2 Temperatuuri muutused**

Väliskeskkonnas asuvatel objektidel ja hoonetel põhjustavad olulisi kahjustusi talvised külmumis- ja sulamistsüklid. Materjalide pragudes ja poorides asuva vee külmumine põhjustab jää suurema mahu (vee muutumisel jääks suureneb viimase ruumala ligikaudu 9%) tõttu materjali mehaanilisi kahjustusi. (Pilt & Konsa, 2012) Külmates vesi paisub ning sellega seoses võivad märjas puitmaterjalis külmaga tekkida sellised pingeid, mis viivad puidu lõhenemiseni. Lõhed hakkavad täituma lume ning prahiga ja järgmisel külmumisperioodil muutuvad kahjustused juba suuremaks. (Pilt, 2010)

### **3.1.3 Päikese soojus- ja UV-kiirgus**

Valguskiirgusel on enamikule materjalidele tugev kahjustav toime, mis avaldub fotokeemilises ja soojuslikus mõjus. Valguskiirgusest on eriti kahjuliku toimega violetne ja ultravioletne kiirgus (lainepikkuste vahemikus 380–420 nm). Valguskiirguse kahjulik toime avaldub teatud määral ka puidul. (Pilt & Konsa, 2012)

Valgus põhjustab valguskahjustusi (pudenemist) ehk fotooksüdatsiooni ilmingu, soojus tekitab aga kuivamispragunemise. Fotooksüdatsioon on aeglasem päikese poolse küljel, mis on hästi kaitstud sademete eest. Fotooksüdatsioonis lagunev ligniin värvib puidu algul kollaseks ja siis pruuniks. Valguspudenemise tõttu kulub puidu pind umbes 5-12 mm saja aasta jooksul. (Õiger, 2015)

## **3.2 Keemilised kahjustused**

Õhus leidub erinevaid gaasilisi, vedelaid ja tahkeid aineid. Keemiliste kahjustusprotsesside hulka arvatakse mitmesugused reaktsioonid (hüdrolüüs, oksüdatsioon, korrosioon jpt), mis on esile kutsutud nii materjalide endi keemiliste koostisainete reageerimisest kui ka väliskeskkonnast materjalidesse sattuvate ainete toimest. (Pilt & Konsa, 2012)

Puidu mehaanilisi omadusi saab muuta keemiliste protsessidega. On tehtud mitmeid uuringuid sellest, kuidas erinevad kemikaalid mõjutavad puidu kestvusele ja tugevusele. Tulemused on näitanud, et säilitusainetega töödeldud puit on kuni 10% väiksema tugevusega kui naturaalne töötlemata puit. Väikeste puidust katsekehade mõjutamisel kuiva materjali puhul sool-, lämmastik- ja väävelhappe 10%-lise lahusega 10–15°C juures vähendab männi painde- ja survetugevust keskmiselt 48% ja kuusel 53–54%. Leelise, 1–25%-lise ammoniaagilahuse, toime vähenes 4 nädala jooksul okspuupuidul tugevus 10%. Sama koostisosa sisaldusega naatriumhüdrosiidi lahus muutis tugevusnäitajaid sama pika aja jooksul kuni 2 korda." (Pilt, 2010)

## **3.3 Mehaanilised kahjustused**

Mehaanilised kahjustusprotsessid on põhjustatud mehaaniliste jõudude toimest (deformatsioon, purunemine, rebenemine, kulumine, abrasioon) ja pinna määrdumisest. Tegemist on üsnagi suurte ja mitmekülgsete kahjustusprotsessidega,

mis osaliselt kattuvad ka teiste kahjustusprotsessidega. Tegemist väga sageli esinevate kahjustustega, mis mõjutavad oluliselt ka hoonete seisukorda. Mehaaniliste jõudude korral on olulised ülepingetest tekkivad stabiilsuse kaod, deformatsioonid ja purunemised. Sellised olukorrad võivad tekkida näiteks siis, kui hoonete ümberehitamise käigus koormatakse tarindeid oluliselt suuremate koormustega, kui nende oli nende algne eesmärk. Mehaanilisi kahjustusi põhjustab veel ka hoonete halb hooldus ning inimeste vandalism. (Pilt & Konsa, 2012)

Mehaaniliste mõjutajate negatiivseks põhjustajaks on vahepeal ka eriti suured lume- või tuulekoormused. Osaliselt mõjutab puitkonstruktsioone ka abrasioon ehk kulumine, mis on tekitatud tuule või veega kantud osakeste mõjul. Meie kliimavöötmes ei ole abrasioon oluline puidu kestvuse mõjutajaks. (Pilt, 2010)

## **3.4 Bioloogilised kahjustused**

### **3.4.1 Seenkahjustused**

Kuigi seente arenguks on vaja niiskust, ei arene nad vees, kuna vajavad oma elutegevuseks õhuhapnikku. Kui temperatuur langeb alla 0°C, siis seente areng peatub. Enamiks seeni hävib temperatuuril ole 60°C. (Just, Õiger, & Just, 2015) Majaseened hakkavad kasvama, kui puidu niiskusesisaldus on 25-120% ja õhu relatiivne niiskus alla 95% ning temperatuur vahemikus 0°C kuni 45°C. (Kallavus, 2009)

Puitu kahjustavaid seened võib jagada gruppidesse: puidu pinnal arenevad seened ehk hallitusseened, puitu värvivad seened ja puitu lagundavad seened. (Pilt & Konsa, 2012)

**Hallitusseened** on puitu moondavad seened (Joonis 3.1). Nad hakkavad puidu pinnal kiiresti arenema tingimustel RH 70–100%, puidu niiskusesisaldus 35–120%, temperatuur umbes 24°C. Hallitusseened moodustavad mütseeli, kuid ei moodusta makroskoopilisi viljakehasid. Pikemalt kasutuses oleva ehituspuidu pinnale tekib hallitus vaid väga kõrge niiskusesisalduse puhul või siis teiste orgaaniliste ainete sattumisel puidu pinnale. Hallitusseente kasv puidul põhjustab puidu pinnapealse värvumise, sügavusega umbes 1 mm. See ei avalda mõju puidu mehaanilistele omadustele, kuid halvendab puidu välisilmet. (Pilt & Konsa, 2012)



*Joonis 3.1 Hallitusseened puidul (Pilt & Konsa, 2012)*

**Sinetusseened** on ka puitu moondavad ja värvivad seened (Joonis 3.2). Sinavusseentele sobivad keskkonnatingimused on temperatuur 20–30°C ning puidu niiskusesisaldus 50–120%. Erinevalt hallitusseentest tungivad puitu värvivad seened sügavale puitu. Lühiajalisel kahjustamisel (kuni mõni kuu) ei mõjuta nad puidu mehaanilisi omadusi märgatavalt. Pikaajalisema kahjustumise korral väheneb siiski teatud määral vastupanu löökkkoormusele. Puidu mehaanilised omadused (surve-, tõmbe-, nihke- ja paindetugevus) muutuvad sinavusseente arengu tõttu umbes 2% ulatuses. Eriti vastuvõtlik sinavusseentele on männipuit. Sinetusseened esinevad harilikult seenkahjustuste algstaadiumis. (Pilt & Konsa, 2012)



*Joonis 3.2 Sinetusseened puidul (Pilt & Konsa, 2012)*

**Puitu lagundavad seened ehk mädanikseened** kahjustavad puitehitisi kõige rohkem. Kahjustused võivad tabada kõiki puuliike. Mädanikseened on puitu lagundavad organismid, kes lagundavad puidu peamisi ehitusosi (tselluloosi, ligniini, rakkude sisu jne) ning muudavad oluliselt puidu omadusi. (Just, Öiger, & Just, 2015)

Mädanikseened jaotatakse nende puiduraku kahjustuste alusel kolme eri liiki: pruun-, valge- ja pehmemädanik. (Öiger, 2015)

**Pruunmädanik** põhjustab konstruktsiooni kahjustusi (Joonis 3.3). Seeneväädid kasvavad puu pinnal ja rakkude õõntes ning eritavad ensüüme, mis lagundavad tselluloosi suurmolekule nii peeneks, et need võivad välja uhtuda. Ligniin, mis jääb järgi, annabki puidule pruuni või kollaka värvi. Puidu maht väheneb, muutub hapraks ja pudeneb kuubikuteks. Pruunmädanike liikidest esineb puitkonstruktsioonides sagedamini majavammi, majamädanikku ja lehvikvahelikku. (Õiger, 2015)



*Joonis 3.3 Pruunmädanik puidul (Pilt & Konsa, 2012)*

**Valgemädanikku** tekitavad seened lagundavad puidus eelistatult ligniini, kuid vähesel määral ka tselluloosi ja hemitselluloosi. Välimuselt säilitab puit oma kuju, kuid muutub heledaks, valgeks, helekollaseks, kollaseks või kollastest ja valgetest väätidest ribaliseks ning väga kergeks (Joonis 3.4). (Pilt & Konsa, 2012)  
Sageli esineb seda palkides, eriti lehtpuidul, mis langetatuna pikemat aega maapinnal on olnud. (Õiger, 2015)



*Joonis 3.4 Valgemädanik puidul (Pilt & Konsa, 2012)*

**Pehmemädanikuga** puit muutub hallikaks (Joonis 3.5). Seda esineb nii okas- kui ka lehtpuidul, eriti maapinnaga kontaktis olema konstruktsiooni puhul. (Õiger, 2015)  
Nende nõuded puidu niiskusesisaldusele on väga erinevad, alates väga kuivadest tingimustest kuni veega täielikult küllastunud puiduni. Nad taluvad hästi ka vähest

hapnikusisaldust ning kasvavad ka laias temperatuurivahemikus. Pehmemädanikku põhjustavad seened kasvavad puidu pinnalt aeglaselt sisemusse ning arenevad valdavalt puitunud rakuseintes. Nad lagundavad tselluloosi ja hemitselluloose, ligniini lagundavad väga vähesel maarul. (Pilt & Konsa, 2012)



Joonis 3.5 Pehmemädanik puidul (Pilt & Konsa, 2012)

### 3.4.2 Putuka kahjustused

Enamus puidumardikate vastsed asuvad märga puitu elama, kui õhu relatiivne niiskus on alla 95% ja õhutemperatuur jääb vahemikku 5°C kuni 50°C. (Kallavus, 2009)

Erinevalt puitu lagundavatest seentest, hävitavad putukad lisaks niiskele ka kuiva puitu. Samamoodi nagu seened, kasutavad erinevad putukad mõnda puidus sisalduvat ainet oma toiduks. Näiteks majasiku vastne kasutab puidus olevaid munavalge komponente, mõned teised aga seedivad tselluloosi jne. (Õiger, 2015)

Puitu kahjustavad putukad võib jagada kolme rühma:

- Värske (toore) puidu putukad, nagu puukoore mardikas;
- Kuiva puidu putukad, näiteks majasikk ja toonesep;
- Kõduneva puidu putukad, nagu kõdusikk. (Õiger, 2015)

**Toonesepad** on tähtsamaid puitu hävitavad putukad. Nad on 3...6 mm pikkused hallikaspruunid kuni roostepunased putukad, kes hävitavad puitu ehituspalkidest kuni mööblini. Olulisimad toonseplased on näiteks mööbli-toonesep (Joonis 3.6), suurtoonesep (Joonis 3.7), harva ka hääletu toonesep. Tooneseplaste kahjustusi ei ole kerge avastada, kuna vastsed elavad puidus ning nende areng kestab mitmeid aastaid. Samuti on kahjustusi võimalik avastada alles pärast seda, kui mardikad on puidust lahkunud. (Pilt & Konsa, 2012)

Vastsed nãrivad puitu umbes 1 mm lãbimõõduga kãike. Nukkumiseks õõnestavad vastsed puidu pinna lãhedale laiema kambri ning valmistavad puidujahust kookoni. Nukust vãljunud mardikas nãrib puitu ümmarguse ava ning lendab vãlja. Tooneseppe lennuaugud on ümmargused, paari millimeetri suurused. (Pilt & Konsa, 2012)



*Joonis 3.6 Mõõbli-toonesep (Sadam, 2011)      Joonis 3.7 Suur-toonesep (Sadam, 2011)*

**Majasikud** on ka õhed ohtlikumad puidu hãvitajad (Joonis 3.8). Nad on tumepruunid kuni musta vãrvi 10...30 mm pikkused putukad. Majasiku tõuk kahjustab ainult okaspuitu. Vastsed nãrivad ennast puitu ning ei vãlju sealt enam mitmete aastate kestel. Majasiku tõugud on erinevalt teistest tõukudest karvadeta. Majasiku vastsed kahjustavad enamasti maltspuitu. Nad nãrivad kõveraid kãike ja peamiselt piki puidukiude. Kãigud on nii tihedalt, et sageli sulavad erinevad kãigud kokku. Majasiku vastsed tekitavad puitu nãrides iseloomulikku heli. Majasikkude lennuaugud on ovaalse kujuga, 4 kuni 9 mm pikkused. Mõnikord valmikud ei lahkugi puidust vaid hoopis paarituvad ja munevad kãikudes. Mardikas ise on 10-20 mm pikkune musta vãrvi ja pikkade tundlatega, sageli on nad ka karvadega kaetud. (Pilt & Konsa, 2012)



*Joonis 3.8 Majasikk (Sadam, 2011)*



### **3.4.3 Bakterikahjustused**

Bakterid on üheraksed organismid, mis esinevad peaaegu igasugustes tingimustes, isegi temperatuuril üle 70°C. Nad lagundavad puitu vaid väga niisketes oludes, näiteks vette paigaldatud puidu puhul. Bakterid kahjustavad mõnda puiduliiki nii, et puit kaotab niiskusest põhjustatavad paisumis- ja kahanemisomadust, kui ei kaota tugevust. Bakterid tekitavad ebameeldivat lõhna. (Õiger, 2015)

## **4 PUITKONSTRUKTSIOONIDE RESTAUREERIMISTÖÖD**

### **4.1 Materjali kvaliteet**

Puitkonstruktsioonide kahjustuste puhul on vaja kas osaliselt või täielikult välja vahetada mõni puittarind. Algul tuleb kindlaks teha, kui suure kahjustusega on tegemist, ning siis saab otsustada, kas vahetada ainult kahjustatud osa uue vastu või piisab ka olemasoleva kandekonstruktsiooni osalisest asendamisest või tugevdamisest.

Taastamistöödeks kasutatav puit peab olema kvaliteetne ja kuiv. Ehituspuidu niiskus peab olema vahemikus 8-15%. Niiskus ei tohi kindlasti olla üle 20%. Ehituspuit on parem mida vanem ta on. Kui toores puit panna kaetud konstruktsiooni, võivad seal hakata arenema mädanikseened. Asendusmaterjali võiks valida samasuguse, mis oli hoonel algselt. Asendusmaterjaliks sobib nii taaskasutatud puit kui ka uus puit. Vana palk ei ole mädanikseentele nii atraktiivne, ning parandatud koht ei hakka nii palju silma (palk on juba pealt hall). Palgil ei või olla kindlasti suurt keerdkasvu ega ka mädanemis- ja putukakahjustusi. (Uus, 2018).

Palkide vahetamisel tuleb silmas pidada, et asenduspalk oleks asendatavaga võimalikult sarnane, nii kujult kui ka mõõtudel. Vana palk võib olla nii mädanenud, et ei ole võimalik täpseid mõõte teada saada, siis on otstarbekam valida uus palk selline, mis paika varatuna oleks umbes ühe sentimeetri võtta algsest jämedam. (Uus, 2018)

### **4.2 Palkide vahetus**

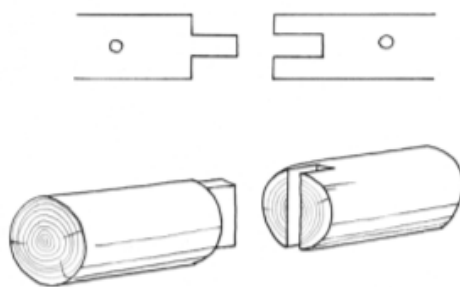
Terve palk vahetatakse välja suure ulatusega kahjustuste puhul. Tüüpiliseks selliseks kohaks on alumised välisseina palgid. (Söderberg & Kjellberg, 1997)

Mädanenud aluspalkide vahetamisel tõstetakse hoonet tungraudade, PERI-postide või muude tõstevahenditega nii palju, et mahuks vana palki vahetama. Enne palkide vahetamist tuleb ülemised palgired kindlasti toestada. Kui majal on ülemised palgired toestatud, saab alumisse vanasse palki sisse saagida. Pikema jupi kätte saamiseks võib palki mitmest kohast saagida. Samal ajal kui võetakse esimene palgirida ära, tuleb toestada teist palgirida. Kui vana palk on kätte saadud, siis enne uue palgiga asendamist paigaldatakse vundamendile niiskustõkke, milleks kasutada SBS-i. Kindlasti tuleb jälgida, et niiskustõkke paigaldamisel oleks aluspind tasane ja kuiv, vajadusel tuleb augud

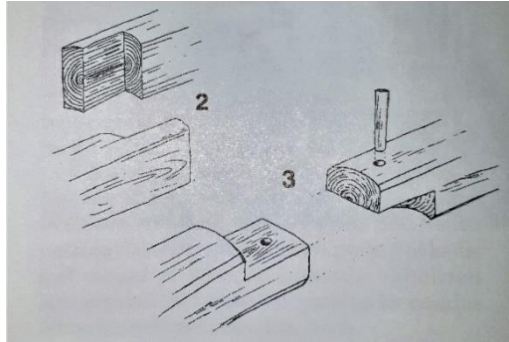
eelnevalt ära täita ja pind tasandada. SBS-i paigaldamiseks kasutada gaasipõletit või kuumaõhufööni. Kui hüdroisolatsioon on paigaldatud, siis sobitatakse esimese mädanenud palgi asemele uus sobivas mõõdus palk. Kui uus palk paika pandud, tuleb puitu kaitsta keskkonnamõjude eest puidukaitsevahendiga. Kuna palk asub niiskes keskkonnas, tuleb kasutada immutusmeetodit. Immutades pääseb puidukaitsevahend ka sügavamale puitu. Immutusvahenditega töötamisel tuleb järgida vastava tootja kasutusjuhendit. (Kivit, 2010)

Kui tegemist on suurema hoonega, ei pruugi saada palkide vahetuseks seinasid tõsta ja saab anda ainult kerget eelpingestust. Sellisel juhul tuleb palk vahetada prussidena, kus vana mädanenud osa saetakse pikuti sirgelt konstruktsioonist välja ja asenduseks paigaldatakse sobivas suuruses pruss. Tuleb tähele panna, et asenduskohad saaks hiljem korralikult takutada tihedaks ja soojapidavaks konstruktsiooniks. Vanade hoonete tõstmisele tuleb läheneda loominguiliselt, sest kasutatavad tõstemehhanismid ei tohi hakata segama vahetatavaid palke. Kui konstruktsioonid on juba liiga kahjustunud, et ei leia hoone tõstmiseks kohta, siis tuleb esmalt anda tõstetavatele seintele lisajäikust ajutiste sirutuslattide või pingutatud koormarihmadega. (Uus, 2018)

Palki osadena vahetades tuleb palgid jätkukohas kindlasti siduda. Tavaliselt kasutatakse vanade hoonete parandamisel keeljätku seotist (Joonis 4.1). Juhul kui keeljätku ei saa teha, siis on tuleb ühenduskohas kasutada pooltappi (Joonis 4.2). (Uus, 2018)



*Joonis 4.1 Palgi jätkamine keeljätkuga (Palkmaja ehitusest, 2016)*



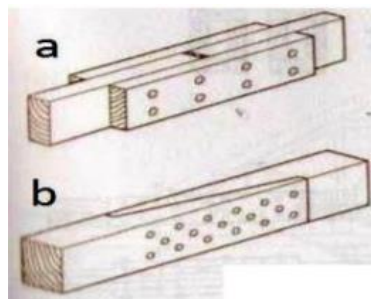
Joonis 4.2 Pool-poolega ühendus (2. Pikisuunas, 3. horisontaalsuunas) (Söderberg & Kjellberg, 1997)

### 4.3 Proteesimine

Proteesimist kasutatakse väiksemate kahjustuste korral, kui ei ole otstarbekas kogu palki välja vahetada. Proteesimise käigus eemaldatakse kahjustatud osa ja selle asemele tuleb paigaldada võimalikult sarnane osa algsele elemendile. Proteesimise käigus tuleb asendatavat palki ümbritsevad palgid toetada. Uus ja vana palk peavad hästi kokku sobima, selleks tuleb teha kokkupuutepinnad võimalikult siledad. Enne uue palgitüki kohale asetamist tuleks kokkupuutepinnad üle vööbata puidukaitsevahendiga. (Uus, 2018).

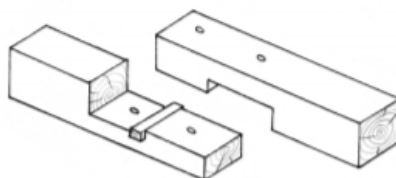
Kui puittala asendatakse osaliselt, siis tuleb kasutada sellist puitu, mille aastaringide suund on sama, mis oli väljatahutud palgitükil. Horisontaalsed vuugid välisküljel tuleb teha kaldega väljapoole, et vee sattumisel konstruktsiooni ei jääks see sinna pidama. (Idnurm, 2015)

Uus ja vana palk tuleb kindlasti omavahel ühendada. Uue ja vana palgiosa saab omavahel ühendada jätkutapi või külglappide abil (Joonis 4.3 - a). (Õiger, 2015)



Joonis 4.3. Puittalade jätkamine. a-külglappidega, b-diagonaaltapiga (Õiger, 2012)

Jätkutapiks võib kasutada erinevaid tappe: pool-poolega tappi (Joonis 4.2), diagonaaltappi (Joonis 4.3 - b) või siis hambaga tappi (Joonis 4.4). Liidete ühendamiseks kasutada poltühendust. Jätkatavad palgid ühendatakse omavahel salapulkadega. Kui on jätkatud mitu rida palke, tuleb jälgida, et jätkukohad ei kattuks. (Õiger, 2015)

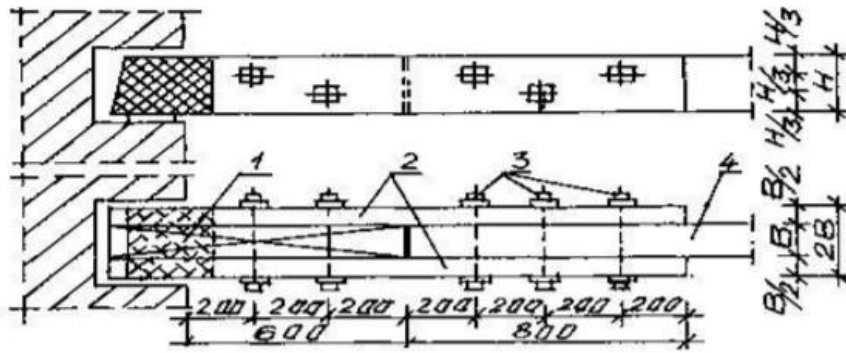


Joonis 4.4 Palgi jätkamine hammasjätkuga (Palkmaja ehitusest, 2016)

## 4.4 Talade tugevdamise meetodikad

### 4.4.1 Puittala otste tugevdamine

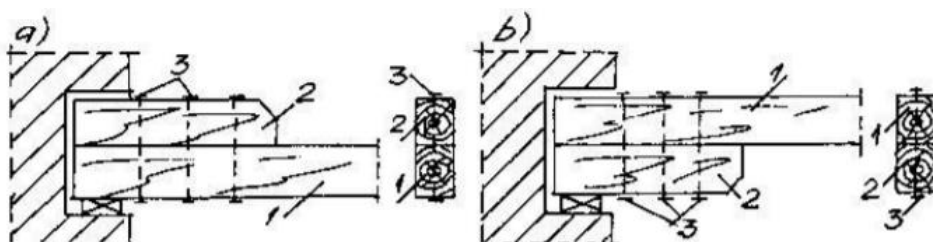
Kui kahjustunud kohaks on tala ots, mis on kinnitatud müüritisele, tuleb protees siduda otsast maakividest vundamendiga. Kiviseintesse müüritud puittalade otsad kõdunevad kiiremini kui tala ise, kuna on vahelduvas temperatuuri- ja niiskuse režiimis. Tala kõdunenud otsad saab asendada terve puiduga külglappide abil, mis kinnitatakse tala külge, kas poltide, naaglite või naeltega (Joonis 4.5). Külglappide ristlõike summa nii tala keskel kui ka otstes peab olema suurem tugevdatava tala ristlõikest. Proteesiks kasutatav puit dimensioneeritakse arvutuste alusel. Tala otstes protees peab vastu võtma peamiselt põikjõude, kuna toe lähedal on talale mõjuv paindemoment väike. (Käärid, 2004)



Joonis 4.5. Puittala otsa proteesimine külglappidega: 1- kahjustunud talaotsa asendusjätk, 2- külglapid, 3- Poldid, 4- proteesitav tala (Käärid, 2004)

Kui palgiotsad paigaldatakse vundamenti sisse, siis vundamendi pesades tuleb paigaldada palgiotsad lahtiselt. See tähendab, et talaots ja selle ümbrus jääb talapesas lahtiseks. Nii saab õhk liikuda talaotsa ümber. Puittala otsad tuleb lõigata 1:10 kaldu, kiirendamaks niiskuse väljaaurumist tala suurenenud otsapindadest. Enne proteesi paigaldamist, tuleb vundamendi poolse otsa küljed katta hüdroisolatsiooniga ja kogu protees antiseptida. Kaldu lõigatud pinda ei tohi antiseptida, kuna see takistab niiskuse väljumist puudust. (Käärid, 2004)

Põikjõu kandevõime suurendamiseks võib veel paigaldada pööningu- ja keldrivahelagedes tugedele abiprussid (Joonis 4.6), mis ühendatakse olemasoleva talaga poltide või rangide abil. Nii saab tugevdada ka esimese korruse alltuulutava põranda talasid. Sellise lahenduse puuduseks on ristlõigete oluline suurenemine. (Käärid, 2004)



Joonis 4.6 Puittala otste tugevdamine: a- pööningulagedes; b- keldrilaes või esimese korruse põrandatalades: 1- tugevdatav tala, 2- tugevduspruss, 3- kinnituspoldid (Käärid, 2004)

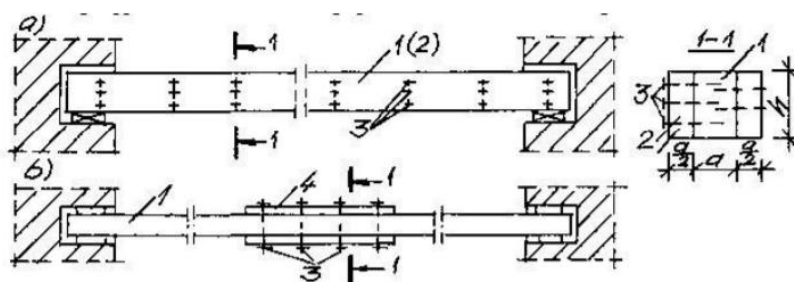
#### 4.4.2 Ühesildelise tala muutmine mitmesildeliseks

Ühesildelise tala muutmine mitmesildeliseks aitab vähendada talale mõjuvat koormust näiteks kui tala sille on liiga suur. Ajapikku muutuvad vahelagedel koormused, seetõttu muutuvad ka taladele mõjuvad koormused suuremaks. Tala koormuse vähendamise üheks võtteks on muuta tala kahesildeliseks, lisades silde keskele peatala ja posti. See aitab ühesildelise tala kandevõimet suurendada 2 kuni 3 korda. (Käärid, 2004)

Tala alla planeeritav konstruktsiooni läbipaine ei tohi olla suurem kui tugevdustalade eeldatav läbipaine (Idnurm, 2015). Uue tugiposti vajumi mõju vähendamiseks tuleb olemasolevatele taladele anda enne peatala ja posti paigaldamist tungrauaga või kiiludega teatud eeltõus. Samuti tuleb terasposti ülemine toetuspind (tellisposti korral betoonpadja toetuspind) paigutada selle eeltõusu võrra kõrgemale olemasolevate talade toetuspinnast oma tugedele. Aja jooksul posti vajum stabiliseerub ning talad jäävad tööle kahesildelise skeemi järgi. (Käärid, 2004)

#### 4.4.3 Puittalade tugevdamine abitaladega või külglappidega

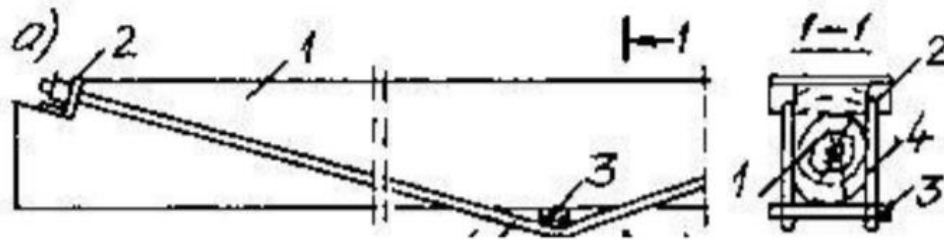
Kahjustunud ja koormuse all katki läinud palgil tuleb lisaks palgi asendamisele ka tõsta kandevõimet kogu vahelae ulatuses. Selleks, et suurendada tala ristlõiget, tuleb talale kõrvale asetada abitalad või panna tala külge tugevduslapid, mis ühendada poldide või naeltega (Joonis 4.7). Selline lahendus on väga levinud ja ka lihtsasti teostatav. Abitalade või tugilappide summaarne ristlõige peab võrduma vähemalt tugevdatava tala ristlõikega. (Käärid, 2004)



Joonis 4.7 Puittala tugevdamine: a- abitaladega; b- tugevduslappidega: 1- tugevdatav tala, 2- abitalad, 3- poldid, 4- tugevduslapid (Käärid, 2004)

#### 4.4.4 Talade tugevdamine tõmbevarrastega

Kui talade läbivajumid ei jää lubatud piiridesse või on ebapüsivad ja vibreerivad, siis võib talasid tugevdada tõmbevarrastega abil. Tõmbevardaid valmistatakse nii latt-, kant- kui ka ümarterasest. Tõmbevardad paigaldatakse mõlemale poole tala (Joonis 4.8) (Idnurm, 2015). Tõmbevarda otsad toetuvad tala ülemisele pinnale tala otsa kohal. Tõmbevarda keskkohat toetub tala keskel olevale alumisele pinnale pöiktoe abil. Varraste läbimõõt, toedetailid ja pingutusjõud määratakse tugevusarvutustega (Kull, 2014)



Joonis 4.8 Talade tugevdamine tõmbevarrastega: 1- tugevdatav tala, 2- tõmbevarda toed tala otses, 3- tugi tala keskel, ümarterasest tõmbevarras (Käärid, 2004)

### 4.5 Sarikate tugevdamise meetodid

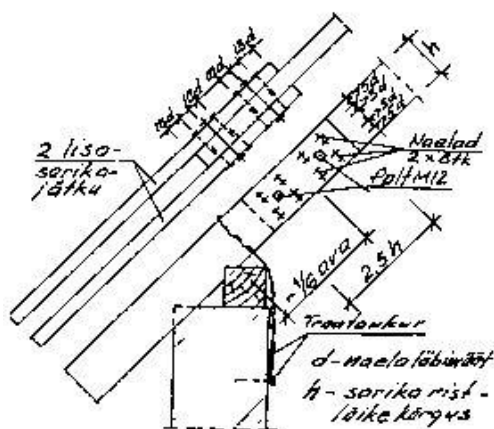
#### 4.5.1 Sarikate proteesimine

Kahjustunud sarikate otsad tuleb proteesida (Joonis 4.9). Tuleb kõigepealt teostada uuring, et teada saada, kui kaugemale ulatub kahjustus. Siis saab täpsustada proteesi mõõdud. Pehkinud ja seenekahjustusega puit eemaldatakse vähemalt 50 cm ulatuses pikemalt pehkimise piirist. Proteesitavad sarikad tuleb eelnevalt toetada. Proteesi jätku tohib teha ainult sarika toe lähedal. Üldjuhul ei tohi sarikaotste proteesid paikneda kõrvuti, vaid vaheldumisi tervete sarikatega. On võimalik proteesida ka kõrvuti olevaid sarikaid, kuid siis peaks neid toetama abipärlini vööga. (Käärid, 2004)

Enne, kui hakatakse proteesima sarikat, tuleb üle kontrollida ka sarika toetuspind. Enamasti toetuvad sarikad müürilatile, mis võtab vastu koormused ja kannab need edasi seinale. Kui sarika otste proteesimise käigus tulevad välja varem varjatuks jäänud müürilati kahjustused, siis tuleb müürilatt asendada. (Käärid, 2004)



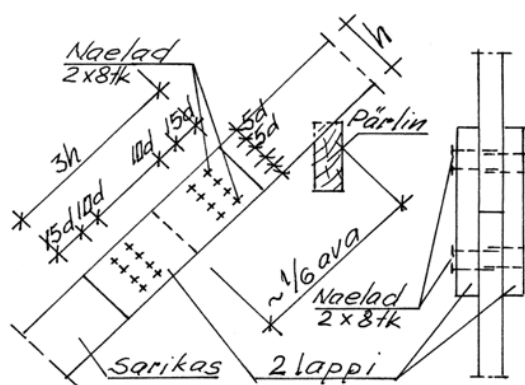
Uue müürilati paigaldamiseks on vaja kiilude või tungrauaga tõsta sarikad müürilatist lahti 1-2 cm võrra. Müürilati pehkinud osade vahetamine uute vastu toimub 2-3 m pikkuste jätkude kaupa, paigaldades ühtlasi ka uut hüdroisolatsiooni. (Käärid, 2004)



Joonis 4.9 Sarikate proteesimine (Käärid, 2004)

#### 4.5.2 Sarikate ja pärlinvöö jätkamine külglappidega

Sarikaid jätkatakse külglappidega Joonis 4.10 näidatud viisil, enamasti ülemise pärlinvöö piirkonnas, sellest all või ülevalpool. Naelte arv määratakse arvutusega, suuremate koormuste korral võib ühendust tugevdada ka poltidega. Analoogselt saab läbinõtkunud sarikat või pärlini vööd õgvendada ja tema kandevõimet tugevdada plankudest pikkade lappide külgedele naelutamisega. (Käärid, 2004)



Joonis 4.10 Sarikate jätkamine külglappidega (Käärid, 2004)

### **4.5.3 Vekseldamine**

Korstnate ja katuseluukide kohal paiknevad sarikad vekseldatakse, st vekseltala abil toetatakse sarikas kõrval olevatele sarikatele. Vekseltala kinnitatakse sarikate külge metallkingade abil. Ühe sarika vekseldamine ei ole probleem, kuid mitme puhul peavad kõrval olevad sarikad olema tugevamad või tuleb kasutada topeltsarikaid. (Idnurm, 2015)

Sarikate ja vekselsarika kaugus korstnast peab jääma vähemalt 20 cm kaugusele, mis on tuleohutuskaja 200-400 mm müüritiskorstna läbiviigu puhul. (Eesti Standardikeskus, 2018)

## 5 MARJA 16 ÜLEVAADE

### 5.1 Tehnilised andmed

Marja 16 on kahekorruseline puidust elamuhoone (Joonis 5.1), mis asub Tartus Supilinna linnaosas ning on ehitatud 1896. aastal.



Joonis 5.1 Marja 16 hoone (autori foto)

Hoones asus 1912. aasta seisuga kolm ühetoalist korterit ja 11 kööktuba (RA.EAA.T-1168.2.14533). Hoone tehnilised andmed aastal 1912 on välja toodud Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Marja 16 tehnilised andmed aastal 1992 (RA.EAA.2381.2.988) (Soodla, 2018)

Hoonealune pind (m <sup>2</sup> )	193
Hoone kogu pind (m <sup>2</sup> )	281,1
Sh hoone kasulik pind (m <sup>2</sup> )	218,7
Hoone maht (m <sup>3</sup> )	1238
Elamispind (m <sup>2</sup> )	167,3
Teenindav pind (vürtspood) (m <sup>2</sup> )	69,0
Katusepind (m <sup>2</sup> )	260

Ehitusregistri andmetel asub hoones hetkel 10 korterit. Hoone tehnilised andmed on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 5.2).

Tabel 5.2 Marja 16 tehnilised andmed seisuga 02.02.2021 (Hoone 104014307, 2021)

Ehitise nimetus	Elamu
Ehitise liik	Hoone
Ehitisregistrikood	104014307
Ehitise seisund	Kasutusel
Peamine kasutatav otstarve	Kolme või enama korteriga elamu
Ehitalune pind (m <sup>2</sup> )	186
Maapealsete korruste arv	2
Suletud netopind (m <sup>2</sup> )	287,7
Maht (m <sup>3</sup> )	1238
Üldkasutatav pind (m <sup>2</sup> )	48,3

## 5.2 Hoone puitkonstruktsioonid

### 5.2.1 Sise- ja välisseinad

Marja 16 on puidust korterelamu, mille välis- kui ka siseseinad on laotud rõhtpalkidest. Välisseinad toetuvad maakivist vundamendile. Seinte ehitamiseks on kasutatud tahumata ümarpalke. Välisseinad on kaetud fassaadilaudisega.

Hoone kõik välis- ja esimese korruse siseseinad on kandvad (Lisa 2, leht 1). Teise korruse siseseintest on kandvad need, mis on hoonega põiki (Lisa 2, leht 3). Kõik siseseinte kandepalgid on seotud välisseinte kandepalkidega. Väliskonstruktsioonil on palkide läbimõõt 350 mm ja sisekonstruktsioonil 200 mm.

### 5.2.2 Vahelaed

Esimese korruse põranda kandepalkide ristlõige on varieeruv 110-270 mm vahel ja samm on keskmiselt 1135 mm. Vahelaetalade sisse on tahatud servad, toetuspinnaga umbes 30 mm, kuhu peale on varasemalt toetatud laelauad.

Enamik talasid on terve vahelaie pikkuses. Terves vahelaie ulatuses olevaid palke on varasemalt poole pealt toetanud peatala. Teised talad toetuvad ühest otsast vundamendile ja teisest otsast ruumi keskel asuvale vundamendile (Lisa 1, leht 4).

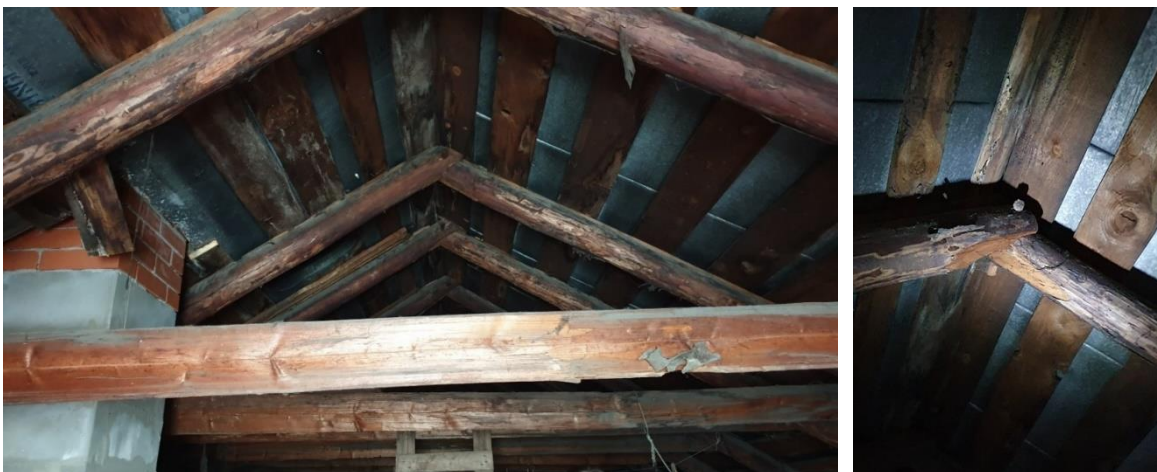
Esimese ja teise korruse vahelises vahelaekonstruktsioonis on kasutatud ümarpalke, mille läbimõõt on 200 mm, ning nende samm varieerub 800-1000 mm vahel. Vahelaekonstruktsiooni täiteks on kasutatud šlaki ja liiva kooslust.

Teise korruse ja pööningu vahelaekandepalkide läbimõõt on 200 mm ning samm jääb 900-1400 mm vahele. Konstruktsiooni vahetäiteks on kasutatud liiva. Talad ei ole hoone kogu pikkuse ulatuses, vaid neid on jätkatud. Talade jätkamiseks on kasutatud koba.

### 5.2.3 Katusekonstruktsioon

Hoonel on 30° kaldega viilkatus, mida kannavad ümarpalkidest sarikad. Sarikate ristlõige jääb 160-190 mm vahele ja sammud varieeruvad 900-1400 mm vahel. Sarikate harjad on omavahel ühendatud pooltapp-punnliitega (Joonis 5.4). Sarikapaarid on seotud omavahel pennidega, mis on tehtud poolpalkidest. Penni kõrgus vahelaest on keskmiselt 2000 mm. Sarikad ja pennid on samuti omavahel ühendatud pooltapp-punnliitega. Pennideks on kasutatud 80x160 mm ristlõikega poolpalke.

Roovituseks on kasutatud 25x200 mm ristlõikega poolpalke. Roovide samm varieerub 200-300 mm vahel.



*Joonis 5.2 Ümarpuidust sarikad ja pennid ning paremal näha sarikate omavaheline tapp-punnliide (autori foto)*

## 5.2.4 Tuulekoda

Maja taga asuv tuulekoda on hoonele hiljem juurde ehitatud. See on puitkarkassehitus, mis ei ole ühenduses hoone kandvate konstruktsiooniga.

Tuulekoda on ehitatud sõrestikkarkassile ning on kaetud 200 mm ristlõikega tahatud palkidega (Joonis 5.3). Palgid on omakorda väljast poolt kaetud samasuguste rõhtsate fassaadilaudistega nagu ülejäänud hoone. Tuulekoda toetub nurgapostidega kohtvundamendile. Tuulekojal puudub hoonega siduv vundament.



Joonis 5.3 Tuulekoja konstruktsioon ja ühenduskoht hoonega (autori foto)

## 5.3 Varasemalt teostatud ehitustehnilised uuringud

**Mükoloogilist ekspertiisi** on hoones teinud Kalle Pilt 2017. aastal. Olukorra hindamiseks võeti puitkonstruktsioonidest proove ja vaadeldi olukorda visuaalselt nii keldris kui ka esimese ja teise korruse konstruktsioonides. Ekspertiisi käigus selgus, et hoone keldris asuvatel puitkonstruktsioonidel esinevateks seeneliikideks on Coniophora puteana (majamädanik) ja *Id Leucogyrophana* (männi-mädiknahkis) (Pilt, Ekspert hinnang 3370/1017, 2017).

Hoonele pole tehtud ehitusgeoloogilist analüüsi.

**Tehnilise seisukorra hindamist** on varasemalt teostatud ajaloo arhiivi materjalide põhjal kaks korda. Esimene on tehtud 19. juuli 1945. ja teine 6. juuni 1967. aastal. Toimikutes välja toodud hinnangud hoonele on näha alljärgnevas tabelis (Tabel 5.3). (Soodla, 2018)



Tabel 5.3. Tehnilise seisukorra ülevaade arhiivi toimikute põhjal (EAAT-0-1168\_002\_0014533)  
(Soodla, 2018)

<b>Hoone osa</b>	<b>Väljavõte 1945. aasta toimikust</b>	<b>Väljavõte 1967. aasta toimikust</b>
Sokkel, vundament	Soklis praod ja väljavajumised püstjoones	Mitterahuldav
Välisseinad	Vajunud, osa palke kõdunenud	Mitterahuldav
Seinte väliskate	Vigastused pommikildudest, värv kulunud	Mitterahuldav
Seinte sisekate	Krohv mõranenud, tapeet lagunenu	Mitterahuldav
Katus	Tsinkplekk auke täis pommikildudest	Mitterahuldav
Laed koos konstruktsioonidega	Talad vajunud	Mitterahuldav
Põrandakate	Talad vajunud, lauad kulunud	Mitterahuldav
Vaheseinad	Vajunud ja kõdunenud	Mitterahuldav
Trepid	Astmed kulunud	Mitterahuldav
Aknad	Kaardunud ja raamid osaliselt mädanenud	Mitterahuldav
Uksed	Uksed viltu vajunud	Mitterahuldav
Kütteseades	Välispinnas tugevad vigastused, ei tõmba	Mitterahuldav
Korsten	Vajunud	Mitterahuldav
Välistrepp	Astmed kulunud	Mitterahuldav

## 6 PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINNANG

### 6.1 Välisseinte konstruktsioon

#### 6.1.1 Akende all asuvad palgiired

Esimese korruse välisseina palke oli võimalik hinnata visuaalsel teel, kuna seest poolt oli seintelt eemaldatud roomatt ja krohv. Silmaga oli näha, et välimistel kandvatel seintel esineb niiskuskahjustusi akende all olevatel palkidel (Joonis 6.3). Vihmavesi on pääsenud kahjustama akna alust puitkonstruktsiooni puuduliku aknapleki tõttu. Palgis oleva liigniiskuse tõttu on hakanud kasvama hallitusseened. Kuna hetkel ei ole enam hallitust, on raske hinnata, mis hallitusseenelega on tegu olnud.

Vundamendist kolmandal palgil on näha sinetusseente algeid, millest tuleb vabaneda, kuna need tungivad palgi sisse, erinevalt hallitusseentest.

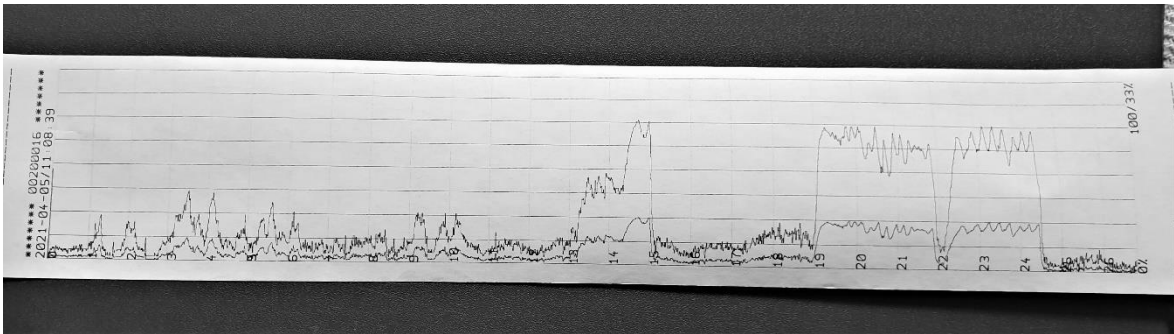
Konstruktsioonide täpsemaks uurimiseks seest poolt kasutati vajalikes kohtades resistograafi (Joonis 6.1). Programm Resistograafi andmete töötlemiseks on „Decom 2.xx Expert“. Saadud andmete põhjal on võimalik teostada tugevusarvutusi ning parandustöid.



Joonis 6.1 Resistograaf Series 650 (autori foto)

Puuriti vundamendi pealt neljandat palki (Joonis 6.3) ja graafikult (Joonis 6.2) selgus, et see palk on seest täielikult kahjustunud ning tuleb asendada. Teine ja kolmas palk on heas seisukorras.





Joonis 6.2 Resistograafi graafik vundamendist neljandal palgil (akna all)(autori foto)



Joonis 6.3 Niiskusest põhjustatud hallituseente kahjustusega palgid hoone akna all seest poolt vaadatuna (autori foto)

### 6.1.2 Alumised palgiredad

Visuaalselt olid näha ka alumiste palgiridade kahjustused. Neid on põhjustanud palgis temperatuuri ja niiskuse kõikumine, kuna seinad on ehitatud maakivist vundamendile ja kivipinnad jahtuvad kiiremini, siis tekib kivipinnale kondensatsioonivesi. Samuti on maapinna kõrgus aastatega tõusnud. Hoone sokkel on lääneküljel väga madal (Joonis 6.4), ja kuna alumised palgid on maa ligidal, siis maapinnalt pritsib vihmavesi neile

otse peale. Samuti on hoonel varasemalt puudunud vihmaveerennid ja vesi on jooksnud otse seina äärde. Eeltoodud põhjuste tõttu on ka alumistes palgiridades kõrgem niiskusesisaldus ja on hakanud kasvama hallitusseened. Hetkel hallitust enam ei ole, kuid kahju on juba tehtud.

Joonis 6.3 näha olevat kõige alumist palki (nr 1) puuriti ka resistograafia. Graafikult selgus, et palgil esinev seenkahjustus on ainult pinnapealne ja ülejäänud palk on terve.

Läänepoolsel küljel madala sokli tõttu on esimene palgirida läbi pehkinud (Joonis 6.4).

Kõikidele alumistele palkidele teostatud vastupanupuurimiste asukohad ja suunad on näha töö lisa 2, lehel 11 ning saadud graafikud on näha töö lisa 3. Alumiste palgiridade seisukord ja nende asukohad on toodud välja ka hoone plaanil (lisa 2, leht 2).



*Joonis 6.4 Läänepoolsel küljel kahjustunud alumine palk (autori foto)*

### **6.1.3 Teise korruse välisseinte palgiredad**

Teise korruse välisseinte kahjustuste leidmiseks kasutati termokaamerat (Joonis 6.5). Termokaamera teeb samast kohast ka tavalise foto. Olukorra hindamiseks kasutati



termokaamera pilte, sest seinad on seest poolt viimistletud ning välisseina katab väljast poolt laudis. Välisseinte seisukorda saab täpsemalt hinnata, kui eemaldada hoone seintelt krohv ja fassaadilauad. Krohvi ja fassaadilaudise eemaldamist antud töö käigus ei tehtud.



Joonis 6.5 Termokaamera Flir R6 (autori foto)

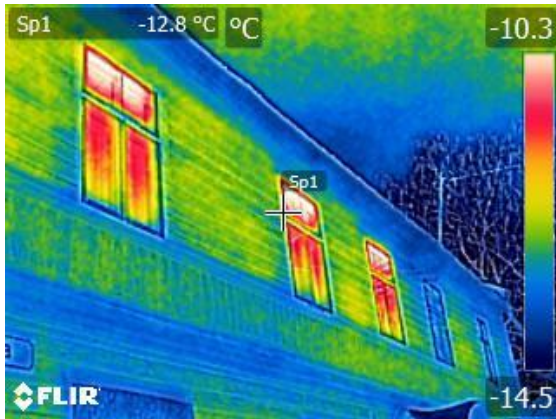
Alumise korruse kohta ei ole termopiltidelt võimalik informatsiooni saada, kuna seal olid pildistamise hetkel konstruktsioonid avatud ja õhutemperatuur madal.

Termopiltide analüüsist järeldub, et lõunafassaadil esimest korrusest kõrgemal välisseintes ei esine suuri kahjustusi. Pehkinud puidu avaldumisenähtusi võib näha teise korruse aknast paremal pool hoone küljel (Joonis 6.6). Samuti on mõningaid ilminguid pööninguaknast all pool palkidel. Pööningu otsaviilu küljele jääv punane toon on pigem suur soojakadu, kuna pööningult antud kohta visuaalselt kontrollides on konstruktsioon terve.



Joonis 6.6 Lõunafassaadi termopilt, paremal samast kohast tehtud foto (autori foto)

Termokaamera pildil idafassaadi ülemisest korrusest on näha, et välisseintes on palgid heas seisukorras (Joonis 6.7). Pildilt on näha, et soojus eraldub akende kaudu välja, kuna aknad kiirgavad punast värvi. Sinist värvi kiirgavate akende kaudu saab aru, et seal olevad ruumid on kütmata.



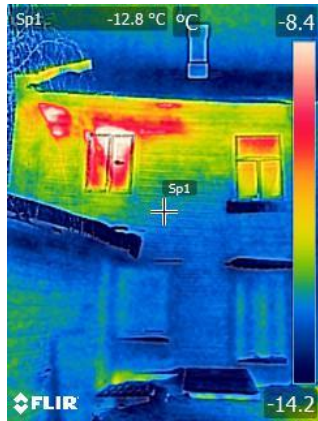
Joonis 6.7 Idafassaadi ülemise korruse termopilt, paremal samast kohast tehtud foto (autori foto)

Läänefassaadi parempoolsest osast tehtud termopildilt võib järeldada, et teise korruse akende kohal olevad palgid on pehkinud (Joonis 6.8). Sellele viitab oranžikas-punane värv akende üleval.



Joonis 6.8 Parempoolse läänefassaadi osast termopilt, paremal samast kohast tehtud foto (autori foto)

Analüüsisid termokaamera pilti vasakpoolsest läänefassaadi osast, on teise korruse vasakpoolse akna kohal olevatel palkidel ulatuslikud kahjustunud (Joonis 6.9). Samuti on näha ülemisel palgireal väikest osa, mille kaudu eraldub palju soojust.



Joonis 6.9 Vasakpoolsest läänefassaadi osast termopilt, paremal samast kohast tehtud foto (autori foto)

Põhjafassaadi moodustab tellistest tulemüür, milles esineb pragusid. Praod on ohtlikud, kuna sealt kaudu võib vesi tungida müüri vahele ning sealt edasi hoone puitkonstruktsioonideni. Põhjafassaadi seinakonstruktsioon on seest poolt kaetud roomati ja krohviga. Roomati ja krohvi eemaldamist antud töökäigus ei tehtud.

## 6.2 Siseseinte konstruktsioon

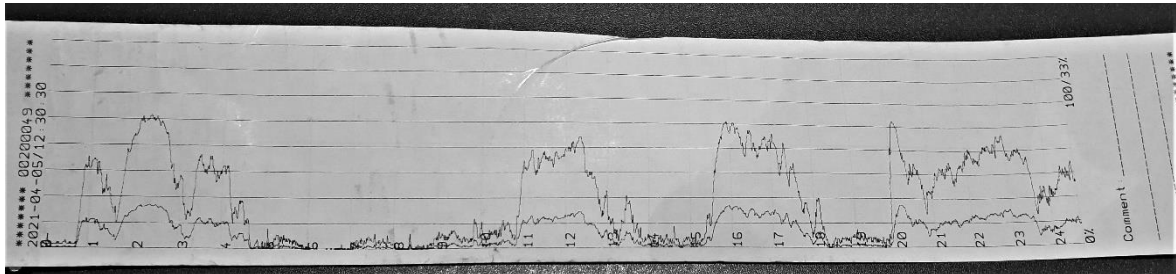
Keldri kõrge niiskusesisalduse tõttu hinnati esimese korruse siseseinte alumiste palkide seisukorda lisaks visuaalsele vaatlusele ka vastupanu mõõtmisel saadud tulemustega.

Üks mitte rahuldavas seisukorras siseseina alumine palk asub teljel C, telgede 4-6 vahel (Joonis 6.10). Visuaalselt vaadates on palgi pind ilma kahjustusteta, kuid vastupanupuurimise graafikult on näha, et palk on kogu ristlõike ulatuses kahjustunud (Joonis 6.11).





Joonis 6.10 Esimese korruse sisesein teljel C, telgede 4-6 vahel (autori foto)

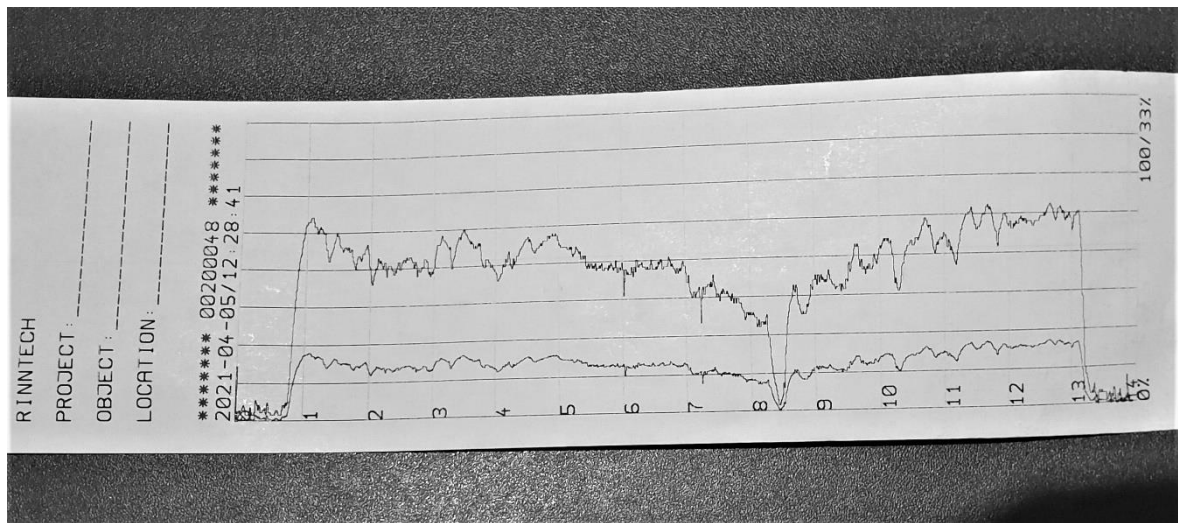


Joonis 6.11 Teljel C, telgede 4-6 vahel asuva esimese korruse siseseina alumise palgi vastupanupuurimise graafik (autori foto)

Teine mitte rahuldavas seisus siseseina alumine palk asub teljel 5 telgede A ja B vahel (Joonis 6.12). Visuaalselt hinnates on palk korralik, kuid resistograafia puurides saadud graafikult on näha, et kahjustus on hoopis palgi sees (Joonis 6.13). Enamus alumistest palkidest on teljel 4 mädanenud. Kõik siseseinte alumiste palkide asukohad ja saadud jääkistlõiked on näha töö lisan 3.



Joonis 6.12 Esimese korruse sisesein teljel 5, telgede A-B vahel (autori foto)



*Joonis 6.13 Teljel 5, telgede A-B vahel asuva esimese korruse siseseina alumise palgi vastupanupuurimise graafik (autori foto)*

Seinte keskel asuvate palkide seisukorra visuaalsel hindamisel märgatavaid niiskus-, seen- ja putukakahjustusi ei täheldatud ning seinte seisukord on rahuldav.

Teise korruse siseseinte seisukorda sai hinnata ainult telgede A-B vahel (Lisa , leht 3), kuna seal olid konstruktsioonid avatud. Telgede B-E vahel on siseseinad viimistletud. Teise korruse kõik nähtavad siseseinad olid kõik rahuldavas seisukorras ega vaja asendamist.

## **6.3 Vahelae talade konstruktsioon**

### **6.3.1 Keldri ja esimese korruse vahelagi**

Esimese korruse ruumides käivad remonttööd ning selle käigus on eemaldatud ka paljud vahelaetalad.

Olemasolevate keldri ja esimese korruse vahelaetalade seisukorda hinnati visuaalselt ja teostati lisaks puidu vastupanuvõime mõõtmised kõikidel taladel. Suure sildega taladel mõõdeti keskelt ja mõlemast otsast ning lühematel ainult otstest.

Biokahjustusi on näha kõikidel olemasolevatel vahelaetaladel. Puit on seenkahjustusest pudedaks muutunud ning on ka mardikate poolt läbi näritud (Joonis 6.14 ja Joonis 6.15). Olemasolevad keldri vahelaetalad on ära märgitud keldri vahelae konstruktsiooni plaanile töö lisas (Lisa 1, leht 4).

Biokahjustuste peamiseks tekkepõhjuseks Marja 16 hoone keldris on liiga kõrge õhu suhtelise niiskuse tase, mis on tingitud omakorda keldrisse tungivast surveisest põhjaveest. Lisaks valgub keldriakendest sadevesi keldrisse.

Keldris esinevateks seeneliikideks on *Coniophora puteana* (majamädik) ja *Id Leucogyrophana* (männi-mädiknahkis) (Pilt, 2017). Alloleval pildil (Joonis 6.14) on näha, et seal on tegemist olnud pruunmädanikuga. Märk pruunmädanikust on see, et puidus on hävitatud tselluloosi ja selle tulemusena on puit värvunud pruunikamaks ning on muutunud kuivades pudedaks.

Analüüsid vahelae konstruktsioonis olevate putukate väljalennuavasid, siis putukakahjustused on tehtud toonesepade poolt, kuna avad on ümmargused ja väga väikesed (Joonis 6.14).

Ühel neljandikul hoonest on keldri vahekonstruktsioon eemaldatud ja betooniga täidetud (vt Lisa 2, leht 4). Kõrvalruumi ulatuvad talad on läbi saetud.



Joonis 6.14 Palgil olevad putuk- ja seenkahjustused (autori foto)



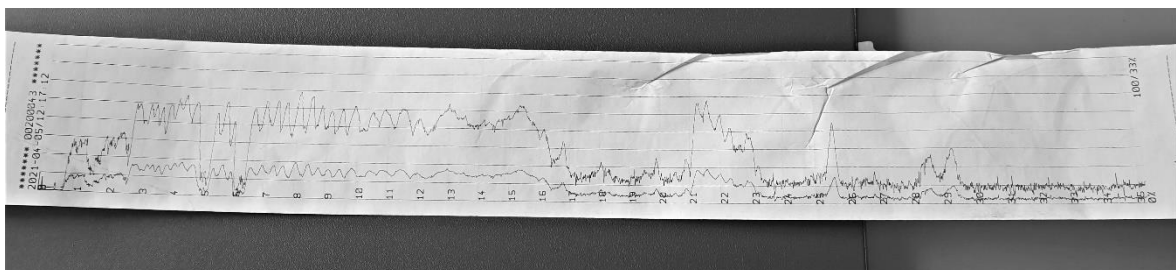


Joonis 6.15 Mädanenud palgid (autori foto)

Vastupanupuurimine teostati ka terve vahelaelatuses olevaid talasid toetavale peatalale (Joonis 6.16). Peatala asukoht on näidatud töö lisa (Lisa 2, leht 5). Visuaalselt ei olnud näha ühtegi deformatsiooni, kuid graafikult selgus, et peatala on seest kahjustunud ning tuleks kindlasti välja vahetada (Joonis 6.17).



Joonis 6.16 Keldri vahelaetalasid toetav peatala (paremal) (autori foto)



Joonis 6.17 Vastupanu puurimisel saadud graafik peatala keskelt (autori foto)

Resistograafia puurides saadud jääkristlõikeid kasutatakse peatükis 7 keldritalade läbipainde arvutamiseks erinevatel telgedel vahemikel. Peale arvutusi selgub, kas olemasolevad talad on piisavalt vastupidavad, et jätta konstruktsiooni alles.

### **6.3.2 Esimese ja teise korruse vahelagi**

Esimese ja teise korruse vahelae konstruktsioon on hoone põhjapoolses otsaseinas oleva tule müüri poole viltu vajunud. Lae konstruktsioonis esineb läbiviike, mis on tehtud torustike paigaldamise jaoks.

Esimese ja teise korruse vahelaetalade seisukorda hinnati esimeselt korruselt visuaalselt ning nende seisukord on hea.

### **6.3.3 Teise korruse ja pööningu vahelagi**

Teise korruse ja pööningu vahelae talade olukorda hinnati visuaalselt pööningult. Telgedel A ja B vahel on vahelagi avatud ning nende vahel olev soojustus on eemaldatud.

Visuaalsel vaatlusel olid kõik talad rahuldavas seisukorras ning ei vaja asendamist.

Kuna palgid ei ulatu ühest seinast teiseni, siis on talasid jätkatud (Lisa 2, leht 7). Jätkukohtades tuleb ühendamiseks kasutada koba (Joonis 6.18), kuid hetkel ei ole seda kõikides jätkukohtades tehtud.



*Joonis 6.18 Teise korruse ja pööningu vahelaetalade ühenduskoht, kasutades koba (autori foto)*

## 6.4 Katuse konstruktsioon

Katuse konstruktsioonide seisukorda hinnati visuaalsel teel. Katusekonstruktsioonis esinevaid kahjustusi on näha töö lisas (Lisa 2, leht 8).

Ühe korstna juures on sarikast 600 mm suurune osa välja lõigatud. Sarika pooled on ajutiselt prussi abil toetatud, et ära hoida katuse koormusest tulenevaid katuse konstruktsiooni kahjustusi (Joonis 6.19). Katkestatud koha vahel on korsten. Penn, mis seda sarikat teisega koos hoidma peaks, on korstna tõttu eemaldatud, selle tõttu ei ole ka tervel sarikal vahepealset tuge.

Ühes kohas on kahe sarika ühenduskoht lahti läinud ning olukorda on proovitud parandada ajutiste lisatugedega mõlemal sarikal (Joonis 6.20). Samuti on ülevalt mõlemad sarika pooled lauaga kokku löödud. Sarikate tugipost toetub laetaladele ning neid sarikaid ühendav penn on ketiga roovide külge kinnitatud. Katusel tulevaid koormuseid ei või kanda vahelaetaladele, vaid koormused tuleb kanda välisseintele müürilati abil.

Varasemate katuse läbijooksude tõttu on kahjustada saanud räästas ka üksikud sarikate otsad.

Visuaalsel hinnangul on hoone müürilatid heas seisukorras.



Joonis 6.19 Katkendlik sarikas asub korstna juures (autori foto)





*Joonis 6.20 Liitumiskohast toetatud sarikad ja penn (autori foto)*

## **6.5 Puidust tuulekoda**

Tuulekoja kolme kohtvundamendi vajumise tõttu on tuulekoja konstruktsioon vasakule poole viltu (Joonis 6.21). Vajumist mõjutab kõige rohkem survealine põhjavesi.

Tuulekoja palgid on visuaalselt hinnates rahuldavas seisukorras ja ei vaja välja vahetamist. Fassaadilaudis on viltu vajunud ja nurgakinnitustest lahti tulnud. Laudis on ajutiselt uue lauaga kinnitatud (Joonis 6.22). Samuti alumised nurgalauad mädanevad kõikides tuulekoja nurkades.



*Joonis 6.21 Viltu vajunud tuulekoda (autori foto)*



*Joonis 6.22 Tuulekoja fassaadilaudis nurgas (autori foto)*

## **7 TUGEVUSARVUTUSED**

### **7.1 Üldist**

#### **7.1.1 Kasutatud normdokumendid ja arvutiprogrammid**

##### **Standardid**

- EVS-EN 1990:2002+NA:2002 "Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused" (Eesti Standardikeskus, 2003)
- EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 "Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus" (Eesti Standardikeskus, 2016)
- EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 "Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus" (Eesti Standardikeskus, 2007)
- EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 "Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused" (Eesti Standardikeskus, 2009)
- EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2 "Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks" (Eesti Standardikeskus, 2015)

##### **Raamatud**

- Ehituskonstruktoriga käsiraamat (Ehituskonstruktoriga käsiraamat, 2012)
- Puit- ja puidupõhised konstruktsioonid (Just, Öiger, & Just, 2015)

##### **Arvutiprogrammid**

- AutoCAD LT 2020
- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022 (edaspidi ARSAP2022)

## 7.1.2 Arvutuselused ja meetodika

Konstruksiooniarvutustega kontrollitakse, et ei ületataks kande- ja kasutuspiirseisundi tingimusi. Kandepiirseisundi ületades kaotab konstruktsioon kandevõime, ning on ohtlik inimestele. Kasutuspiirseisundis lähtutakse konstruktsiooni normaalsest kasutamisest nõudest, kui ka inimeste mugavusest ning ehitise välimusest (deformatsioonid, mitte kandvate elementide kahjustused jms). Kasutuspiirseisundi deformatsioonid saavad olla taastumatud või taastuvad, lähtuvalt sellest, kas koormustest põhjustatud muutused konstruktsioonis jäävad alles pärast koormuse mõju eemaldamist või mitte. (Eesti Standardikeskus, 2003)

Keldri vahelaekonstruktsioonide sisejõudude leidmiseks on tehtud arvutusskeem, mis on sisestatud arvutiprogrammi ARSPA2020. Koormused on sisestatud joonkoormustena.

## 7.2 Koormused

### 7.2.1 Üldosa

Ajalise kestuse järgi liigitatakse koormused alalisteks, muutuvateks ja erakorralisteks koormusteks.

Käesolevas töös:

- Alalised ehk püsikoormused (G) – konstruktsioonide omakaal
- Muutuvkoormused (Q) – lumekoormus, tuulekoormus ja kasuskoormus vahelaele ja seinale

Tarindite piirseisundi kontrollimisel lähtutakse koormuse normväärtusest. Arvutused tehakse arvutusväärtustega, mis saadakse normväärtuse korrutamisel osavaruteguriga. Osavarutegur arvestab koormuse võimalikku hälvet normväärtusest ebasoodsamas suunas. Koormusi rakendatakse arvutustes kombinatsioonidena vastavalt valitud koormusjuhtudele ja piirolukordadele. Muutuvkoormuse arvutusväärtus korrutatakse koormuskombinatsioonis kombinatsiooniteguriga, mis arvestab samaaegselt mõjuvate muutuvkoormuste kõige ebasoodsamate väärtuste samaaegse mõjumise tõenäosust. (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 180)

Koormuste arvutusväärtuse ning koormuskombinatsioonide üldvalemid on võetud projekteerimise aluseid käsitlevast standardist EVS-EN 1990:2002+NA:2002.

Koormuse  $F$  arvutusväärtuse  $F_d$  üldkuju (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 181):

$$F_d = \psi \cdot \gamma_d \cdot F_k \quad (7.1)$$

kus,  $\psi$  – koormuse kombinatsioonitegur  
 $\gamma_d$  – koormuse osavarutegur vastavalt indeksile  
 $F_k$  – koormuse normväärtus

Materjali omaduste arväärtused arvutatakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24):

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (7.2)$$

kus,  $k_{mod}$  – koormuse kestuse ja niiskusesisalduse mõju arvestav modifikatsioonitegur  
 $X_k$  – tugevusomaduse normväärtus  
 $\gamma_M$  – materjali omaduse osavarutegur.

Käesolevas töös eeldatakse külma pööningu katusekonstruktsioonide kasutusklassiks 2. Tegur  $k_{def}$  arvestab roome deformatsioone vastavas kasutusklassis.  $k_{def}$  väärtused on esitatud Tabel 7.2. Materjali osavarutegur  $\gamma_M$  soovitatav väärtus saepuidule vastavalt standardile on  $\gamma_M = 1,30$  (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24).  $k_{mod}$  väärtused võetakse lühima kestusklassiga koormuse järgi ja on esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 7.2) (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 505).

Tabel 7.1  $k_{mod}$  väärtused (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 505)

Materjal	Kasutusklass	Koormuse kestusklass				
		Alaline koormus	Pikaajaline koormus	Keskmise kestusega koormus	Lühiaajaline koormus	Hetkeline koormus
Saepuit	2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,10

Tabel 7.2  $k_{def}$  väärtused (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 510)

Materjal	Kasutusklass		
	1	2	3
Saepuit	0,60	0,80	2,00



Tugevusklassile C24 vastavad ja arvutustes kasutatavad normatiivsed tugevusomadused on saadud Ehituskonstruktori käsiraamatu tabelist 14.5 (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 506):

Tabel 7.3 Saematerjali C24 tugevusomadused (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 506)

	Painde- tugevus	Tõmbetugevus		Survetugevus		Nihke- tugevus	Elastusmoodul		Tihedus
		$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$		$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	
Ühik	N/mm <sup>2</sup>								kg/m <sup>3</sup>
<b>C24</b>	<b>24</b>	<b>14</b>	<b>0,4</b>	<b>21</b>	<b>2,5</b>	<b>4,0</b>	<b>11000</b>	<b>7400</b>	<b>420</b>

## 7.2.2 Kasuskoormus

Kasuskoormus on muutuvkoormus, mis on põhjustatud hoone kasutamisest (nt paigaldatakse hoonesse mööblit ja erinevaid seadmeid, tehakse juurde vaheseinu jms). Vahelagedele rakendatava kasuskoormuse normväärtus on võetud standardist EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 ning on näha alljärgnevas tabelis (Tabel 7.4). Vastavalt standardile on käesoleva töö hoone oma funktsiooni alusel rühmitatud klassi A. Katusekonstruktsioonide arvutustes ei arvestata kasuskoormust.

Tabel 7.4 Kasuskoormuse normväärtused (Eesti Standardikeskus, 2009, lk 21)

Koormatud pinna klass	Kasutamise iseloom	Kasuskoormuse normväärtus	
		$q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	$Q_k$ (kN)
Klass A - vahelaed	Majapidamis- ja elamispinnad	2,0	2,0

## 7.2.3 Lumekoormus

Lumekoormus on muutuvkoormus, mille määramisel võetakse arvesse katuse kuju ning lume paiknemist katusel. Elamu lumekoormuse arvutamiseks on kasutatud standardit EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 (Eesti Standardikeskus, 2016).

Käesolevas töös on leitud lumekoormused viilkatusele, kus mõlema poole katuse kalded on 30°.

Katuse lumekoormuse normsuurus määratakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2016), :

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k, \quad (7.3)$$

kus  $\mu_i$  – lumekoormuse kujutegur

$C_e$  – avatustegur,  $C_e = 1,0$  (Eesti Standardikeskus, 2016, lk 49)

$C_t$  – soojustegur,  $C_t = 1,0$  (Eesti Standardikeskus, 2016, lk 49)

$s_k$  – normatiivne lumekoormus maapinnal, Tartu linnas  $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$ , vastavalt EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 joonisele NA.4.1 (Eesti Standardikeskus, 2016, lk 46)

Viilkatuse lumekoormuse kujutegur, kui katuse kaldenurk jääb vahemikku  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$  (Eesti Standardikeskus, 2016, lk 50):

$$\mu_i = 0,8 \quad (7.4)$$

Normatiivne lumekoormus katusel normaalolukorras leiti valemiga (7.3):

$$s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

## 7.2.4 Tuulekoormus

Tuulekoormus on muutuvkoormus. Tuulekoormus esitatakse enamasti arvutusväärtus, mis mõjub konstruktsiooni pinnaga risti.

Tuulekoormus arvutatakse vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 (Eesti Standardikeskus, 2007) ja Ehituskonstruktori käsiraamatule (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012).

Kõigepealt tuleb arvutada tippkiirusrõhk  $q_p(z_e)$  [kN/m<sup>2</sup>], siis välisrõhutegurid  $c_{pe}$  ning lõpuks tuulerõhk  $w_e$  [kN/m<sup>2</sup>]. Käesolevas töös käsitletakse tuulekoormusest mõjuvat jõudu katusele.

Ehituskonstruktori käsiraamatu tabeli 8.18 järgi arvutatakse tuule tippkiirusrõhk IV maastikutüübi alal valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 193):

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot I_v(z_e)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z), \quad (7.5)$$

kus  $\rho$  – õhutihedus, mille soovituslik väärtus on  $1,25 \text{ kg/m}^3$

$v_m(z)$  – keskmine tuulekiirus kõrgusel  $z$  maapinnast, mis sõltub pinna karedusest, pinnavormidest ja tuule baaskiirusest  $v_b$  ning tuleks määrata avaldisest (Eesti Standardikeskus, 2007, lk 19):

$$v_m(z) = C_r \cdot C_0(z) \cdot v_b, \quad (7.6)$$

kus  $v_b$  – tuule põhilise baaskiiruse väärtus, mis Eestis võetakse rahvusliku lisa järgi 21 m/s

$C_0$  – pinnavormitegur, mille väärtus tasase maastiku puhul on 1,0

$C_r$  – karedustegur, mis arvutatakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2007, lk 19):

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0), \text{ kui } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (7.7)$$

$$C_r(z) = c_r(z_{min}) \text{ kui } z_{min} \leq z \quad (7.8)$$

kus  $z_0$  – karedusmõõt

$z_{min}$  – 5 m (maastikutüüp III, EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 tabel 4.1)

$z_{max}$  – maksimum kõrgus, mis võetakse 200 m

$k_r$  – maastikutüübitegur, mis arvutatakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2007, lk 20):

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} \quad (7.9)$$

kus  $z_{0,II}$  – 0,05 m (maastikutüüp III, EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 tabel 4.1)

Turbulentsi intensiivsus arvutatakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2007, lk 22):

$$I_v(z) = \left( \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right), \text{ kui } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (7.10)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}), \text{ kui } z_{min} \leq z \quad (7.11)$$

kus  $k_I$  – turbulentsitegur, mille soovituslik väärtus on 1,0

Marja tn 16 hoone asub Tartu linnas Supilinnas, mis on III maastikutüübiga ala (Eesti Standardikeskus, 2007, lk 20). Seega  $z_0 = 0,3$ ,  $z_{0,II} = 0,05$  ja  $z_{min} = 5$  m. Kuna hoone on kõrgem kui 5 m, siis on välisrõhu arvutuskõrgus võetud hoone kõrgus,  $z_e = h = 9$  m (Eesti Standardikeskus, 2007).

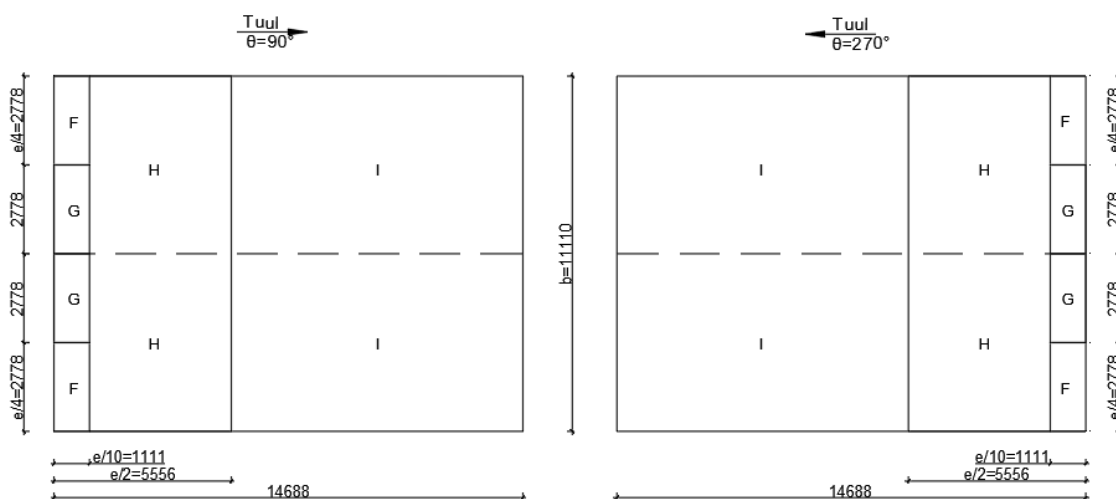
Marja 16 hoonel on tegemist kahekaldelise katusega, kus katuse kaldenurk  $\alpha = 30^\circ$ . Käesolevas töös leiti tuulerõhud koormustsoonidele tuule suundade  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  ja  $270^\circ$  puhul. Katuse kaldele  $30^\circ$  vastavad tuulerõhutegurid on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 7.5). Arvestatud on tuule suruvat mõju. Koormustsoonide mõõtmed ning

koormustsoonidele mõjuvad tuulerõhutegurid on võetud standardi EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 joonistelt 7.7 ja 7.8 ning tabelitest 7.4a ja 7.4b (Eesti Standardikeskus, 2007, lk 42-44).

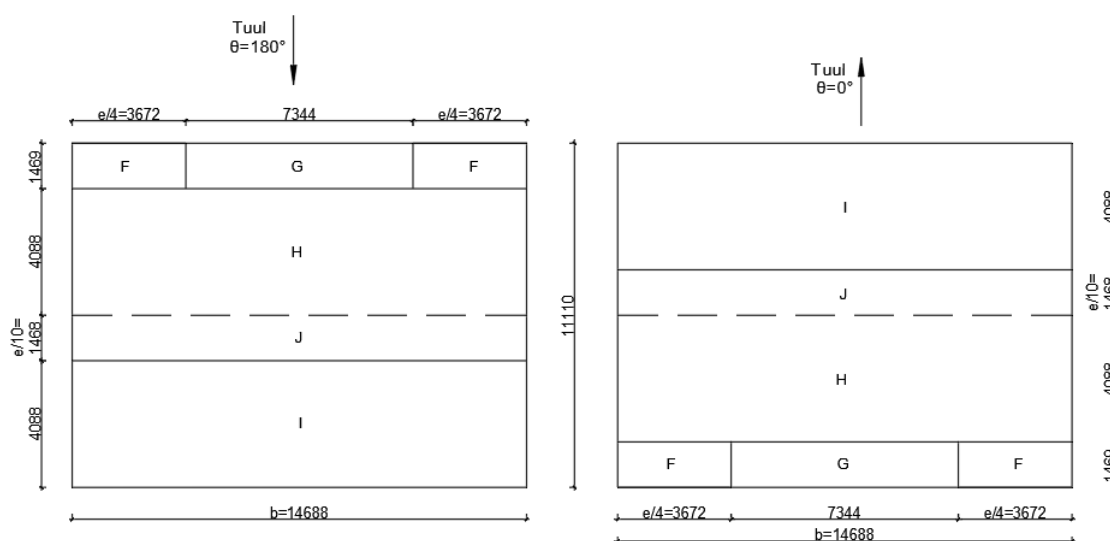
Tabel 7.5 Kahekaldelise katuse kaldenurgaga 30° tuulerõhutegurid  $c_{pe,10}$  (Eesti Standardikeskus, 2007, lk 43-44)

Katuse kaldenurk A	Tuule suund $\theta = 0^\circ$ ja $180^\circ$					Tuule suund $\theta = 90^\circ$ ja $270^\circ$			
	F	G	H	I	J	F	G	H	I
30°	+0,7	+0,7	+0,4	+0,0	+0,0	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5

Vastavad koormustsoonid on toodud alljärgnevatel skeemidel:



Joonis 7.1 Tuulekoormuse tsoonid, tuule suund 90° ja 270°



Joonis 7.2 Tuulekoormuse tsoonid, tuule suund 0° ja 180°

Tuule suuna 0° ja 180° puhul on tuule ristisihis hoone mõõt  $b=14688$  mm. Hoone kõrgus on  $h=10000$  mm. Kahekaldelise katuse puhul tuleb võtta  $e=b$  või  $2h$ , oleneb kumb väärtus on väiksem (Eesti Standardikeskus, 2007, lk 42). Tuule suuna 0° ja 180° puhul  $e=b=11110$  mm.

Tuule suuna 90° ja 270° puhul on tuule ristisihis hoone mõõt  $b=11110$  mm. Hoone kõrgus on  $h=10000$  mm. Kahekaldelise katuse puhul tuleb võtta  $e=b$  või  $2h$ , oleneb kumb väärtus on väiksem (Eesti Standardikeskus, 2007, lk 42). Tuule suuna 90° ja 270° puhul  $e=2h=14688$  mm.

Konstruksiooni välispindadele mõjuv tuulerõhk leitakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 192):

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}, \quad (7.12)$$

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

Tuuleturbulentsi kiirus  $I_v$  arvutatakse valemiga (7.10), sest kehtib seos  $z_{min} \leq z \leq z_{max}$  ehk  $5 \leq 9 \leq 200$ :

$$I_v = \left( \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{9}{0,3}\right)} \right) = 0,294$$

Maastikutüübitegur arvutatakse valemiga (7.9):

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

Maastiku karedustegur  $C_r$  arvutatakse valemiga (7.7), sest kehtib seos  $z_{min} \leq z \leq z_{max}$

$$C_r(z) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{9}{0,3}\right) = 0,731$$

Tuulekiiruse keskvaärtus  $v_m$  [m/s] arvutatakse valemiga (7.6):

$$v_m(z) = 0,731 \cdot 1,0 \cdot 21 = 15,36 \text{ m/s}$$

Tippkiirusrõhu normatiivne väärtus  $q_p$  arvutatakse valemiga (7.5):

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot 0,294] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 15,36^2 = 0,452 \text{ kN/m}^2$$

Koormustsoonidele mõjuvad tuulerõhud on leitud valemiga (7.12) ning on esitatud tabelikujul (Tabel 7.6).

Tabel 7.6 Katuse tuulerõhk

Tsoon	Tuule suund $\theta = 0^\circ$ ja $360^\circ$					Tuule suund $\theta = 90^\circ$ ja $180^\circ$			
	F	G	H	I	J	F	G	H	I
Tuulerõhtutegur $c_{p,10}$	+0,7	+0,7	+0,4	+0,0	+0,0	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5
<b>Tuulerõhk</b> $w_e(kN/m^2)$	0,32	0,32	0,18	0	0	-0,50	-0,63	-0,36	-0,23

Tulemustest on näha, et suruv tuulekoormus olulist mõju konstruktsioonile ei avalda. Suurem mõju on katuse otstes ja räästasse puhuval negatiivse rõhuga st tõstval tuulel.

## 7.2.5 Omakaalukoormus

Materjalide mahukaalud on võetud standardist EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 (Eesti Standardikeskus, 2009) ning Ehituskonstruktori käsiraamatust (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012)

Normatiivne omakaalukoormus arvutati valemiga:

$$G_k = \frac{h \cdot b}{s} \cdot \gamma, \quad (7.13)$$

kus,  $G_k$  – normatiivne omakaalukoormus,  $kN/m^2$

$h$  – materjali kõrgus, m

$b$  – materjali laius, m

$s$  – materjali samm, m

$\gamma$  – materjali tihedus ehk mahukaal,  $kN/m^3$

Käesolevas töös on leiti ristlõigete ja mahukaalude järgi hoone katuse ja vahelae omakaalukoormused.

Tabelites Tabel 7.7 ja

Tabel 7.8 on esitatud konstruktsioonides esinevad materjalid ning nende andmed. Kuna keldri vahelae konstruktsioon koosnes lõputöö tegemise hetkel ainult taladest, siis Tabel 7.7 eeldatakse, et põrandale paigaldatakse soojustus ning põranda- ja laelauad.

Tabel 7.7 Keldri vahelagi

Materjal	Paksus	Laius	Mahukaal	Samm
	h	b	γ	s
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	m
Põrandalaudis	0,04	-	4,20	-
Ristpalk	0,15-0,27	0,15-0,27	4,20	1,15-1,37
Kivivill	0,10	-	1,40	-
Laelaud	0,03	-	4,20	-

Tabel 7.8 Katuse omakaal

Materjal	Paksus	Laius	Mahukaal	Mahukaal	Samm
	h	b	γ	γ	s
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	m
Valtsplekk	0,0005*	-	-	0,052*	-
Roov	0,025	0,20	4,20		0,1-0,2
Sarikad	0,16-0,19	0,16-0,19	4,20		0,97 – 1,38
Penn	Omakaalule mõju on kaduvväike				

\*Puuduvad andmed olemasoleva valtspleki kohta. Arvutusteks kasutatud Ruukki Classic valtspleki tootjapoolseid tehnilisi andmed (Ruukki, 2021).

## 7.2.6 Kande- ja kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonid

Töös käsitletakse alalist arvutusolukorda, mis vastab konstruktsiooni normaalsetele kasutustingimustele. Käesoleva töö konstruktsioonide puhul kontrollitakse kandepiirseisundit ning keldri vahelaetaladel lisaks ka kasutuspiirseisundit. Koostatakse kõige kriitilisem koormuskombinatsioon, mis toob esile suurimad sisejõud kontrollitavates elementides.

Kandepiirseisundi alaliste ja ajutiste arvutusolukordade koormuskombinatsioonide üldvalem (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 181):

$$\sum_{j \leq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i} \quad (7.14)$$

kus,  $\gamma$  – koormuse osavarutegur vastavalt indeksile

G – alaliskoormus

P – eelpingekoormus

- $Q_{k,1}$  – domineeriv muutuvkoormus
- $Q_{k,i}$  – muu muutuvkoormus
- $\psi$  – koormuse kombinatsioonitegur

Käesolevas töös kasutatakse kasutuspiirseisundi puhul normatiivset koormuskombinatsiooni (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 181):

$$\sum_{j \leq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,1} \cdot Q_{k,i} \quad (7.15)$$

- kus, G – alaliskoormus
- P – eelpingekoormus
- $Q_{k,1}$  – domineeriv muutuvkoormus
- $Q_{k,i}$  – muu muutuvkoormus
- $\psi$  – koormuse kombinatsioonitegur

Koormuste osavarutegurid on võetud standardi EVS-NE 1990:2002+NA:2002 tabelist NA.1.2(B). (Eesti Standardikeskus, 2003, lk 89):

- ainult alaliskoormuse ebasoodne mõju  $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$
- alaliskoormuse ebasoodne mõju  $\gamma_{Gj,sup} = 1,20$
- alaliskoormuse soodne mõju  $\gamma_{Gj,inf} = 1,00$
- muutuvkoormuse ebasoodne mõju  $\gamma_{Q,sup} = 1,50$
- muutuvkoormuse soodne mõju  $\gamma_{Q,inf} = 0$

Koormuste kombinatsioonitegurid on välja toodud standardi EVS-NE 1990:2002+NA:2002 tabelis A.1.1 (Eesti Standardikeskus, 2003, lk 48).

Tabel 7.9 Kombinatsioonitegurid (Eesti Standardikeskus, 2003, lk 48)

Koormus	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Klass A: elamispinnad	0,7	0,5	0,3
Lumekoormus	0,5	0,2	0
Tuulekoormus	0,6	0,2	0

Käesolevas töös kasutatakse katusele mõjuva koormuse arvutamisel kõige halvimat koormustest tulenevat varianti. Selleks on katuslaest tulenev omakaalu koormus + domineeriv lumekoormus + domineeriv tuulekoormus. Arvutustes ei kasutata koormuskombinatsioonitegureid ning arvestatakse, et mõlemate muutuvkoormuste ebasoodne mõju mõjub üheaegselt.



Vahelaetalade arvutustes arvestatakse omakaalukoormust ja kasuskoormuse ebasoodsat mõju.

### 7.2.7 Normatiivsed joonkoormused kandeelementidele lõikes

Joonkoormuse leidmiseks korrutatakse normatiivne koormus  $m^2$  kohta läbi elemendi sammuga.

Normatiivne ja arvutuslik koormus sarikale mittekujunud lumest:

$$q_{k,lumi} = s \cdot s_{sarikas} = 1,2 \cdot 1,38 = 1,656 \text{ kN/m} \quad (7.16)$$

$$q_{d,lumi} = q_{k,lumi} \cdot \gamma_Q = 1,656 \cdot 1,5 = 2,48 \text{ kN/m} \quad (7.17)$$

Normatiivne ja arvutuslik koormus sarikale maksimaalsetest tuulekoormustest:

$$q_{k,tuul+} = w_{e,F} \cdot s_{sarikas} = 0,320 \cdot 1,38 = 0,442 \text{ kN/m} \quad (7.18)$$

$$q_{d,tuul+} = q_{k,tuul+} \cdot \gamma_Q = 0,442 \cdot 1,5 = 0,662 \text{ kN/m} \quad (7.19)$$

Normatiivne ja arvutuslik koormus sarikale katuslae omakaalust:

$$g_{k,KL} = g_{k,plekk} + g_{k,roov} + g_{k,sarikas} = \quad (7.20)$$

$$= \gamma_{plekk} + b \cdot h \cdot \gamma_{roov} \cdot \frac{1}{s_{roov}} + \frac{\pi r^2 \cdot \gamma_{sarikas}}{s_{sarikas}} =$$

$$= 0,052 + 0,2 \cdot 0,025 \cdot 4,2 \cdot \frac{1}{0,2} + \frac{\pi \cdot 0,095^2 \cdot 4,2}{1,38} = 0,243 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,KL} = g_{k,KL} \cdot s_{sarikas} \cdot \gamma_G = 0,243 \cdot 1,38 \cdot 1,2 = 0,403 \text{ kN/m} \quad (7.21)$$

Normatiivne ja arvutuslik koormus katkestatud sarikale katuslae omakaalust:

$$g_{k,KL} = g_{k,plekk} + g_{k,roov} + g_{k,sarikas} = \quad (7.22)$$

$$= \gamma_{plekk} + b \cdot h \cdot \gamma_{roov} \cdot \frac{1}{s_{roov}} + \frac{\pi r^2 \cdot \gamma_{sarikas}}{s_{sarikas}} =$$

$$= 0,052 + 0,2 \cdot 0,025 \cdot 4,2 \cdot \frac{1}{0,2} + \frac{\pi \cdot 0,085^2 \cdot 4,2}{1,050} = 0,248 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,KL} = g_{k,KL} \cdot s_{sarikas} \cdot \gamma_G = 0,248 \cdot 1,050 \cdot 1,2 = 0,312 \text{ kN/m} \quad (7.23)$$

Normatiivne ja arvutuslik koormus keldri laetaladele vahelae omakaalust:

$$g_{k,klaasvill} = h_{klaasvill} \cdot \gamma_{klaasvill} = 0,1 \cdot 1,4 = 0,14 \text{ kN/m}^2 \quad (7.24)$$

$$q_{k,kasus} = 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Tabel 7.4}) \quad (7.25)$$

- Telgede 1-2 vahel

$$g_{k,VL(1-2)} = g_{k,laetala} + g_{k,laelaud} + g_{k,põrandalaud} = \quad (7.26)$$

$$= \frac{b_{laetala} \cdot h_{laetala} \cdot \gamma_{tala}}{s_{laetala(1-2)}} + b_{laelaud} \cdot h_{laelaud} + b_{põrandalud} \cdot h_{põrandalaud} =$$

$$= \frac{0,16 \cdot 0,16 \cdot 4,2}{1,26} + 0,03 \cdot 4,2 + 0,04 \cdot 4,2 = 0,38 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,VL-1(1-2)} = g_{k,VL(1-2)} \cdot \gamma_G \cdot s_{laetala(1-2)} + g_{k,klaasvill(1-2)} \cdot \gamma_G \cdot \quad (7.27)$$

$$\cdot (s_{laetala(1-2)} - b_{laetala(1-2)}) =$$

$$= 0,38 \cdot 1,2 \cdot 1,26 + 0,14 \cdot 1,2 \cdot (1,26 - 0,16) = 0,76 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,kasus(1-2)} = q_{k,kasus} \cdot s_{laetala(1-2)} \cdot \gamma_Q = 2,0 \cdot 1,26 \cdot 1,5 = 3,78 \text{ kN/m} \quad (7.28)$$

- Telgede 2-3 vahel

$$g_{k,VL(2-3)} = g_{k,laetala} + g_{k,laelaud} + g_{k,põrandalaud} = \quad (7.29)$$

$$= \frac{b_{laetala} \cdot h_{laetala} \cdot \gamma_{tala}}{s_{laetala(2-3)}} + b_{laelaud} \cdot h_{laelaud} + b_{põrandalud} \cdot h_{põrandalaud} =$$

$$= \frac{0,21 \cdot 0,21 \cdot 4,2}{1,38} + 0,03 \cdot 4,2 + 0,04 \cdot 4,2 = 0,43 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,VL-1(2-3)} = g_{k,VL-1} \cdot \gamma_G \cdot s_{laetala(2-3)} + g_{k,VL-1,soojustus} \cdot \gamma_G \cdot \quad (7.30)$$

$$\cdot (s_{laetala(2-3)} - b_{laetala(2-3)}) =$$

$$= 0,43 \cdot 1,2 \cdot 1,38 + 0,14 \cdot 1,2 \cdot (1,38 - 0,21) = 0,91 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,kasus(2-3)} = q_{k,kasus} \cdot s_{laetala(2-3)} \cdot \gamma_Q = 2,0 \cdot 1,38 \cdot 1,5 = 4,14 \text{ kN/m} \quad (7.31)$$

- Telgede 4-5 vahel

$$g_{k,VL(4-5)} = g_{k,laetala} + g_{k,laelaud} + g_{k,põrandalaud} = \quad (7.32)$$

$$= \frac{b_{laetala} \cdot h_{laetala} \cdot \gamma_{tala}}{s_{laetala(4-5)}} + b_{laelaud} \cdot h_{laelaud} + b_{põrandalud} \cdot h_{põrandalaud} =$$

$$= \frac{0,18 \cdot 0,18 \cdot 4,2}{1,37} + 0,03 \cdot 4,2 + 0,04 \cdot 4,2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,VL-1(4-5)} = g_{k,VL-1} \cdot \gamma_G \cdot s_{laetala(4-5)} + g_{k,VL-1,soojustus} \cdot \gamma_G \cdot \quad (7.33)$$

$$\cdot (s_{laetala(4-5)} - b_{laetala(4-5)}) = 0,39 \cdot 1,2 \cdot 1,37 + 0,14 \cdot 1,2 \cdot (1,37 - 0,18) =$$

$$= 0,85 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,kasus(4-5)} = q_{k,kasus} \cdot s_{laetala(4-5)} \cdot \gamma_Q = 2,0 \cdot 1,37 \cdot 1,5 = 4,11 \text{ kN/m} \quad (7.34)$$

- Telgede 5-6 vahel

$$g_{k,VL(5-6)} = g_{k,laetala} + g_{k,laelaud} + g_{k,pörandalaud} = \quad (7.35)$$

$$= \frac{b_{laetala} \cdot h_{laetala} \cdot \gamma_{tala}}{s_{laetala(5-6)}} + b_{laelaud} \cdot h_{laelaud} + b_{pörandalud} \cdot h_{pörandalaud} =$$

$$= \frac{0,15 \cdot 0,15 \cdot 4,2}{1,37} + 0,03 \cdot 4,2 + 0,04 \cdot 4,2 = 0,36 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,VL-1(5-6)} = g_{k,VL-1} \cdot \gamma_G \cdot s_{laetala(5-6)} + g_{k,VL-1,soojustus} \cdot \gamma_G \cdot \quad (7.36)$$

$$\cdot (s_{laetala(5-6)} - b_{laetala(5-6)}) = 0,36 \cdot 1,2 \cdot 1,37 + 0,14 \cdot 1,2 \cdot (1,37 - 0,15) =$$

$$= 0,80 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,kasus(5-6)} = q_{k,kasus} \cdot s_{laetala(5-6)} \cdot \gamma_Q = 2,0 \cdot 1,37 \cdot 1,5 = 4,11 \text{ kN/m} \quad (7.37)$$

## 7.3 Katusekonstruktsioonide tugevusarvutused

### 7.3.1 Üldosa

Käesoleva töö katusekonstruktsiooni moodustavad sarikad koos pennidega. Toesõlmedes võtavad vertikaalsed jõudusid vastu kandvad seinad ning horisontaalseid jõudusid vahelaetalad, mis on omakorda seotud müüri lattidega. Hoonel on viilkatus. Mõlema katuseosa kaldenurk on 30,0°.

Käesolevas töös kasutatakse sarika ja vekseltalade kandevõime arvutamiseks kõige kriitilisemaid väärtuseid. Sarika arvutuste kasutatakse kõige väiksemat sarika ristlõiget ja kõige suuremat sarika sammu, mis on kõige halvim variant. Kui sellise sarikate ristlõike ja sammuga kandevõime on tagatud, on ka teiste sarikate kandevõime garanteeritud.

Kandepiir seisundis kontrollitakse sarikaid maksimaalsele survele koos paindega. Penni kontrollitakse nõtkele ning vekseltala kontrollitakse paindele. Käesolevas lõputöös ei käsitleta konstruktsioonisõlmede arvutusi.

Katuslae sarikate, pennide ja vekseltalade tugevuskontrollide teostamisel on lähtutud standarditest EVSEN 1990:2002+NA:2002 (Eesti Standardikeskus, 2003), EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2 (Eesti Standardikeskus, 2015) ja Ehituskonstruktorigi käsiraamatust (Ehituskonstruktorigi käsiraamat, 2012).

Katuse sarikate tugevuskontrollid teostatakse vastavalt koormuskombinatsioonile omakaalukoormus + domineeriv lumekoormus + domineeriv tuulekoormus.

### 7.3.2 Vekseltalade kontroll

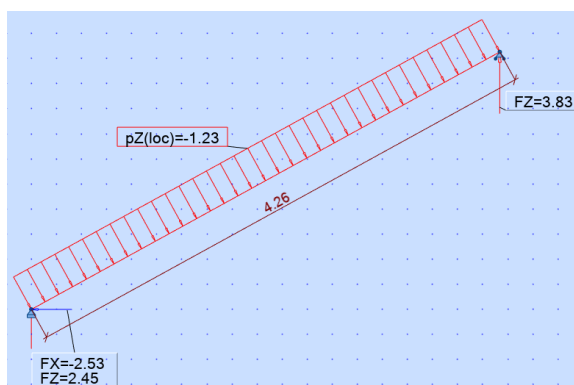
Kontrollida valitud ristlõike vekseltala tugevust, vastavalt sarikalt tulevale koormusele, kus on arvestatud nii katuse lae omakaalu kui ka lume ja tuule domineerivat mõju. Vekseltala arvutustes on kasutatud puitu tugevusklassiga C24. Tugevusklassile C24 vastavad normatiivsed tugevusomadused on toodud Tabel 7.3. Vekseltala valitakse ruudukujulise ristlõikega, see tähendab, et kõrgus on võrdne laiusega  $h=b$ .

Koormusskeemid on kantud programmi Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022 (ARSAP2022), mille abil leiti elementide sisejõud.

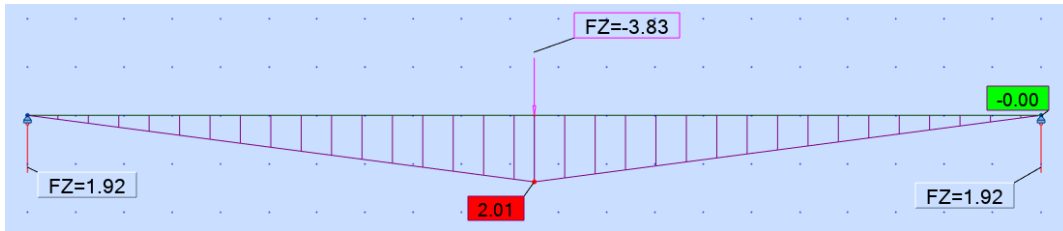
Vekseldamist vajavate sarikate asukohti ja on näha töö lisa (Lisa 2, leht 8).

Kontrollitakse 100x100 mm ristlõikega vekseltala paindekandevõimet.

Maksimaalne paindemomendi väärtus vekseltalas on  $M_{y,d} = 2,01 \text{ kNm} = 2,01 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$  (Joonis 7.4).



Joonis 7.3 Pooliku sarika arvutusskeem lauskoormusega (kN/m) ja toereaktsioonid (kN), kus paremas otsas on kinnitatud vekseltala (ARSAP2022)



Joonis 7.4 Poolikutele sarikaotstele paigaldatava vekseltala momendiepüür (kNm) ja toereaktsioonid (kN) (ARSAP2022)

Arvutuslik paindetugevus leitakse valemiga (7.2):

$$f_{m,y,d} = 0,8 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik paindepinge leitakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 36-37):

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{sd}}{W_y} \quad (7.38)$$

kus  $M_{sd}$  – paindemoment peatelgede suhtes,

$W_y$  – ristlõike vastupanumoment peatelgede suhtes

Vastupanumoment ristkülikukujulise ristlõike korral leitakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 27):

$$W_{y,(z)} = \frac{bh^2}{6} \quad (7.39)$$

kus,  $b$  – tala laius

$h$  – tala kõrgus

Paindepinge väärtus leitakse valemiga (7.50):

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{2,01 \cdot 10^6 \cdot 6}{100^3} = 12,06 \text{ N/mm}^2$$

Täidetud peab olema tingimus (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 41):

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (7.40)$$

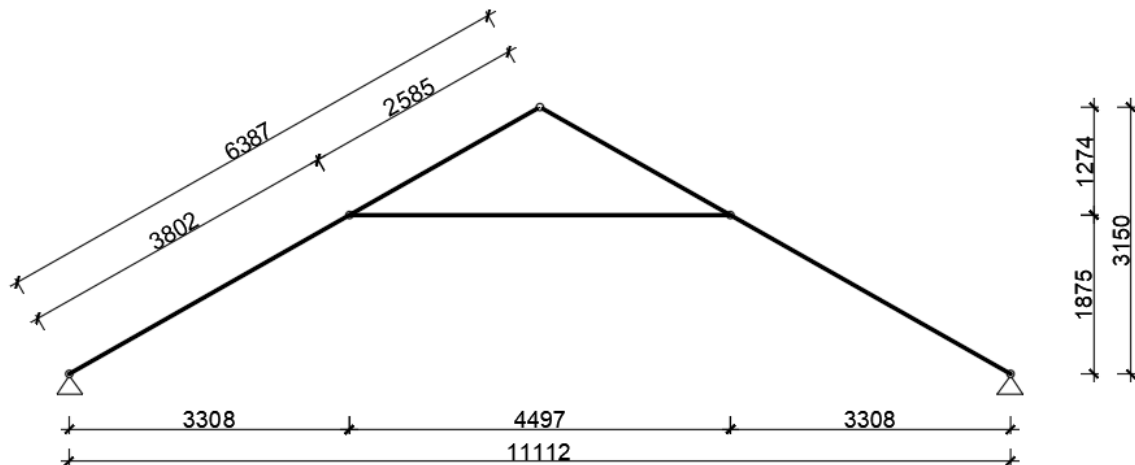
$$\frac{12,06}{14,77} = 0,82 \leq 1$$

Kuna suurema pikkusega pooliku sarika osa kandevõime on tagatud, siis on ka lühema osa kandevõime garanteeritud. Vekseltalade lõiget ja asukohti on näha töö lisas (Lisa 2, leht 10).

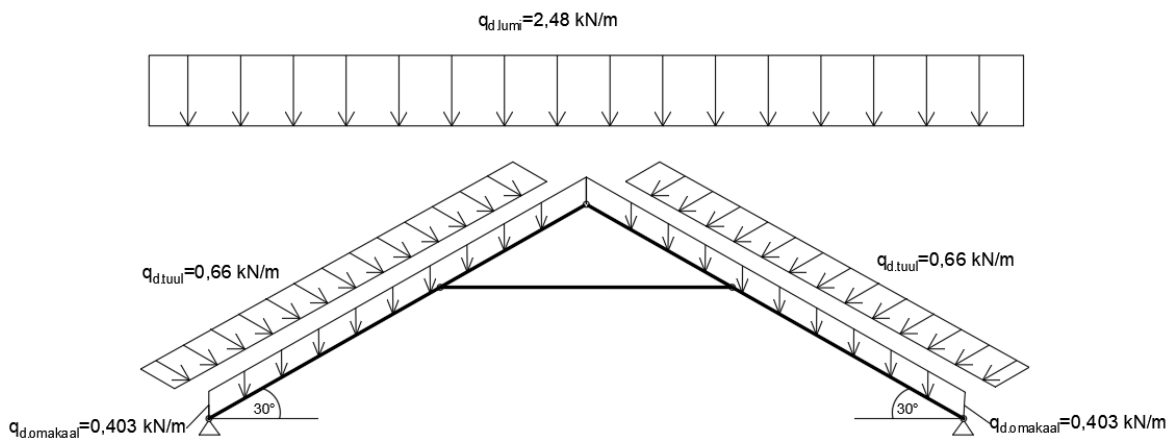
### 7.3.3 Sarika kandevõime kontroll survele koos paindega

#### Sarikad koos pennidega

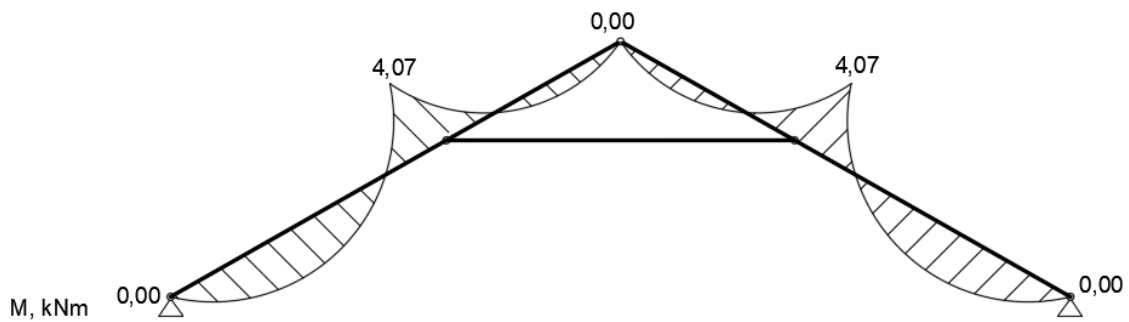
Kriitilise sarikapaari ja penni skeem ning paindemomendi  $M$ , pikijõu  $N$  ja põikjõu  $Q$  epüürid on esitatud alljärgnevatel joonistel Joonis 7.5 kuni Joonis 7.9:



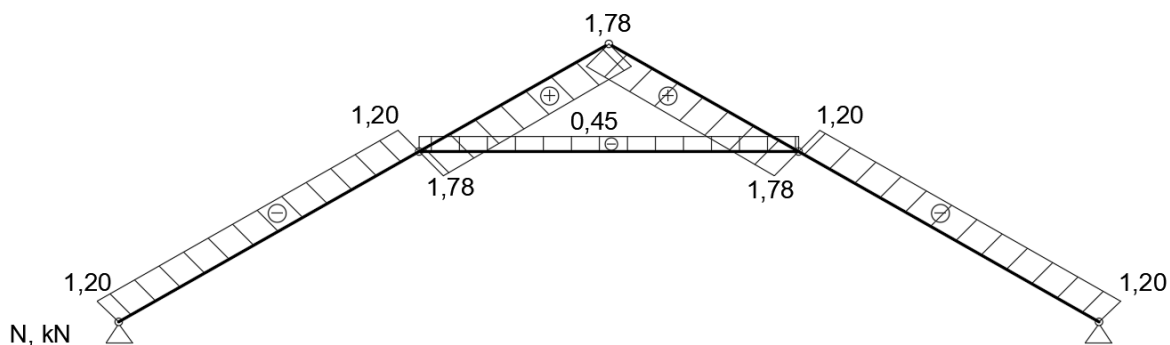
Joonis 7.5 Sarikapaari ja penni arvutuskeem, mm



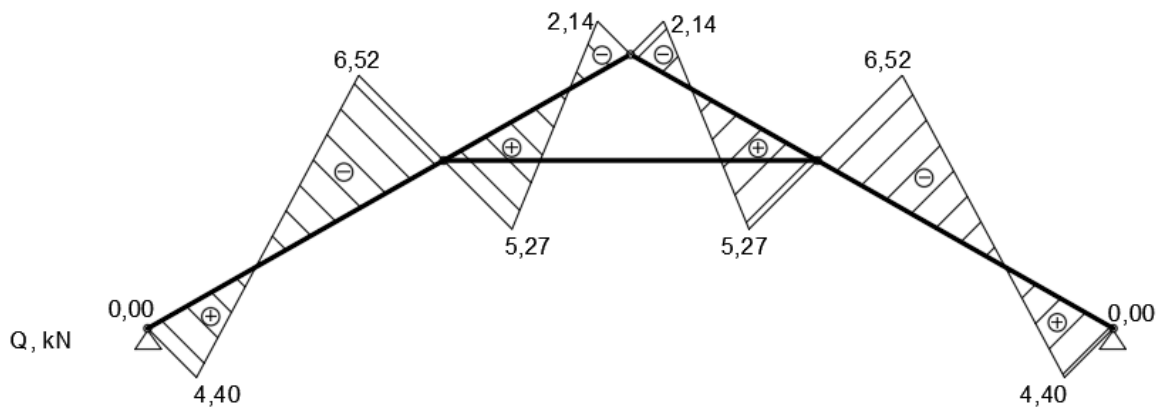
Joonis 7.6 Katusekonstruktsiooni arvutuslikud koormused



Joonis 7.7 Katusekonstruktsiooni paindemomendi epüür  $M_{sd}$ , kNm



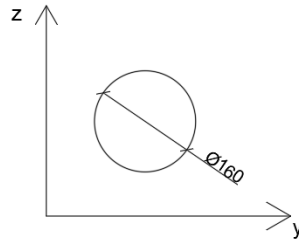
Joonis 7.8 Katusekonstruktsiooni pikijõu epüür  $N_{sd}$ , kN



Joonis 7.9 Katusekonstruktsiooni põikjõu epüür  $V_{sd}$ , kN

Sarika ristlõige, mida hakatakse kontrollima on kõige väiksema ristlõikega sarikas, mis on 160 mm läbimõõduga ümarpalk, tugevusklassiga C24.

Sarika kandevõime kontrollil on lähtunud surutud ja painutatud posti arvutusmeetodist (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 40-41). Sarikat katavad roovid, mis on paigaldatud sammuga 100-200 mm. Roovid ei lase sarikal z-telje suhtes nõtkuda, selle tõttu nõtket z-telje suhtes ei arvestata.



Joonis 7.10 Väikseima ristlõikega sarikas, 160x160 mm

Saleda varda surveel koos paindega peavad olema täidetud järgmised tingimused (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 41):

- nõtkete ümber y-telje

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (7.41)$$

- nõtkete ümber z-telje

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (7.42)$$

kus  $f_{c,o,d}$  – pikikiudu survetugevuse arvutusväärtus N/mm<sup>2</sup>;

$f_{m,y,d}$ ;  $f_{m,z,d}$  – paindetugevuse arvutusväärtus N/mm<sup>2</sup>;

$\sigma_{c,o,d}$  – pikikiudu survepinge arvutusväärtus N/mm<sup>2</sup>;

$\sigma_{m,y,d}$ ;  $\sigma_{m,z,d}$  – paindepinge y- või z- telje suhtes N/mm<sup>2</sup>;

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

$k_m$  – tegur, mis arvestab pingete ümberjagunemist ja materjali mittehomoogeensust. Ringikujulise ristlõike korral  $k_m=1,0$  (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 37).

Kontrollitakse, kas on tegemist saleda vardaga.

Saleda varda korral peab olema täidetud tingimus (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 40):

$$\lambda_{rel} > 0,3, \quad (7.43)$$

kus  $\lambda_{rel}$  – suhteline saledus.

Suhteline saledus  $\lambda_{rel}$  arvutatakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 40):



$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (7.44)$$

kus  $\lambda$  – saledus

$f_{c,0,k}$  – normatiivne survetugevus pikikiudu, N/mm<sup>2</sup>

$E_{0,05}$  – elastusmooduli 5% väärtus.

Saledus  $\lambda$  arvutatakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 515):

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}, \quad (7.45)$$

kus  $l_{ef}$  – nõtkepikkus, mm

$i$  – inertsiraadius, mm

Kogu sarika nõtkumist takistab ühes suunas roov, teises suunas penn. Nõtkepikkuseks võetakse suurem pikkus ehk müüriatist kuni pennini.

$$l_{ef} = 3802 \text{ mm}$$

Inertsiraadius  $i$  arvutatakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 27):

$$i = \frac{d}{4} \quad (7.46)$$

kus  $d$  – ringi diameeter, mm

Inertsiraadius  $i$  y- ja z-telje suhtes arvutatakse valemiga (7.46):

$$i_y = i_z = \frac{160}{4} = 40,0 \text{ mm}$$

Sarika saledus  $\lambda$  y- ja z-telje suhtes arvutatakse valemiga (7.45):

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{3802}{40} = 95,05$$

Suhteline saledus  $\lambda_{rel}$  y- ja z-telje suhtes arvutatakse valemiga (7.44):

$$\lambda_{rel} = \frac{95,05}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,61 > 0,3$$

Tegemist on saleda vardaga.

Ebastabiilsustegur  $k_{y(z)}$  leitakse valemiga:

$$k_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y(z)} - 0,3) + \lambda_{rel,y(z)}^2] \quad (7.47)$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,61 - 0,3) + 1,61^2] = 1,93$$

kus  $\beta_c$  – tegur, mis saepuidu puhul on 0,2 (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 51)].

Nõtketegur  $k_{c,y(z)}$  leitakse valemiga:

$$k_{c,y(z)} = \frac{1}{k_{y(z)} + \sqrt{k_{y(z)}^2 - \lambda_{rel,y(z)}^2}} = \frac{1}{1,93 + \sqrt{1,93^2 - 1,61^2}} = 0,334 \quad (7.48)$$

Epüüridelt on näha, et kriitiliseks osutuvad sarika ja penni ühenduskohad. Maksimaalne paindemoment y-telje suhtes on  $M_{sd}=4,07$  kNm (Joonis 7.7) ning pikijõud samas lõikes on  $N_{sd} = 1,78$  kN (Joonis 7.8). Paindemomenti ja pikijõudu z-telje suhtes ei esine.

Arvutuslik survepinge pikikiudu leitakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 517):

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_{sd}}{A} = \frac{1,78 \cdot 10^3}{20106} = 0,09 \text{ N/mm}^2, \quad (7.49)$$

kus  $N_{sd}$  – tsentrilise survejõu (või tõmbejõu) arvutusväärtus,  
 $A$  – ristlõike pindala.

Arvutuslik paindepinge leitakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 517) :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{sd}}{W_y} = \frac{4,04 \cdot 10^6 \cdot 32}{\pi \cdot 160^3} = 10,05 \text{ N/mm}^2 \quad (7.50)$$

kus  $M_{sd}$  – paindemoment peatelgede suhtes,

$W_y$  – ristlõike vastupanumoment peatelgede suhtes, mis leitakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 26):

$$W_{y,(z)} = \frac{\pi d^3}{32} \quad (7.51)$$

Arvutuslik paindetugevus ja survetugevus leitakse valemiga (7.2):

$$f_{m,d} = 0,8 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,3} = 12,92 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimuste kontroll vastavalt valemitele (7.41) ja (7.42)

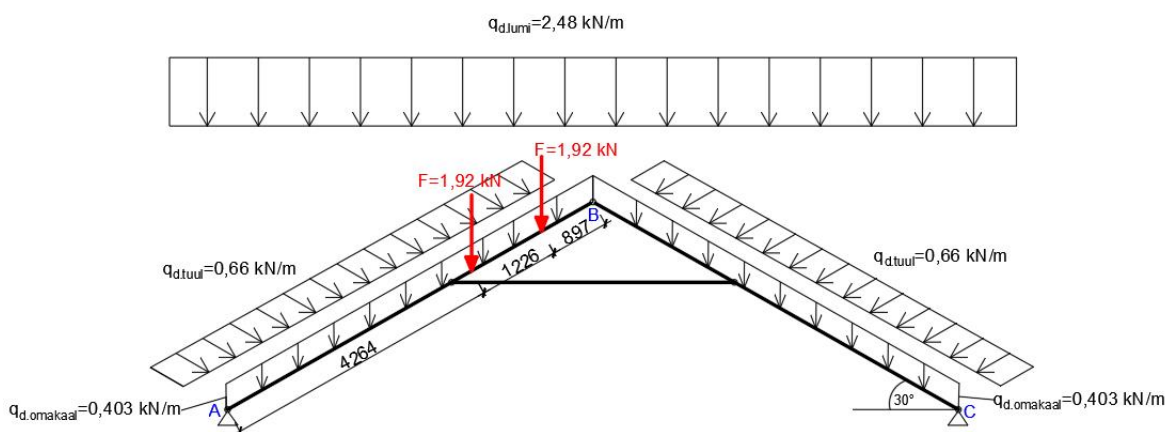
$$\frac{0,09}{0,334 \cdot 12,92} + \frac{10,05}{14,77} = 0,70 \leq 1$$

Tugevustingimused on täidetud. Järelikult on selle sarika kandevõime survele koos paindega tagatud. Kuna teised sarikad on suuremate ristlõigetega, on ka nende kandevõime survele koos paindega tagatud.

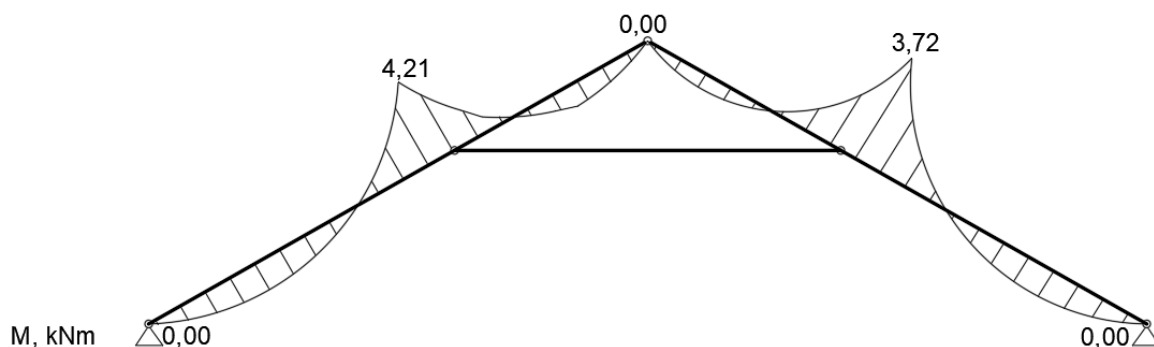
### Sarikapaar, mille külge on kinnitatud vekseltalad

Sarikad on läbimõõduga 170 mm. Nõtkepikkuseks võetakse suurem pikkus ehk müüri latist kuni pennini  $l_{ef} = 3802 \text{ mm}$ .

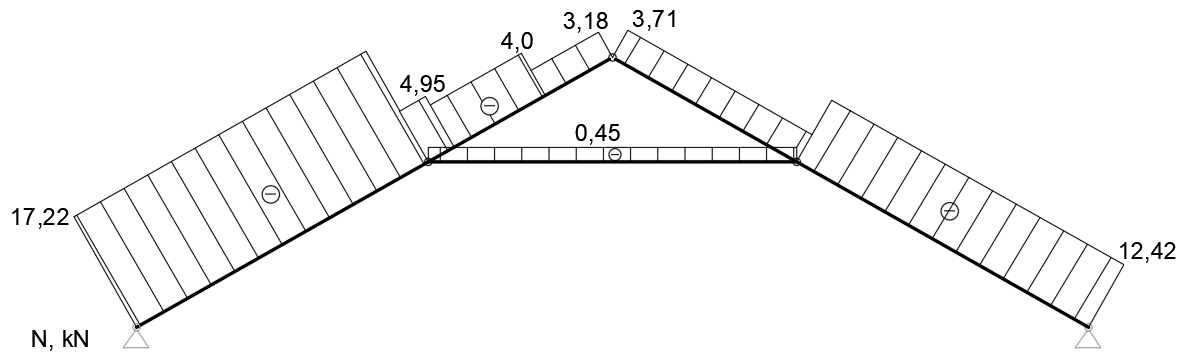
Vekseltaladega sarikate arvutuskeem on toodud välja joonisel (Joonis 7.11). Koormuste väärtused sarikatele vekseltalade otstes võetakse joonistelt Joonis 7.4. Vekseltala mõlemasse tugipunkti tuleb koondatud koormus  $F=1,92 \text{ kN}$ . Tugevusarvutus teostatakse joonisel olevale vasakpoolsele sarikale (Joonis 7.14)



Joonis 7.11 Sarikapaari koormused, kus vasakule poole on kinnitatud vekseltalad



Joonis 7.12 Vekseltaladega katusekonstruktsiooni paindemomendi epüür  $M_{sd}$ , kNm



Joonis 7.13 Vekseltaladega katusekonstruktsiooni pikijõu epüür  $N_{sd}$ , kNm

Inertsiraadius  $i_y$ - ja  $z$ -telje suhtes arvutatakse valemiga (7.46):

$$i_y = i_z = \frac{170}{4} = 42,5 \text{ mm}$$

Sarika saledus  $\lambda$   $y$ - ja  $z$ -telje suhtes arvutatakse valemiga (7.45):

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{3802}{42,5} = 89,46$$

Suhteline saledus  $\lambda_{rel}$   $y$ - ja  $z$ -telje suhtes arvutatakse valemiga (7.44):

$$\lambda_{rel} = \frac{89,46}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,57 > 0,3$$

Tegemist on saledate varrastega.

Ebastabiilsustegur  $k_{y(z)}$  leitakse valemiga (7.47):

$$k_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,57 - 0,3) + 1,57^2] = 2,49$$

Nõtketegur  $k_{c,y(z)}$  leitakse valemiga (7.48):

$$k_{c,y(z)} = \frac{1}{2,49 + \sqrt{2,49^2 - 1,57^2}} = 0,226$$

Kriitilised kohad on epüüride järgi sarika ja penni ühenduskoht. Maksimaalne paindemoment  $y$ -telje suhtes on  $M_{sd} = 4,21$  kNm (Joonis 7.12) ning pikijõud samas lõikes on  $N_{sd} = 17,22$  kN (Joonis 7.13).

Arvutuslik survepinge pikikiudu leitakse valemiga (7.49):

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{17,22 \cdot 10^3}{\pi \cdot 85^2} = 0,759 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik paindepinge leitakse valemiga (7.50):

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{4,21 \cdot 10^6 \cdot 32}{\pi \cdot 170^3} = 8,73 \text{ N/mm}^2$$

$W_y$  – ristlõike vastupanumoment peatelgede suhtes, mis leitakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 26):

$$W_{y,(z)} = \frac{\pi d^3}{32} \quad (7.52)$$

Arvutuslik survetugevus ja survetugevus leitakse valemiga (7.2):

$$f_{m,d} = 0,8 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,3} = 12,92 \text{ N/mm}^2$$

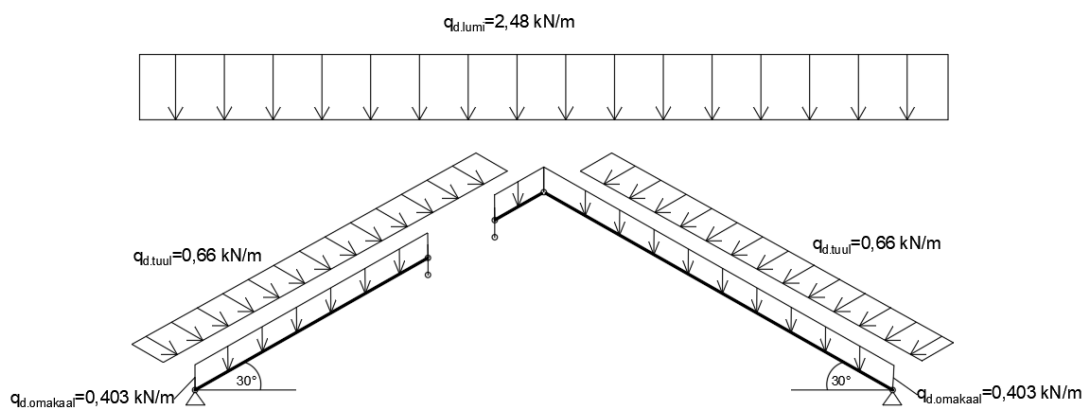
Tugevustingimuste kontroll vastavalt valemitele (7.41) ja (7.42)

$$\frac{0,759}{0,226 \cdot 12,92} + \frac{8,73}{14,77} = 0,85 \leq 1$$

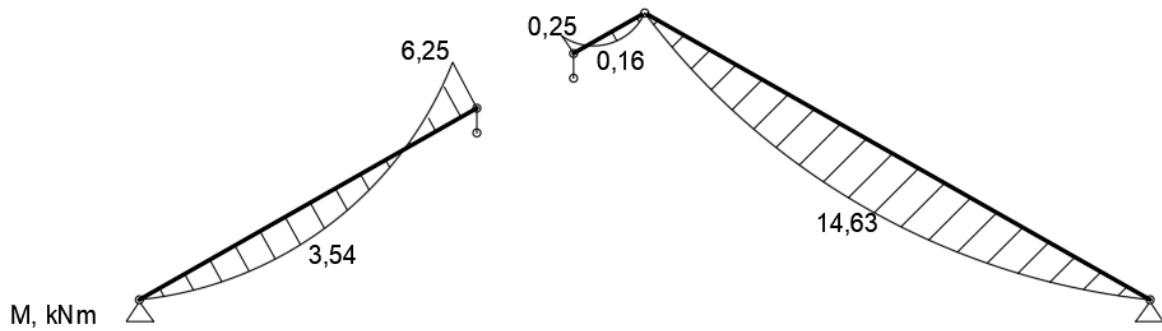
Sarikate, mille külge on kinnitatud kaks vekseljala otsa, kandevõime on tagatud.

### Sarikas ilma pennita

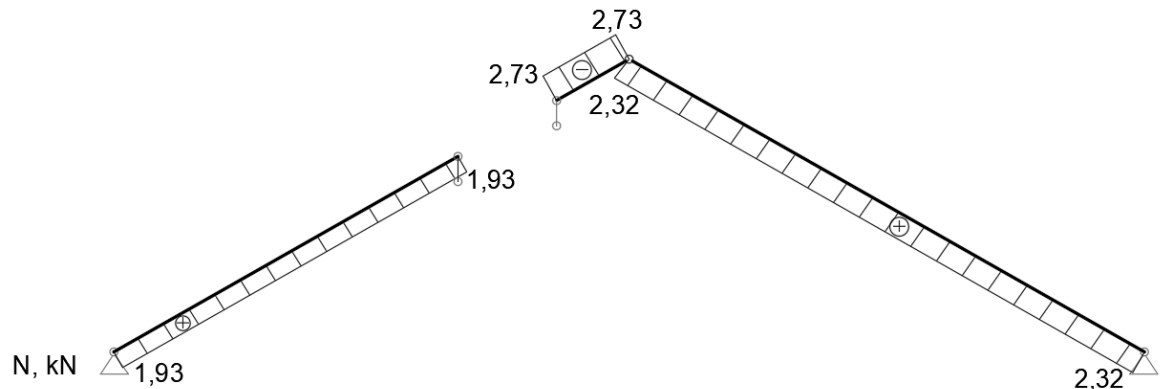
Sarikas on läbimõõduga 170 mm. Nõtkepikkuseks võetakse pikkus harjast kuni müürilatini  $l_{ef} = 6387 \text{ mm}$ . Tugevusarvutus teostatakse joonisel olevale paremapoolsele sarikale (Joonis 7.14)



Joonis 7.14 Sarikapaari koormused, vasakul vekseldatud sarikas ja paremal tema paarissarikas



Joonis 7.15 Vekseldatud sarika ja tema paarissarika paindemomentide epüür  $M_{sd}$ , kNm



Joonis 7.16 Vekseldatud sarika ja tema paarissarika pikijõudude epüür  $N_{sd}$ , kNm

Inertsiraadius  $i_y$ - ja  $i_z$ -telje suhtes arvutatakse valemiga (7.46):

$$i_y = i_z = \frac{170}{4} = 42,5 \text{ mm}$$

Sarika saledus  $\lambda_y$ - ja  $\lambda_z$ -telje suhtes arvutatakse valemiga (7.45):

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{6387}{42,5} = 150,28$$

Suhteline saledus  $\lambda_{rel}$   $y$ - ja  $z$ -telje suhtes arvutatakse valemiga (7.44):

$$\lambda_{rel} = \frac{150,28}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 4,47 > 0,3$$

Tegemist on saledate varrastega.

Ebastabiilsustegur  $k_{y(z)}$  leitakse valemiga (7.47):

$$k_{y(z)} = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (4,47 - 0,3) + 4,47^2] = 10,91$$

Nõtketegur  $k_{c,y(z)}$  leitakse valemiga (7.48):

$$k_{c,y(z)} = \frac{1}{10,91 + \sqrt{10,91^2 - 4,47^2}} = 0,05$$

Kriitilised kohad on epüüride järgi sarika ja penni ühenduskoht. Maksimaalne paindemoment  $y$ -telje suhtes on  $M_{sd}=14,63$  kNm (Joonis 7.15) ning pikijõud samas lõikes on  $N_{sd} = 2,32$  kN (Joonis 7.16).

Arvutuslik survepinge pikikiudu leitakse valemiga (7.49):

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{2,32 \cdot 10^3}{\pi \cdot 85^2} = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik paindepinge leitakse valemiga (7.50), kus vastupanumoment leitakse valemiga (7.52):

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{14,63 \cdot 10^6 \cdot 32}{\pi \cdot 170^3} = 30,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Arvutuslik survetugevus ja survetugevus leitakse valemiga (7.2):

$$f_{m,d} = 0,8 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,o,d} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,3} = 12,92 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimuste kontroll vastavalt valemitele (7.41) ja (7.42)

$$\frac{0,10}{0,05 \cdot 12,92} + \frac{30,33}{14,77} = 2,21 \geq 1$$

Sarika kandevõime ei ole tagatud. Sarikat tuleb tugevdada.

Sarika ja kõrval oleva sarika vahele tuleb lisada lisasarikapaar, mis on omavahel ühendatud penniga. Kontrollitakse samasugust ümarpalgist 170 mm läbimõõduga lisasarika kandevõimet nagu on ka kõrval olevad sarikad. Lisasarikapaar ühendatakse omavahel penniga.

Uus sarika samm  $l = 1,050:2 = 0,525$  m

Ristlõike vastupanumoment leitakse valemiga (7.52):

$$W = \frac{\pi \cdot 170^3}{32} = 482,33 \cdot 10^3$$

Uus arvutuslik lauskoormus arvutatakse valemitega (7.22) ja (7.23):

$$g_{k,KL} = 0,052 + 0,2 \cdot 0,025 \cdot 4,2 \cdot \frac{1}{0,2} + \frac{\pi \cdot 0,085^2 \cdot 4,2}{0,525} = 0,339 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,KL} = g_{k,KL} \cdot s_{sarikas} \cdot \gamma_G = 0,339 \cdot 0,525 \cdot 1,2 = 0,214 \text{ kN/m}$$

Kuna lisasarikapaar tuleb vekseldatava sarika kõrvale, siis tuleb vekseltalad kinnitada lisasarika külge. Sisejõud arvutatakse samasuguse arvutuskeemi järgi nagu on Joonis 7.11, kuid kasutatakse uut katuslae omakaalu. Võttes arvesse ka tuulekoormusest ja lumekoormusest tulevat mõju, tulevad uued sisejõud  $M=3,71 \text{ kNm}$  ja  $N=16,37 \text{ kN}$ .

Nõtketegur on eelnevalt 170 mm ristlõikega sarika kohta välja arvatud  $k_{c,y(z)} = 0,226$ .

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{16,37 \cdot 10^3}{\pi \cdot 85^2} = 0,72 \text{ N/mm}^2$$

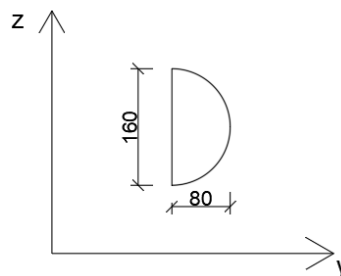
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{3,71 \cdot 10^6 \cdot 32}{\pi \cdot 170^3} = 7,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{0,72}{0,226 \cdot 12,92} + \frac{7,75}{14,77} = 0,77 \leq 1$$

Lisasarikapaari koos penniga kandevõime on tagatud. Lisasarikate asukoht on näidatud töö lisas (Lisa 2, leht 9).

### 7.3.4 Penni kandevõime kontroll survele

Kontrollitakse penni mõõtudega 80x160 mm survele kõige kriitilisemas koormuskombinatsioonis. Pennis mõjuv pikijõud on  $N_{Sd}=0,45 \text{ kN}$  (Joonis 7.8). Paindemomenti ei võeta arvesse, kuna see on oluliselt väiksem ning ei too lõpptulemuses tähelepanuväärseid muutusi. Pikijõudu ja paindemomenti z-telje suhtes ei esine.



Joonis 7.17 Penni ristlõige 80x160 mm

Kuna penni saledus on suurem y-telje suhtes ning nõtkepikkused on mõlema telje suunas samad, siis on ohtlikum nõtke ümber z-telje.



Pennil tuleb samuti kontrollida, kas tegemist on saleda vardaga.

Kahest otsast liigendkinnitusega posti efektiivne nõtkepikkus on vastavalt Ehituskonstruktori käsiraamatu tabelile 14.19  $l_{ef} = l = 4497 \text{ mm}$ .

Ristlõike pindala poolringil arvutatakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 26):

$$A = \frac{\pi r^2}{2} = \frac{\pi \cdot 80^2}{2} = 10053 \text{ mm}^2 \quad (7.53)$$

Poolringi inertsimoment  $I_z$  y-telje suhtes arvutatakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 26):

$$I_z = \frac{\pi d^4}{128} = \frac{\pi \cdot 160^4}{128} = 16,08 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad (7.54)$$

Poolringi inertsiraadius  $i_z$  y-telje suhtes arvutatakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 27):

$$i_z = 0,132168 \cdot D = 0,132168 \cdot 160 = 21,14 \text{ mm}$$

Sarika saledus  $\lambda$  z-telje suhtes arvutatakse valemiga (7.45):

$$\lambda_z = \frac{4497}{21,14} = 212,72$$

Suhteline saledus  $\lambda_{rel,z}$  z-telje suhtes arvutatakse valemiga (7.44):

$$\lambda_{rel,z} = \frac{212,72}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 3,61 > 0,3$$

Penni puhul on samuti tegemist saleda vardaga.

Saleda varda puhul peab olema täidetud tingimus (7.42), kus paindemomenti ei võeta arvesse:

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,d}} \leq 1 \quad (7.55)$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,d}} \leq 1 \quad (7.56)$$

Ebastabiilsustegur arvutatakse valemiga (7.47):

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,91 - 0,3) + 1,91^2] = 2,49$$

Nõtketegur  $k_{c,z}$  leitakse valemiga (7.48):

$$k_{c,z} = \frac{1}{2,49 + \sqrt{2,49^2 - 1,91^2}} = 0,25$$

Arvutuslik survepinge arvutatakse valemiga (7.49):

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_{sd}}{A} = \frac{0,45 \cdot 10^3}{10053} = 0,045 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus leitakse valemiga (7.2):

$$f_{c,o,d} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,3} = 12,92 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimuse kontroll vastavalt valemile (7.56):

$$\frac{0,045}{0,25 \cdot 12,92} = 0,01 \leq 1$$

Tugevustingimus on täidetud. Järelikult on penni kandevõime nõtketele tagatud.

## 7.4 Keldri vahelaetalade tugevusarvutused

### 7.4.1 Üldosa

Puitvahelagede arvutusolukordade lahendamiseks on aluseks võetud EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2 „Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine“ (Eesti Standardikeskus, 2015). Kandepiir seisundis on teostatud järgmised arvutused: surve ristikiudu ja paine. Kasutuspiir seisundis on teostatud läbipainde arvutused.

Kõik käesoleva alapeatüki punktide tugevusarvutused teostatakse igas hoone telje vahemikus kõige väiksema ristlõikega taladele. Arvutused teostatakse sammudega, mis on saadud peale talade kahesildeliseks muutmist (Lisa 2, leht 6). Arvutusteks kasutatakse vastavate telgede vahemikus olevat suurimat tala sammu.

Kui kõige väiksema läbimõõduga talade kandevõimed on tagatud, siis on need ka tagatud suuremate ristlõigete ja väiksemate sammudega taladel.

Arvutustes kasutatakse resistograafi graafikutelt saadud jääkristlõikeid. Kõikide olemasolevate talade asukohad ja nende jääkristlõiked on välja toodud töö lisa (Lisa 2, leht 5).

Kandepiirseisundis kontrollitakse talade kandevõimet survele kui ka paindele. Kasutuspiirseisundis teostatakse taladele läbipainde kontroll. Käesolevas lõputöös ei käsitleta konstruktsioonisõlmede arvutusi.

## 7.4.2 Kandevõime kontroll muljumisele

Surve kontrollil ristikiudu peab olema täidetud järgmine tingimus (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 35):

$$\delta_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (7.57)$$

$$\delta_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (7.58)$$

kus,  $\delta_{c,90,d}$  – efektiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu, N/mm<sup>2</sup>

$F_{c,90,d}$  – arvutuslik survejõud ristikiudu, kN

$A_{ef}$  – efektiivne kontaktpind ristikiudu survele, mm<sup>2</sup>

$f_{c,90,d}$  – arvutuslik survejõud ristikiudu, N/mm<sup>2</sup>

$k_{c,90}$  – tegur, mis arvestab koormuse konfiguratsiooni, lõhestumisvõimalust ning survedeformatsioonide astet

Arvutuslik survetugevus ristikiudu leitakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 35):

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \quad (7.59)$$

kus,  $f_{c,90,k}$  – normsurvetugevus ristikiudu, N/mm<sup>2</sup>

$k_{mod}$  – koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur

$\gamma_m$  – materjali osavarutegur, saepuidul 1,3 (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)

### Kandevõime kontroll muljumisele vahelaetaladele telgede 1-2 vahel

$g_{d,VL-1(1-2)} = 0,76 \text{ kN/m}$  (vt jaotis 7.2.6)

$q_{d,kasus(1-2)} = 3,78 \text{ kN/m}$  (vt jaotis 7.2.6)

$k_{c,90} = 1,5$  (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 36)

$\gamma_m = 1,3$  (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)

$k_{mod} = 0,8$  (Tabel 7.1)

$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$  (Tabel 7.3)

$l = 2,359$  m (Lisa 2, leht 5)

$d = 160$  mm (Lisa 2, leht 5)

Arvutuslik survejõud ristikiudu saadakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 57):

$$F_{c,90,d} = Q_d = \frac{p_{jd} \cdot l}{2} = \frac{(0,76 + 3,78) \cdot 2,359}{2} = 5,35 \text{ kN} = 5350 \text{ N} \quad (7.60)$$

Vastavalt standardi võetud EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2 jaotisele 6.1.5 (Eesti Standardikeskus, 2015) tuleb efektiivse kontaktpinna leidmiseks suurendada tegelikku kontaktpikkust mõlemas suunas 30 mm.

Efektiivne kontaktpind ristikiudu arvutatakse seega:

$$A_{ef} = \pi \cdot (80 + 30)^2 = 38013,27 \text{ mm}^2$$

Efektiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu saadakse valemiga (7.58):

$$\delta_{c,90,d} = \frac{5350}{38013,27} = 0,142 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus ristikiudu arvutatakse valemiga (7.59):

$$f_{c,90,d} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,3} = 1,538 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimuse kontroll vastavalt valemile (7.57):

$$0,142 \leq 1,5 \cdot 1,538 \text{ N/mm}^2 = 2,307 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud.

### **Kandevõime kontroll muljumisele vahelaetaladele telgede 2-3 vahel**

$g_{d,VL-1(2-3)} = 0,91$  kN/m (vt jaotis 7.2.6)

$q_{d,kasus(2-3)} = 4,14$  kN/m (vt jaotis 7.2.6)

$k_{c,90} = 1,5$  (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 36)

$\gamma_m = 1,3$  (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)

$k_{mod} = 0,8$  (Tabel 7.1)

$f_{c,90,k} = 2,5$  N/mm<sup>2</sup> (Tabel 7.3)

$l = 2,526$  m (Lisa 2, leht 5)

$d = 210$  mm (Lisa 2, leht 5)

Arvutuslik survejõud ristikiudu saadakse valemiga (7.61):

$$F_{c,90,d} = \frac{(0,91 + 4,14) \cdot 2,526}{2} = 6,38 \text{ kN} = 6380 \text{ N}$$

Efektiivne kontaktpind ristikiudu arvutatakse vastavalt standardi EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2 jaotisele 6.1.5:

$$A_{ef} = \pi \cdot (105 + 30)^2 = 57255,53 \text{ mm}^2$$

Efektiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu saadakse valemiga (7.58):

$$\delta_{c,90,d} = \frac{6380}{57255,53} = 0,11 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus ristikiudu arvutatakse valemiga (7.59):

$$f_{c,90,d} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,3} = 1,538 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimuse kontroll vastavalt valemile (7.57):

$$0,11 \leq 1,5 \cdot 1,538 \text{ N/mm}^2 = 2,307 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud.

### **Kandevõime kontroll muljumisele vahelaetaladele telgede 4-5 vahel**

$$g_{d,VL-1(4-5)} = 0,85 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$q_{d,kasus(4-5)} = 4,11 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$k_{c,90} = 1,5 \text{ (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 36)}$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)}$$

$$k_{mod} = 0,8 \text{ (Tabel 7.1)}$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabel 7.3)}$$

$$l = 2,574 \text{ m (Lisa 2, leht 5)}$$

$$d = 180 \text{ mm (Lisa 2, leht 5)}$$

Arvutuslik survejõud ristikiudu saadakse valemiga (7.61):

$$F_{c,90,d} = \frac{(0,85 + 4,11) \cdot 2,574}{2} = 6,38 \text{ kN} = 6380 \text{ N}$$

Efektiivne kontaktpind ristikiudu arvutatakse vastavalt standardi EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2 jaotisele 6.1.5:

$$A_{ef} = \pi \cdot (90 + 30)^2 = 45238,93 \text{ mm}^2$$

Efektiiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu saadakse valemiga (7.58):

$$\delta_{c,90,d} = \frac{6380}{45238,93} = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus ristikiudu arvutatakse valemiga (7.59):

$$f_{c,90,d} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,3} = 1,538 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimuse kontroll vastavalt valemile (7.57):

$$0,14 \leq 1,5 \cdot 1,538 \text{ N/mm}^2 = 2,307 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud.

### **Kandevõime kontroll muljumisele vahelaetadele telgede 5-6 vahel**

$$g_{d,VL-1(5-6)} = 0,80 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$q_{d,kasus(5-6)} = 4,11 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$k_{c,90} = 1,5 \text{ (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 36)}$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)}$$

$$k_{mod} = 0,8 \text{ (Tabel 7.1)}$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabel 7.3)}$$

$$l = 3,215 \text{ m (Lisa 2, leht 5)}$$

$$d = 150 \text{ mm (Lisa 2, leht 5)}$$

Arvutuslik survejõud ristikiudu saadakse valemiga (7.61):

$$F_{c,90,d} = \frac{(0,80 + 4,11) \cdot 3,215}{2} = 7,89 \text{ kN} = 7890 \text{ N}$$

Efektiiivne kontaktpind ristikiudu arvutatakse vastavalt standardi EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2 jaotisele 6.1.5:

$$A_{ef} = \pi \cdot (75 + 30)^2 = 28352,87 \text{ mm}^2$$

Efektiiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu saadakse valemiga (7.58):

$$\delta_{c,90,d} = \frac{7890}{28352,87} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survetugevus ristikiudu arvutatakse valemiga (7.59):

$$f_{c,90,d} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,3} = 1,538 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimuse kontroll vastavalt valemile (7.57):

$$0,28 \leq 1,5 \cdot 1,538 \text{ N/mm}^2 = 2,307 \text{ N/mm}^2$$

Tugevustingimus on täidetud.

### 7.4.3 Paine

Painde kontrollil peab olema rahuldatud järgmine tingimus (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 36-37):

$$\frac{\sigma_{md}}{f_{md}} \leq 1 \quad (7.61)$$

kus,  $f_{m,y,d}$ ;  $f_{m,z,d}$  – vastavad arvutuslikud paindetugevused, kN/m<sup>2</sup>;

$\sigma_{m,y,d}$ ;  $\sigma_{m,z,d}$  – arvutuslik paindepinge y- või z- telje suhtes kN/m<sup>2</sup>;

$k_m$  – tegur, mis arvestab pingete ümberjagunemist ja materjali mittehomogeensust. Ringikujulise ristlõike korral  $k_m=1,0$  (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 37).

Arvutuslik paindetugevus leitakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 25):

$$f_{md} = \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \quad (7.62)$$

kus,  $f_{mk}$  – normpaindetugevus, N/mm<sup>2</sup>

$k_{mod}$  – koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur

$\gamma_m$  – materjali osavarutegur, saepuidul 1,3 (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)

Arvutuslik paindepinge leitakse valemiga (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 36-37):

$$\delta_{md} = \frac{M}{W} \quad (7.63)$$

kus,  $M$  – paindemoment, kNm ja arvutatakse valemiga:

$$M = \frac{p_{jd} \cdot l^2}{8} \quad (7.64)$$

$W$  – vastupanumoment, mm<sup>3</sup>

$$p_{jd} = g_{d,VL-1} + q_{d,kasus}$$

Vastupanumoment leitakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 27);

Ringikujulise ristlõike korral 
$$W_{y,(z)} = \frac{\pi d^3}{32} \quad (7.65)$$

kus,  $d$  – tala läbimõõt

### **Painde kontroll vahelaetaladele telgede 1-2 vahel**

$$g_{d,VL-1(1-2)} = 0,76 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$q_{d,kasus(1-2)} = 3,78 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$f_{mk} = 24 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabel 7.3)}$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)}$$

$$k_{mod} = 0,8 \text{ (Tabel 7.1)}$$

$$l = 2,359 \text{ m (Lisa 2 leht 5)}$$

$$d = 0,16 \text{ m (Lisa 2, leht 5)}$$

Arvutuslik paindetugevus valemiga (7.62):

$$f_{md} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

Paindemoment valemiga (7.64):

$$M = \frac{(0,76 + 3,78) \cdot 2,359^2}{8} = 3,16 \text{ kNm} = 3,16 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Vastupanumoment valemiga (7.65):

$$W_{y,(z)} = \frac{\pi \cdot 0,16^3 \cdot 10^6}{32} = 402,12 \text{ cm}^3 = 402,12 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindepinge valemiga (7.63)

$$\delta_{md} = \frac{3,16 \cdot 10^6}{402,12 \cdot 10^3} = 7,86 \text{ N/mm}^2$$

Paindekontroll vastavalt valemile (7.61):

$$\frac{7,86}{14,77} = 0,53 \leq 1$$

Telgede 1-2 vahel asuvate talade kandevõime paindele on tagatud. Kuna arvutused tehti kõige väiksema ristlõikega talale, on ka teiste telgede 1-2 vahel asuvate talade kandevõime paindele tagatud. Talade sisejõudude epüürid on näha töö lisas (Lisa 1).



### **Painde kontroll vahelaetaladele telgede 2-3 vahel**

$$g_{d,VL-1(2-3)} = 0,91 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$q_{d,kasus(2-3)} = 4,14 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$f_{mk} = 24 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabel 7.3)}$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)}$$

$$k_{mod} = 0,8 \text{ (Tabel 7.1)}$$

$$l = 2,526 \text{ m (Lisa 2, leht 5)}$$

$$d = 0,21 \text{ m (Lisa 2, leht 5)}$$

Arvutuslik paindetugevus valemiga (7.62):

$$f_{md} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

Paindemoment valemiga (7.64):

$$M = \frac{(0,91 + 4,14) \cdot 2,526^2}{8} = 4,03 \text{ kNm} = 4,03 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Vastupanumoment valemiga (7.65):

$$W_{y,(z)} = \frac{\pi \cdot 0,21^3 \cdot 10^6}{32} = 909,20 \text{ cm}^3 = 909,20 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindepinge valemiga (7.63)

$$\delta_{md} = \frac{4,03 \cdot 10^6}{909,20 \cdot 10^3} = 4,43 \text{ N/mm}^2$$

Paindekontroll vastavalt valemile (7.61):

$$\frac{4,43}{14,77} = 0,30 \leq 1$$

Telgede 2-3 vahel asuvate talade kandevõime paindele on tagatud. Kuna arvutused tehti kõige väiksema ristlõikega talale, on ka teiste telgede 2-3 vahel asuvate talade kandevõime paindele tagatud. Tala sisejõudude epüürid on näha töö lisan (Lisa 1).

### **Painde kontroll vahelaetaladele telgede 4-5 vahel**

$$g_{d,VL-1(4-5)} = 0,85 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$q_{d,kasus(4-5)} = 4,11 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$f_{mk} = 24 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabel 7.3)}$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)}$$

$$k_{mod} = 0,8 \text{ (Tabel 7.1)}$$

$$l = 2,574 \text{ m (Lisa 2, leht 5)}$$

$$d = 0,18 \text{ m (Lisa 2, leht 5)}$$

Arvutuslik paindetugevus valemiga (7.62):

$$f_{md} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

Paindemoment valemiga (7.64):

$$M = \frac{(0,85 + 4,11) \cdot 2,574^2}{8} = 4,11 \text{ kNm} = 4,11 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Vastupanumoment valemiga (7.65):

$$W_{y,(z)} = \frac{\pi \cdot 0,18^3 \cdot 10^6}{32} = 572,56 \text{ cm}^3 = 572,56 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindepinge valemiga (7.63)

$$\delta_{md} = \frac{4,11 \cdot 10^6}{572,56 \cdot 10^3} = 7,18 \text{ N/mm}^2$$

Paindekontroll vastavalt valemile (7.61):

$$\frac{7,18}{14,77} = 0,49 \leq 1$$

Telgede 4-5 vahel asuvate talade kandevõime paindele on tagatud. Kuna arvutused tehti kõige väiksema ristlõikega talale, on ka teiste telgede 4-5 vahel asuvate talade kandevõime paindele tagatud. Tala sisejõudude epüürid on näha töö lisas (Lisa 1).

### **Painde kontroll vahelaetaladele telgede 5-6 vahel**

$$g_{d,VL-1(5-6)} = 0,80 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$q_{d,kasus(5-6)} = 4,11 \text{ kN/m (vt jaotis 7.2.6)}$$

$$f_{mk} = 24 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabel 7.3)}$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 24)}$$

$$k_{mod} = 0,8 \text{ (Tabel 7.1)}$$

$$l = 3,215 \text{ m (Lisa 2, leht 5)}$$

$$d = 0,15 \text{ m (Lisa 2, leht 5)}$$

Arvutuslik paindetugevus valemiga (7.62):

$$f_{md} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

Paindemoment valemiga (7.64):

$$M = \frac{(0,80 + 4,11) \cdot 3,215^2}{8} = 6,34 \text{ kNm} = 6,34 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Vastupanumoment valemiga (7.65):

$$W_{y,(z)} = \frac{\pi \cdot 0,15^3 \cdot 10^6}{32} = 331,34 \text{ cm}^3 = 331,34 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Arvutuslik paindepinge valemiga (7.63)

$$\delta_{md} = \frac{6,34 \cdot 10^6}{331,34 \cdot 10^3} = 19,13 \text{ N/mm}^2 =$$

Paindekontroll vastavalt valemile (7.61):

$$\frac{19,13}{14,77} = 1,30 > 1$$

Tugevustingimus ei ole täidetud! Tala sisejõudude epüürid on näha töö lisas (Lisa 1).

Et tugevustingimus oleks täidetud, leitakse minimaalne vajalik ristlõige järgmiste arvutuskäikude abil:

$$\delta_{md} = \frac{6,34 \cdot 10^3}{W_{y,(z)}} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$$14,77 W_{y,(z)} = 6,34 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

$$W_{y,(z)} = 429,25 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$429,25 \text{ cm}^3 = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot 10^6}{32}$$

$$\frac{1}{d^3} = \frac{\pi \cdot 10^6}{32 \cdot 429,25}$$

$$d > 0,164 \text{ m}$$

Telgede 5-6 vahel asuvate talade, mille ristlõige on väiksem kui 165 mm, kandevõime paindele ei ole tagatud.

#### 7.4.4 Keldri vahelaetala läbipaine kontroll kasutuspiirseisundis

Vastavalt EVS-EN 1995-1-1:2005 rahvuslikule lisale on soovitatavad piirväärtused (Eesti Standardikeskus, 2015, lk 124):

- Hetkeline läbipaine muutuvast koormusest:

$$w_{inst,Q} \leq \frac{l}{400} \quad (7.66)$$

- Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest:

$$w_{fin} \leq \frac{l}{200} \quad (7.67)$$

Hetkelised läbipainded alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega:

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \cdot q_d \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} \quad (7.68)$$

$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot g_d \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} < \frac{l}{400} \quad (7.69)$$

kus,  $g_k$  ja  $q_k$  – normatiivsed joonkoormused

$I_y$  – ristlõike inertsimoment

$l$  – sildeava pikkus

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad (7.70)$$

$$w_{fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (7.71)$$

kus,  $k_{def}$  – deformatsioonitegur (Tabel 7.2)

$\psi_2$  – kombinatsioonitegur (Tabel 7.9)

Lõplik läbipaine arvutatakse:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q} < \frac{l}{200} \quad (7.72)$$

#### Läbipaine kontroll kasutuspiirseisundis telgede 1-2 vahel

$g_{d,VL-1(1-2)} = 0,76$  kN/m (vastavalt alajaotisele 7.2.6)

$q_{d,kasus(1-2)} = 3,78$  kN/m (vastavalt alajaotisele 7.2.6)

$k_{def} = 0,8$  (Tabel 7.2)

$\psi_2 = 0,3$  (Tabel 7.9)

$L = 2359$  mm (Lisa 2, leht 5)

$d = 160$  mm (Lisa 2, leht 5)

$E_{0,mean} = 11000$  N/mm<sup>2</sup> (Tabel 7.3)

Hetkeline läbipaine muutuvast koormusest arvutatakse valemiga (7.66):

$$w_{inst,Q} \leq \frac{2359}{400} = 5,90 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest arvutatakse valemiga (7.67):

$$w_{fin} \leq \frac{2359}{200} = 11,80 \text{ mm}$$

Ringi inertsimoment arvutatakse valemiga (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012, lk 26):

$$I_y = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,16^4 \cdot 10^6}{64} = 32,17 \text{ mm}^4 \quad (7.73)$$

Hetkelised läbipainded alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega (7.68) ja (7.69):

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \cdot 3,78 \cdot 2359^4}{384 \cdot 11000 \cdot 32,17 \cdot 10^6} = 4,31 \text{ mm} < \frac{2359}{400} = 5,90 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot 0,76 \cdot 2359^4}{384 \cdot 11000 \cdot 32,17 \cdot 10^6} = 0,87 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega:

$$w_{fin,G} = 0,87 \cdot (1 + 0,8) = 1,57 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q} = 4,31 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,8) = 5,34 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine arvutatakse:

$$w_{fin} = 1,57 + 5,34 = 6,91 \text{ mm} < \frac{2359}{200} = 15 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Telgede 1-2 vahel asuvate vahelaetalade hetkeline ja lõplik läbipaine jäävad lubatud piiridesse. Kuna kontroll tehti kõige väiksema ristlõikega talale, on ka teiste telgede 1-5 vahel asuvate olemasolevate talade kandevõime paindele tagatud.

### Läbipainde kontroll kasutuspiirseisundis telgede 2-3 vahel

$$g_{d,VL-1(2-3)} = 0,91 \text{ kN/m (vastavalt alajaotisele 7.2.6)}$$

$$q_{d,kasus(2-3)} = 4,14 \text{ kN/m (vastavalt alajaotisele 7.2.6)}$$

$$k_{def} = 0,8 \text{ (Tabel 7.2)}$$

$$\psi_2 = 0,3 \text{ (Tabel 7.9)}$$

$$L = 2526 \text{ mm (Lisa 2, leht 5)}$$

$$d = 210 \text{ mm (Lisa 2, leht 5)}$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabel 7.3)}$$

Hetkeline läbipaine muutuvast koormusest arvutatakse valemiga (7.66):

$$w_{inst,Q} \leq \frac{2526}{400} = 6,32 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest arvutatakse valemiga (7.67):

$$w_{fin} \leq \frac{2526}{200} = 12,63 \text{ mm}$$

Ringi inertsimoment arvutatakse valemiga (7.73):

$$I_y = \frac{\pi \cdot 0,21^4 \cdot 10^6}{64} = 95,47 \text{ mm}^4$$

Hetkelised läbipainded alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega (7.68) ja (7.69):

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \cdot 4,14 \cdot 2526^4}{384 \cdot 11000 \cdot 95,47 \cdot 10^6} = 2,08 \text{ mm} < \frac{2526}{400} = 6,32 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot 0,91 \cdot 2526^4}{384 \cdot 11000 \cdot 95,47 \cdot 10^6} = 0,46 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega:

$$w_{fin,G} = 0,46 \cdot (1 + 0,8) = 0,83 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q} = 2,08 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,8) = 2,58 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine arvutatakse:

$$w_{fin} = 0,83 + 2,58 = 3,41 \text{ mm} < \frac{2526}{200} = 12,63 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Telgede 2-3 vahel asuvate vahelaetalade hetkeline ja lõplik läbipaine jäävad lubatud piiridesse. Kuna kontroll tehti kõige väiksema ristlõikega talale, on ka teiste telgede 2-3 vahel asuvate olemasolevate talade kandevõime paindele tagatud.

### Läbipainde kontroll kasutuspiirsesundis telgede 4-5 vahel

$$g_{d,VL-1(4-5)} = 0,85 \text{ kN/m (vastavalt alajaotisele 7.2.6)}$$

$$q_{d,kasus(4-5)} = 4,14 \text{ kN/m (vastavalt alajaotisele 7.2.6)}$$

$$k_{def} = 0,8 \text{ (Tabel 7.2)}$$

$$\psi_2 = 0,3 \text{ (Tabel 7.9)}$$

$$L = 2574 \text{ mm (Lisa 2, leht 5)}$$

$$d = 180 \text{ mm (Lisa 2, leht 5)}$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabel 7.3)}$$

Hetkeline läbipaine muutuvast koormusest arvutatakse valemiga (7.66):

$$w_{inst,Q} \leq \frac{2574}{400} = 6,44 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest arvutatakse valemiga (7.67):

$$w_{fin} \leq \frac{2574}{200} = 12,87 \text{ mm}$$

Ringi inertsimoment arvutatakse valemiga (7.73):

$$I_y = \frac{\pi \cdot 0,18^4 \cdot 10^6}{64} = 51,53 \text{ mm}^4$$

Hetkelised läbipainded alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega (7.68) ja (7.69):

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \cdot 4,11 \cdot 2574^4}{384 \cdot 11000 \cdot 51,53 \cdot 10^6} = 4,14 \text{ mm} < \frac{2574}{400} = 6,44 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot 0,85 \cdot 2574^4}{384 \cdot 11000 \cdot 51,53 \cdot 10^6} = 0,86 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega:

$$w_{fin,G} = 0,86 \cdot (1 + 0,8) = 1,55 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q} = 4,14 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,8) = 5,13 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine arvutatakse:

$$w_{fin} = 1,55 + 5,13 = 6,68 \text{ mm} < \frac{2574}{200} = 12,87 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Telgede 4-5 vahel asuvate vahelaetalade hetkeline ja lõplik läbipaine jäävad lubatud piiridesse. Kuna kontroll tehti kõige väiksema ristlõikega talale, on ka teiste telgede 4-5 vahel asuvate olemasolevate talade kandevõime paindele tagatud.

### Läbipainde kontroll kasutuspiiriseisundis telgede 5-6 vahel

$$g_{d,VL-1(5-6)} = 0,80 \text{ kN/m (vastavalt alajaotisele 7.2.6)}$$

$$q_{d,kasus(5-6)} = 4,11 \text{ kN/m (vastavalt alajaotisele 7.2.6)}$$

$$k_{def} = 0,8 \text{ (Tabel 7.2)}$$

$$\psi_2 = 0,3 \text{ (Tabel 7.9)}$$

$$L = 3215 \text{ mm (Lisa 2, leht 5)}$$

$$d = 150 \text{ mm (Lisa 2, leht 5)}$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

Hetkeline läbipaine muutuvast koormusest arvutatakse valemiga (7.66):

$$w_{inst,Q} \leq \frac{3215}{400} = 8,04 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest arvutatakse valemiga (7.67):

$$w_{fin} \leq \frac{3215}{200} = 16,08 \text{ mm}$$

Ringi inertsimoment arvutatakse valemiga (7.73):

$$I_y = \frac{\pi \cdot 0,15^4 \cdot 10^6}{64} = 24,85 \text{ mm}^4$$

Hetkelised läbipainded alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega (7.68) ja (7.69):

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \cdot 4,11 \cdot 3215^4}{384 \cdot 11000 \cdot 24,85 \cdot 10^6} = 20,92 \text{ mm} > \frac{3215}{400} = 8,04 \text{ mm} \rightarrow$$

TINGIMUS EI OLE TÄIDETUD!



$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot 0,80 \cdot 3215^4}{384 \cdot 11000 \cdot 24,85 \cdot 10^6} = 4,07 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine alalisest ja muutuvast koormusest leitakse valemitega:

$$w_{fin,G} = 4,07 \cdot (1 + 0,8) = 7,33 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q} = 20,92 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,8) = 25,94 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine arvutatakse:

$$w_{fin} = 7,33 + 25,94 = 33,27 \text{ mm} > \frac{3215}{200} = 16,08 \text{ mm}$$

Vahelaetala hetkeline ja lõplik läbipaine ei jää lubatud piiridesse.

Minimaalne vajalik ristlõige leitakse järgmiste arvutuskäikude abil:

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \cdot 4,11 \cdot 3215^4}{384 \cdot 11000 \cdot I_y \cdot 10^6} = 8,04 \text{ mm}$$

$$8,04 I_y = 519,77 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 64,65 \text{ mm}^4$$

$$\frac{\pi \cdot d^4 \cdot 10^6}{64} = 64,65 \text{ mm}^4$$

$$d^4 = 759,28^{-1} \left| \cdot \sqrt[4]{\phantom{x}} \right.$$

$$d \geq 0,191 \text{ m}$$

Telgede 5-6 vahel asuvad keldri vahelaetalad peavad olema vähemalt 191 mm läbimõõduga. Taladel, mille ristlõige on väiksem kui 191 mm, ei ole kandevõime paindele tagatud ning tuleb välja vahetada.

## **8 RESTAUREERIMISLAHENDUSED**

### **8.1 Seinte konstruktsioon**

#### **8.1.1 Välisseina alumiste palkiridade vahetamine ja proteesimine**

Marja 16 kandvatel välisseintel tuleb lääneküljel alumine palkirida välja vahetada kogu hoone ulatuses. Lääneküljel alumiste palkide vahetuseks tuleb anda hoonele kerget eelpingestust, kuna hoone on liiga suur, et seda tõsta tungraudade või PERI-postide abil üles. Peale eelpingestust tuleb vahetada alumised palgid osadena. Vahetatavate palkide kohal olevad palgid tuleb kindlasti toetada. Samaaegselt asenduspaldi paigaldamisega tuleb aluspaldi ja vundamendi vahele paigaldada hüdroisolatsioon. Hüdroisolatsiooniks kasutada SBS bituumenrullmaterjali. Lisaks tuleb esimesed palgiread üle võõbata puidukaitsevahenditega, et suureneks paldi vastupidavus mädanemisele.

Hoone idaküljel asuv alumine palkirida on rahuldavas seisukorras ning ei vaja välja vahetamist. Akna all asuv vundamendi pealse paldi kahjustus on ainult pinnapealne. Selleks tuleb kahjustunud osa välja tahuda ning asemele proteesida uus paldiosa.

Et vältida samade probleemide tekkimist edaspidi, tuleb kindlast likvideerida ka kahjustuste põhjused või nende tekkimist aeglustada. Kindlasti tuleb panna hoone soklile uued veeninad. Need aitavad vett soklist ja vundamendist eemale juhtida.

Esimene palkirida võiks alata vähemalt 30 cm kõrguselt maapinnast (Kalamees, et al., 2011) ning võimaluse korral tuleb hoone ümbrus teha kaldega 1:20 hoonest eemale.

#### **8.1.2 Akna aluste ja ülemiste palkide proteesimine**

Aknaaluste palkide kahjustunud osa esinebki ainult akende all. Selle tõttu ei ole otstarbekas vahetada kogu palki, vaid ainult kahjustunud osa. Selleks tuleb kasutada proteesimist.

Proteesida tuleb esimese korruse akende all olevad kaks palkirida.

Termokaamera piltide järgi ei esine teise korruse akende all pehkinud puitu, vaid hoopis akende kohal olevatel palkidel.

Enne pehkinud palgiosa eemaldamist tuleb vahetatavast palgiosast ülemine palgirida toetada. Asenduspalk ja vana palk tuleb omavahel ühendada. Asenduspalk valida algsele võimalikult sarnane. Ühenduseks kasutada pool-poolega tappi.

Peale aknaaluste palkide proteesimist tuleb kindlasti akendele paigaldada ka akna veeplekid. Need aitavad vett fassaadist eemale juhtida.

## **8.2 Siseseina alumise palgi vahetamine**

Esimese korruse seinte alumiste palkide asukohti ja seisukorda on näha töö lisas (Lisa 2, leht 2).

Alumise siseseina palgirea vahetus käib sarnaselt välisseina palgi vahetusele. Vahetades tuleb toetada vahetatavast palgist ülemised siseseina palgired, alles siis saab eemaldada kahjustunud palgi. Toestamiseks peab keldri vahelaekonstruktsioon avatud, kuna seina toetamise käigus seinast tulenevat koormust ei või kanda vahelaetaladele. Asenduspalk tuleb paigaldada asendatavaga võimalikult sarnane. Kui vana palgi mõõte on raske määrata, siis valida asenduspalk, mis paika panduna oleks umbes ühe sentimeetri võrra algsest paksem.

## **8.3 Vahelaetalad**

### **8.3.1 Keldri ja esimese korruse vahelaetalad**

Uue peatala asenduseks on soovitatav teha siseseina all asuvatele vahelaetaladele betoonist või Fibo-plokkidest toetavad postid või ühtne vundament (Lisa 2, leht 6). Samuti ka kõik teised terve vahelaepikkuses olevad talad tuleb teha kaheksilisteks.

Kõik eemaldatud vahelaetalad tuleb asendada uutega. Telgede 1-2, 2-3 ja 4-5 vahel olemasolevad palgid võivad jääda konstruktsiooni sisse. Puudu olevad palgid asendada analoogsete ristlõigetega nagu on olemasolevad talad.

Telgede 5-6 vahel tuleb eemaldada kaks olemasolevat tala. Üks tala tuleb proteesida või siis terves telgede ulatuses välja vahetada. Asukohad on näidatud töö lisan (Lisa 2, leht 5). Nende jääkristlõiked on liiga väikesed, ja seetõttu ei ole nende kandevõime paindele tagatud. Kandevõime paindele oleks tagatud vähemalt 165 mm läbimõõduga palkidel, kuid nad ületavad lubatud painet kasutuspiirsesundis. Antud telgede vahel peavad uued palgid olema vähemalt 191 mm ristlõikega.

Enne vahelae kinni ehitamist tuleb veenduda, et keldris ja talades ei esineks enam seene algeid ning et talades ei elaks putukaid.

### **8.3.2 Teise korruse ja pööningu vahelaetalad**

Talad ise on rahuldavas seisusukorras, kuid jätkatud talad tuleb kõik omavahel ühendada. Jätkamiseks tuleb kasutada koba. Mõned jätkatud vahelaetalad on juba ühendatud, kuid kindlasti tuleb paigaldada koba ka nendele, kus see hetkel puudub.

## **8.4 Katuse konstruktsioon**

### **8.4.1 Sarikate vekseldamine**

Sarikate liigutamine ei ole otstarbekas, kuna siis tuleb katusekate ja roovid sarika küljest lahti võtta. Korstna juures pooleks lõigatud sarika mõlemad pooled tuleb vekseldada. Vekseltala tuleb ühendada kahe kõrval oleva sarikaga. Vekseltalad kinnitada sarikate külge metallkingade abil. Ühelt poolt kinnitub vekseltala lisasarikale. Kuna lisasarikas on suurema läbimõõduga, kui arvutustes kasutatud sarikas, siis kannab ka lisasarikas vekseltalast tulevaid koormuseid. Sarikate ja vekselsarika kaugus korstnast peab jääma vähemalt 20 cm kaugusele. Kahe pooliku sarikaosa vekseltala teha 100x100 mm ristlõikega puitprussist.

Enne vekseltalade kinnitamist kõrval sarikatele, tuleb üks kõrval olev sarikapaar kõigepealt harjaühendusest uuesti siduda.

Kui tulevikus soovitakse vahetada katusekatet ja katuslage soojustada, tuleb vekseltalade kandevõime uuesti üle kontrollida.

## **8.4.2 Sarikate lisamine**

Vekseldamist vajava sarika paarissarika kandevõime on liiga väike, et kanda katuselt tulevaid koormuseid. Tuleb paigaldada lisasarikapaar olemasoleva pennita sarika ja tema kõrval oleva sarika vahele. Lisasarikad teha 170 mm läbimõõduga palkidest ning ühendada omavahel penniga samalt kõrguselt, nagu on tehtud olemasolevatel sarikatel, umbes 2 meetrit pööningu vahelaest. Penniks kasutada ristlõikega 80x160 mm poolpalke. Lisasarikate asukoht on näidatud töö lisan (Lisa 2, leht 9). Sarikapaari harja ja penniga ühendustes kasutada tapp-punniidid.

Kuna lisasarikapaar asub ka vekseldatava sarika kõrval, siis tuleb vekseltalad kinnitada lisasarika külge.

Kui hiljem soovitakse vahetada katusekatet ning paigaldada katuslae soojustust, tuleb kõikide sarikate kandevõime uuesti üle kontrollida ja vajadusel need tugevdada.

## **8.4.3 Sarikate ühendamise**

Harjas ühendusest lahti läinud sarika otsad tuleb uuesti ühendada tapp-punniitega. Selleks ei ole vaja katusekatet ja roovitust eemaldada.

Kõik sarikad tuleb ühendada ka vahelaetaladega, hetkel seda ei ole tehtud. Ühendamiseks tuleb kasutada koba. Ühendus teha tala ja sarika külje pealt.

## **8.4.4 Sarikaotste proteesimine**

Niiskuskahjustusega sarikate otsad on kõige otstarbekam proteesida. Pehkinud puit tuleb eemaldada 50 cm ulatuses üle kahjustunud osa.

Sarika otste proteesimist on hea teha katusetööde käigus, kui juba katusekate eemaldatud. Kui palgi otste proteesimine toimub enne katusetöid, siis tuleb kõige pealt sarikad toetada, katusekate sarika alt eemaldada ja roovitus sarika küljest lahti võtta. Kui vana sarikaots on asendatud uuega, siis kinnitada uuesti roovitus sarika külge ja taastada katusekate. Protees võtta sama ristlõikega, mis on proteesimist vajav sarikas.

Enne, kui hakatakse proteesima sarikat, tuleb üle kontrollida ka sarika toetuspind. Kui sarika otste proteesimise käigus ilmnevad varem varjatuks jäänud müürilati kahjustused, siis tuleb ka müürilatt asendada.

## **8.5 Tuulekoda**

### **8.5.1 Tuulekoja tõstmine**

Tuulekojale ei tehtud käesoleva töö käigus vastupanupuurimist ega ka teostatud arvutusi, kuna see on hoonele hiljem juurde ehitatud ning ei ole hoone konstruktsioonidega ühendatud.

Tuulekoja konstruktsioon oli rahuldavas seisus, seega pole otstarbekas seda maha lammutada ja uut teha. Tuulekoda tuleb tõsta vajunud küljelt. Tõstmine on mõttekas samal ajal, kui teostatakse tuulekoja vundamendi töid.

Tuulekoja tõstmiseks tuleb esmalt eemaldada fassaadilaudis kohtadest, kust hakatakse hoonet tungraudade abil üles tõstma. Kui vajunud ots on üles tõstetud, tuleb kõigepealt kohendada vajunud vundamenti. Vajadusel valada uus taldmik ning armeerida. Kui vundament on stabiilne, siis võib tuulekoja lasta tagasi alla vundamendi peale.

Kindlasti tuleb paigaldada vundamendi ja alumise palgi vahele niiskustõkke. Niiskustõkkeks kasutada SBS bituumenrullmaterjali. Nagu ka välisseinte alumiste palkide vahetuse puhul, tuleb ka siin jälgida, et niiskustõkke paigaldamisel oleks aluspind ette valmistatud.

Peale tuulekoja tagasi paika panemist tuleb üle kontrollida puitkonstruktsioonide olukord. Kui esineb kahjustunud kohti, tuleb need korda teha. Eriti tuleb tähelepanu pöörata ühenduskohtade kontrollimisele, kuna tuulekoda on pikalt olnud kaldu, siis on ühendustes tekkinud üleliigseid pinged.

## 9 KOKKUVÕTE

Magistritöö tulemusena hinnati Tartus, Marja 16 asuva korterelamu puitkonstruktsioonide seisukorda, kasutades selleks mittepurustavaid meetmeid, seal hulgas teostati ka tugevusarvutused ning pakuti välja kahjustunud puittarinditele restaureerimislahendusi.

Visuaalse vaatluse põhjal hinnati avatud puitkonstruktsioonide seisukorda. Peamiselt on välisseinte kahjustused tulnud puudulike vihmaveesüsteemide tõttu. Hoonel puuduvad siiani aknaplekid, mille tõttu valgub vesi otse seina ja fassaadilaudise vahele. Hoonele on hiljuti paigaldatud katuselt vihmavee äravoolu süsteem, kuid varasemalt jooksis vesi otse vundamendi äärde, mille tõttu on alumistes palgiridades kõrgem niiskusesisaldus. Katusekatte kahjustustest tingituna on vihmavesi pääsenud pööningule ja seal esineb selle tõttu kahjustusi ka sarikatel harjaühenduses ja räästas. Inimeste tegevuse tagajärjel on ühe korstna juures sarikal jupp välja lõigatud ning sarikapaari ühendav penn eemaldatud.

Keldrivahelaetaladel esineb biokahjustusi, mille tekkepõhjuseks on olnud keldri liiga kõrge õhu suhteline niiskus. Kõrge niiskusesisalduse põhjuseks on nii survealine põhjavesi kui ka keldriakendest sisse valguv sadevesi.

Korterelamut termografeeriti väljast poolt, et hinnata teise korruse seina konstruktsioone. Esimese korruse kohta ei olnud võimalik informatsiooni saada, kuna pildistamise hetkel oli seal õhutemperatuur madal. Põhilised vead, mis termokaamera piltidelt tuvastati, olid pehkinud puidu ilmingud akende ümbruses ning hoone viiluseinas olevatel seinapalkidel.

Hoones teostati resistograafia vastupanupuurimist alumistele seinapalkidele ja keldri vahelaetaladele. Keldri vahelaetalasid puuriti mõlemast tala otsast tugevde juurest. Vastupanupuurimise tulemustest oli näha, et visuaalselt heas seisus palgid võivad olla seest poolt kahjustunud ning väljastpoolt mitte nii heas seisukorras palkidel võivad puududa sisemised kahjustused ning on vaid pinnapealsed.

Vastupanupuurimise tulemusena saadud graafikutelt saadi vahelaetalade jääkristlõiked, mida kasutati tugevusarvutuste tegemiseks. Arvutused näitasid, et mitte kõik olemasolevad vahelaetarandid ei ole piisava tugevusega kandmaks hoones sees elamisest tulenevaid koormusi. Seal, kus tugevustingimused ei olnud täidetud, dimensioneeriti minimaalsed vajalikud talade ristlõiked.

Tugevusarvutused teostati ka katusekonstruktsioonidele. Leiti vajalikud lume- ja tuulekoormused vastavalt hoone asukohale ja katuse parameetritele. Katusekandjatele mõjuvate sisejõudude saamiseks arvutati vastavalt koormustele väärtused müürilatis, pennis, harjas ja sarikas endas. Tugevusarvutustes sarikatel koos pennidega olid kandevõimed tagatud. Kõige avariiliseim olukord esines korstna juures, kus sarikas oli pooleks lõigatud. Mõlemad poolikud sarikaosad tuleb toetada vekseltala abil kõrval olevatele sarikatele. Pooleks lõigatud sarika paarissarikale tuleb katusele liiga suur koormus, selle vähendamiseks tuleb lisada üks lisa sarikatepaar koos penniga. Kui tulevikus soovitakse vahetada katusekatet ja katuslage soojustada, tuleb sarikate ja vekseltala kandevõime uuesti üle kontrollida.

Restaureerimislahendustes on välja toodud autori poolt palkmaja erinevatele puittarinditele soovitused restaureerimistöödeks. Eesmärgiks on hoone kahjustunud puitkonstruktsioonide täielik või osaline asendamine ning korrastamine, et hoones oleks ohutu elada, puuduksid biokahjustused ning et konstruktsioonid oleksid vastupidavad.



## 10 SUMMARY

As a result of the master's thesis, the condition of the timber structures of the apartment building located at Marja 16 in Tartu was assessed using non-destructive measures, including strength calculations and proposed restoration solutions for damaged timber structures.

The condition of the open wooden structures was assessed based on the visual inspection. The damage on the external walls is mainly due to inadequate rainwater systems. The building still does not have window stains, due to which water flows directly between the wall and the facade board. The building has recently been fitted with a rainwater drainage system from the roof, but in the past the water ran directly to the foundation, resulting in a higher moisture content in the lower log rows. Due to the damage to the roof covering, rainwater has entered the attic and, as a result, there is also damage to the rafters in the brush connection and the eaves. As a result of human activity, a piece of the rafter has been cut out at one of the chimneys and the penny connecting the rafter pair has been removed.

Basement ceiling beams have bio-damage caused by too high relative humidity of the basement air. The reason for the high moisture content is both pressurized groundwater and rainwater flowing in from the basement windows.

The apartment building was thermographed from the outside to evaluate the wall constructions of the second floor. It was not possible to get information about the first floor because the air temperature was low at the time of shooting. The main defects detected in the thermal camera images were the appearance of rotten wood around the windows and on the wall beams on the wall of gable end.

In the building, resistance drilling was performed with a resistograph on the lower wall logs and on the timber beams of the basement partition ceiling. Basement partition ceiling beams were drilled at both ends of the beam at the supports. The results of the resistance drilling showed that the logs, which are in good visual condition, may be damaged from the inside, and the logs, which are not in such good condition from the outside, may not have internal damage and they may be only superficial.

Residual cross-sections of the partition ceiling beams was obtained from the resistance drilling graphs, which was used for strength calculations. Calculations have shown that not all existing intermediate ceiling timber constructions are strong enough to withstand the loads of living inside a building. If strength conditions were not fulfilled, the minimum required cross-sections of the beams were dimensioned.

Strength calculations were also performed for roof structures. The necessary snow and wind loads were found according to the location of the building and the parameters of the roof. In order to obtain the internal forces acting on the roof supports, the values in the masonry batten, penny, ridge and rafter itself were calculated according to the loads. In the strength calculations, the load-bearing capacity of the rafters with pennies was guaranteed. The most emergency situation was at the chimney, where the raft was cut in half. Both halves of the rafters must be supported by the rigel on the adjacent rafters. The opposite rafter of the halves cut rafter will be overloaded from the roof, to reduce this one additional pair of rafters with a penny must be added. If it is desired to replace the roofing and insulate the roof in the future, the load-bearing capacity of the rafters and rigel must be checked again.

The restoration solutions set out the author's recommendations for restoration work on various timber structures of a log house. The aim is to completely or partially replace and repair damaged timber structures in the building so that it is safe to live in the building, there is no bio-damage and the structures are durable.

## 11 KASUTATUD KIRJANDUS

- Eesti Standardikeskus. (01. 01 2003. a.). EVS-EN 1990:2002+NA:2002. *Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused*. Allikas: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1990-2002%2Bna-2002>
- Eesti Standardikeskus. (05. 11 2007. a.). EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007. *Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. Eesti standardi rahvuslik lisa*. Allikas: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-4-2005%2Bna-2007>
- Eesti Standardikeskus. (15. 06 2009. a.). EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002. *Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused . Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused*. Allikas: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-1-2002%2Bna-2002>
- Eesti Standardikeskus. (04. 11 2015. a.). EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2. *Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks*. Allikas: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1995-1-1-2005%2Ba1%2Bna%2Ba2>
- Eesti Standardikeskus. (05. 07 2016. a.). EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016. *Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus*. Allikas: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-3-2006%2Ba1-2016%2Bna-2016>
- Eesti Standardikeskus. (02. 04 2018. a.). EVS 812-3:2018. *Ehitiste tuleohutus. Osa 3: Küttesüsteemid*. Tallinn: Eesti Standardikeskus. Kasutamise kuupäev: 20. jaanuar 2021. a., allikas <https://www.evs.ee/et/evs-812-3-2018>
- Ehituskonstruktorigi käsiraamat*. (2012). Tallinn: Ehitame.
- EHR. (2021). *Hoone 104014307*. Kasutamise kuupäev: 22. jaanuar 2021. a., allikas Ehisregister: <https://www.ehr.ee/app/w/page?4>
- Henriques, D. F., Nunes, L., Machado, J. S., & Brito, J. d. (aprill 2011. a.). Timber in buildings: Estimation of some properties using Pilodyn and Resistograph. *Konverents*. Porto, Portugal. Kasutamise kuupäev: 20. jaanuar 2021. a., allikas [https://www.researchgate.net/publication/283326825\\_Timber\\_in\\_buildings\\_Estimation\\_of\\_some\\_properties\\_using\\_PilodynR\\_and\\_ResistographR](https://www.researchgate.net/publication/283326825_Timber_in_buildings_Estimation_of_some_properties_using_PilodynR_and_ResistographR)

- Idnurm, M. (2015). *Õppeaine "Ehitiste restaureerimine"*. Tartu. Kasutamise kuupäev: 02. veebruar 2021. a., allikas <http://www.ekspro.ee/uploads/zy1uyfer3ux0ad4.pdf>
- Just, E. (2012). Puitkonstruktsioonid. *Loengukonspekt*. Kasutamise kuupäev: 19. jaanuar 2021. a., allikas <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/030cff30-7146-4f32-b5a5-93bfa2e1182d>
- Just, E., & Just, A. (2016). Puitkonstruktsioonid. *Õppematerjal*. Kasutamise kuupäev: 20. jaanuar 2021. a., allikas [https://old.taltech.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste\\_projekteerimise\\_instituut/Oppematerjalid/puit\\_arhitektid/Arh\\_Puit\\_2016.pdf](https://old.taltech.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste_projekteerimise_instituut/Oppematerjalid/puit_arhitektid/Arh_Puit_2016.pdf)
- Just, E.-J., Öiger, K., & Just, A. (2015). *Puit- ja puidupõhised konstruktsioonid*. Tallinn: TTÜ kirjastus.
- Jürgenson, L. (1949). *Elamuehitus I*. Tartu: RK "Teaduslik kirjandus".
- Kalamees, T., Alev, Ü., Endrik Arumägi, S. I., Just, A., & Kallavus, U. (2011). Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I. *Uuringu I etapi lõpparuanne*. Tallinn. Kasutamise kuupäev: 20. jaanuar 2021. a., allikas <https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Maaelamute%20sisekliima,%20ehitusf%C3%BC%C3%BCsika%20ja%20energias%C3%A4%C3%A4st.pdf>
- Kalamees, T., Arumägi, E., Just, A., Kallavus, U., Mikli, L., Thalfeldt, M., . . . Kurik, L. (2011). *Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga : uuringu lõpparuanne*. Tallinn: TTÜ kirjastus.
- Kallavus, U. (2009). Hoonete biokahjustused ja nende tuvastamine. Kasutamise kuupäev: 20. jaanuar 2021. a., allikas Muinsuskaitseamet: <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/hoonete-biokahjustused>
- Keppo, J. (2001). *Palkmaja ehitamine*. (T. Masing, Tõlk.) Tallinn: "Ehitame" kirjastus.
- Kingsepp, S., Pedusaar, H., Pilve, I., & Ustav, H. (2003). *Ehitaja käsiraamat 2003/2004. Puitmaja korrastamine*. Tallinn: Presshouse OÜ.
- Kivit, K. (2010). Palgi vahetus. *Ehitus.ee*. Kasutamise kuupäev: 29. jaanuar 2021. a., allikas <https://www.ehitus.ee/et/article/384/>

- Kull, K. (2014). Kahjustatud puittarindite tugevdamise võimalused. Tartu. Kasutamise kuupäev: 18. jaanuar 2021. a., allikas <https://dSPACE.emu.ee/xmlui/handle/10492/1638>
- Käärid, S. (2004). *Hoonete remont ja rekonstrueerimine 2. osa*. Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool.
- Masso, T. (1991). *Palkmajad. Konstruktsioon ja ehitamine*. Tallinn: [s.n.].
- Palkmaja ehitusest*. (2016). Allikas: Palkmajad: <http://palkmajad.planet.ee/files/palkmajad.pdf>
- Pilt, K. (2010). Puidu eluea lühendajad. *TM Kodu ja Ehitus 1*, 48-51. Kasutamise kuupäev: 25. jaanuar 2021. a., allikas <https://www.kallepilt.ee/wp-content/uploads/2015/01/Puidu-kestvust-v%c3%a4hendavad-tegurid.pdf>
- Pilt, K. (2017). *Ekspert hinnang 3370/1017*.
- Pilt, K., & Kõnsa, K. (2012). Hoonete biokahjustused. Tartu: Atlex.
- Ruukki. (2021). *Classic*. Kasutamise kuupäev: 30. 04 2021. a., allikas <https://www.ruukki.com/est/katuseooted/tooted-ja-teenused/katuseprofiilid/katuse-detailid/classic-c#tehniline-info>
- Sadam, A. (2011). Puidu mardikakahjustused hoonetes. Kasutamise kuupäev: 01. veebruar 2021. a., allikas [http://fabbiproject.eu/userfiles/files/Puidu%20mardikakahjustused%20hoonetes\\_maerts2011.pdf](http://fabbiproject.eu/userfiles/files/Puidu%20mardikakahjustused%20hoonetes_maerts2011.pdf)
- Soodla, J. (2018). *XIX sajandi üürimaja ülesmöödistamine, ehitustehniline ekspertiis ja restaureerimistöde kava Marja 16 näitel*. Master's thesis, Tartu.
- Standardikeskus., E. (2002). *EVS-EN 1990:2002+NA:2002. Eurokoodeks. Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused*.
- Söderberg, U., & Kjellberg, H. (1997). *Rõhtpalkmaja. Hooldus ja parandamine*. (K. Sack, Tõlk.) Stockholm: Rootsi Riigi Muinsuskaitseamet.
- Tec-Science. (13. 07 2018. a.). Destructive material testing & non-destructive testing (NDT). *Material testing*. Kasutamise kuupäev: 30. 04 2021. a., allikas <https://www.tec-science.com/material-science/material-testing/non-destructive-material-testing-ndt/>
- Teder, M. (2018). Ülevaade puithoonete enamlevinud kahjustustest. Mittekahjustavad meetodid puitelementide seisukorra hindamiseks. *Koolituse ettekanne*.

Kasutamise kuupäev: 20. jaanuar 2021. a., allikas

[https://vanaajamaja.ee/download/koolitused/koolitusteettekanded/Puidukahjustused.-Mittekahustavad-meetorid-puitelementide-seisukorra-hindamiseks\\_2.pdf](https://vanaajamaja.ee/download/koolitused/koolitusteettekanded/Puidukahjustused.-Mittekahustavad-meetorid-puitelementide-seisukorra-hindamiseks_2.pdf)

Tohvri, J. (2017). Vastupanu mikropuurimise seos okaspuidu tiheduse ja ristikiudu survepingega. *Magistritöö*. Tartu. Kasutamise kuupäev: 20. jaanuar 2021. a., allikas <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/3295>

Uus, A. (2015). Palkide vahetusest vanades puithoonetes. Tallinn. Kasutamise kuupäev: 29. jaanuar 2021. a., allikas <https://vanaajamaja.ee/download/koolitused/koolitusteettekanded/Palkide%20vahetus.pdf>

Uus, A. (2018). Palgivaetus. *Palkide vahetus vanades hoonetes*. Kasutamise kuupäev: 29. jaanuar 2021. a., allikas Vanaajamaja: <https://vanaajamaja.ee/download/tr%C3%BCKised/Palgivaetus.pdf>

Veski, A. (1969). *Individaalelamute ehitamine*. Tallinn: Valgus.

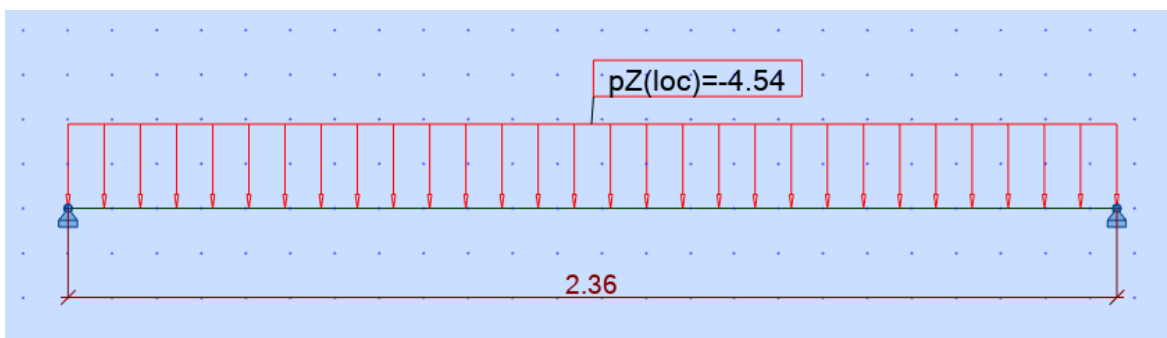
Õiger, K. (2012). *Ehitiste renoveerimine*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus.

Õiger, K. (2015). *Ehitiste renoveerimine*. Tallinn: TTÜ kirjastus.

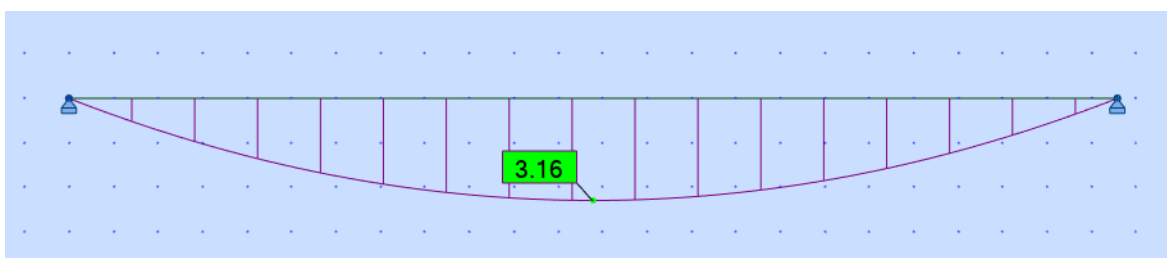
## LISAD

### Lisa 1. Keldri vahelaetala sisejõudude epüürid (kuvatõmmised arvutusprogrammist ARSAP 2022).

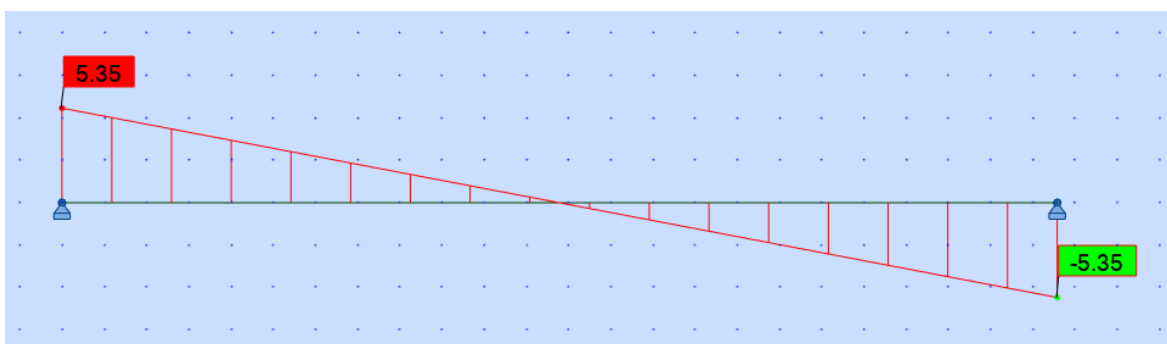
Telgede 1-2 vahel



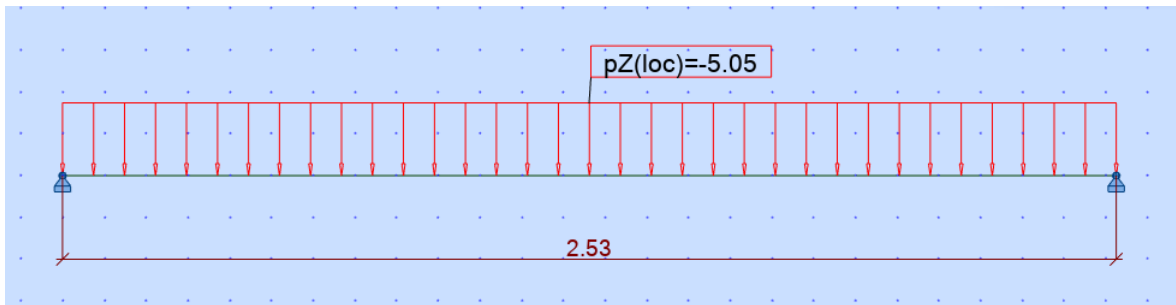
Joonis lisa 1.1 Keldri vahelaetala arvutuskeem telgede 1-2 vahel (kN/m) (ARSAP 2022)



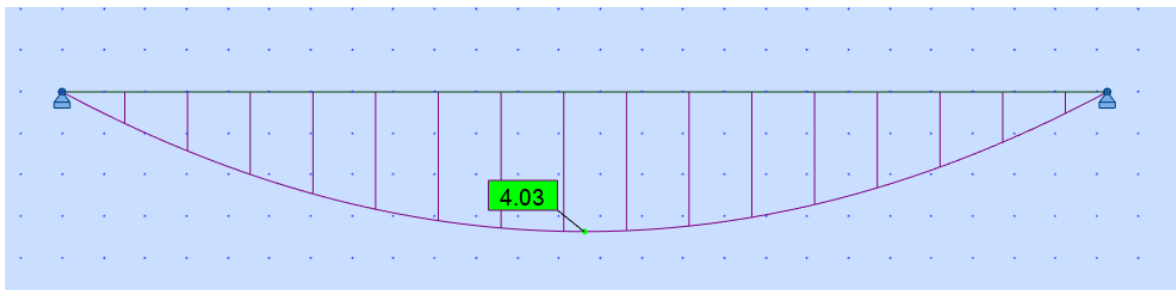
Joonis lisa 1.2 Keldri vahelaetala maksimaalne paindemomendi epüür telgede 1-2 vahel (kNm) (ARSAP 2022)



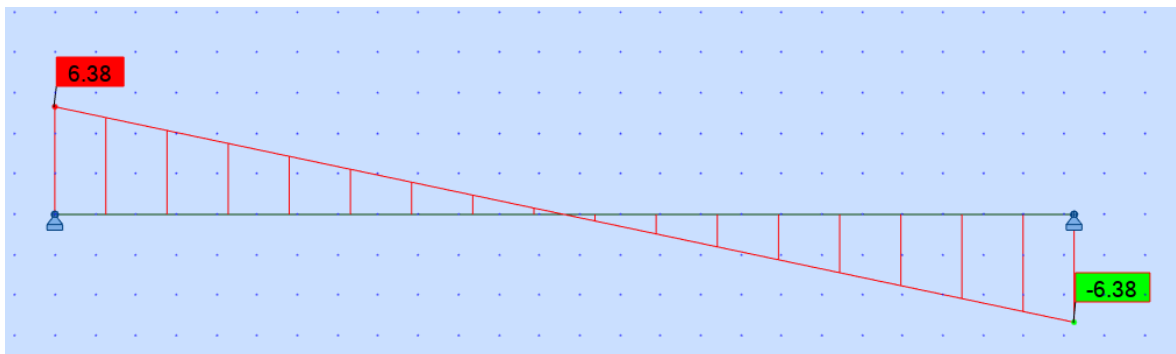
Joonis lisa 1.3 Keldri vahelaetala maksimaalne põikjõu epüür telgede 1-2 vahel (kN)(ARSAP 2022)



Joonis lisa 1.4 Keldri vahelaetala arvutuskeem telgede 2-3 vahel (kN/m) (ARSAP 2022)

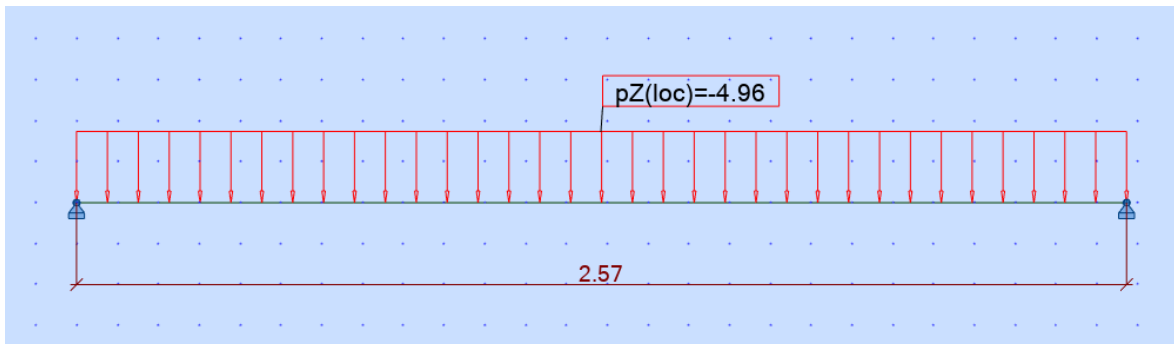


Joonis lisa 1.5 Keldri vahelaetala maksimaalne paindemomendi epüür telgede 2-3 vahel (kNm) (ARSAP 2022)

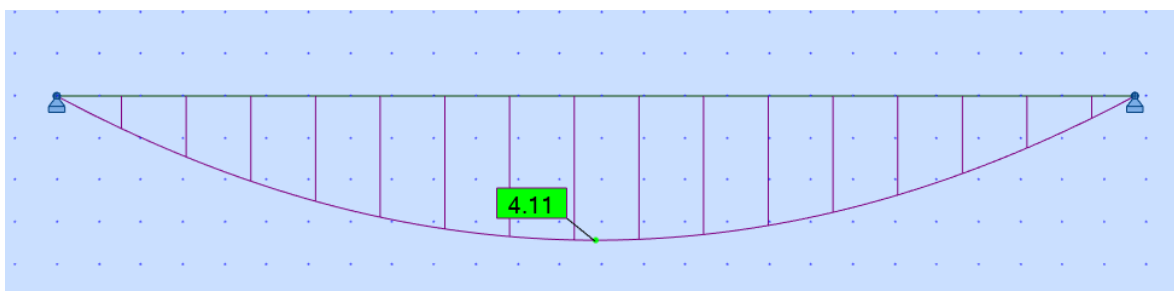


Joonis lisa 1.6 Keldri vahelaetala maksimaalne pöikjõu epüür telgede 2-3 vahel (kN)(ARSAP 2022)

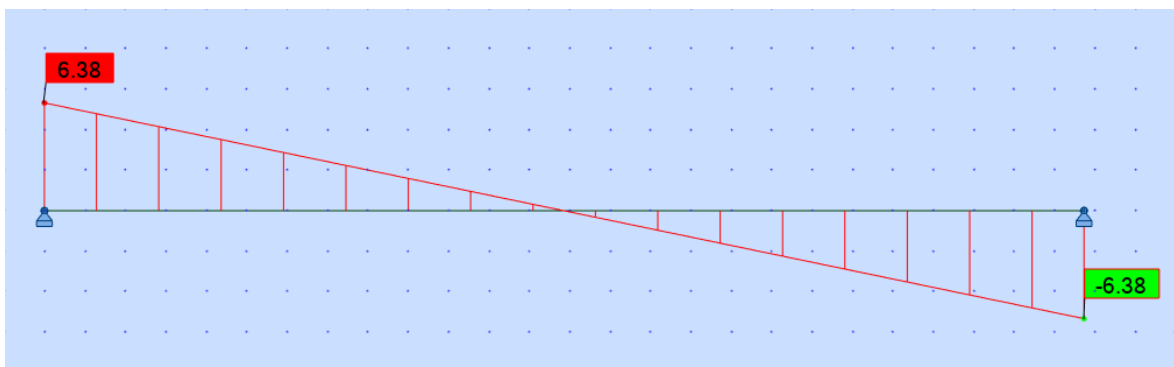




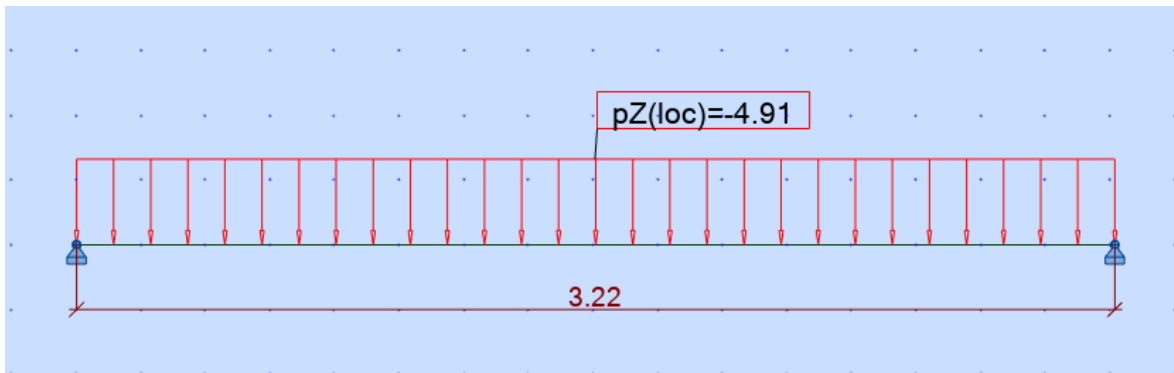
Joonis lisa 1.7 Keldri vahelaetala arvutuskeem telgede 4-5 vahel (kN/m) (ARSAP 2022)



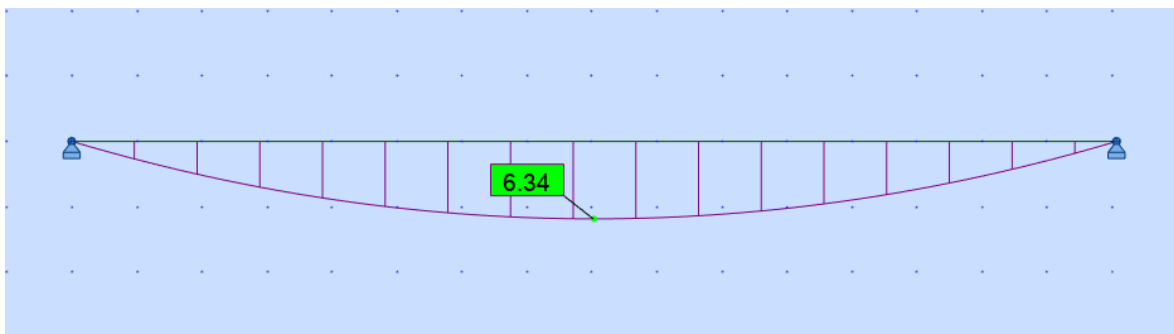
Joonis lisa 1.8 Keldri vahelaetala maksimaalne paindemomendi epüür telgede 4-5 vahel (kNm) (ARSAP 2022)



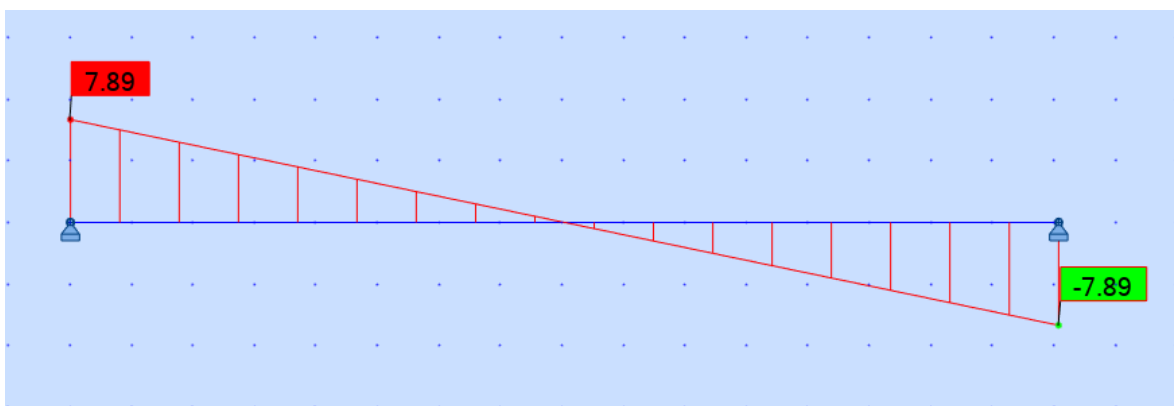
Joonis lisa 1.9 Keldri vahelaetala maksimaalne pöikjõu epüür telgede 4-5 vahel (kN)(ARSAP 2022)



Joonis lisa 1.10 Keldri vahelaetala arvutuskeem telgede 5-6 vahel (kN/m) (ARSAP 2022)



Joonis lisa 1.11 Keldri vahelaetala maksimaalne paindemomendi epüür telgede 5-6 vahel (kNm) (ARSAP 2022)

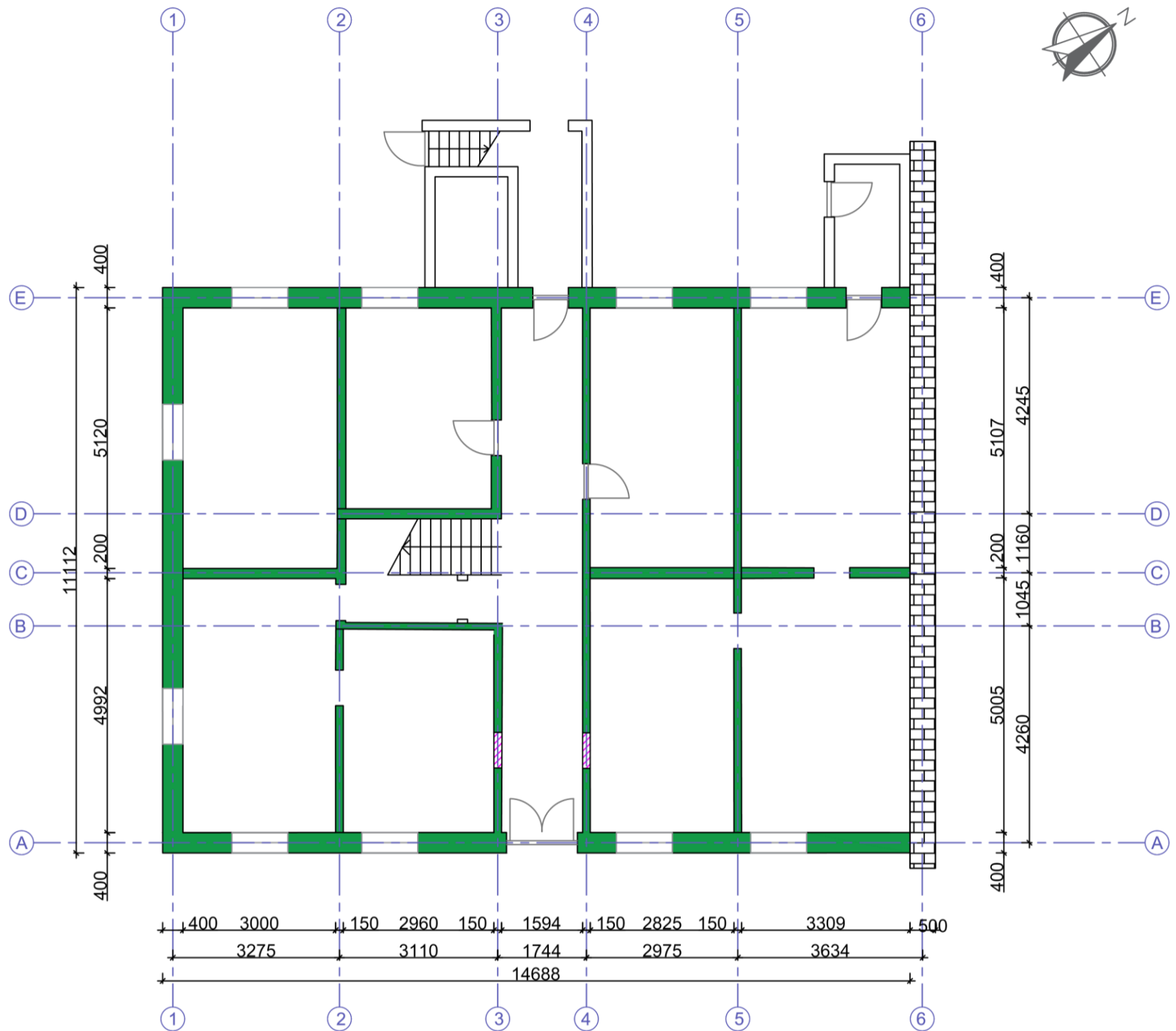


Joonis lisa 1.12 Keldri vahelaetala maksimaalne põikjõu epüür telgede 5-6 vahel (kN)(ARSAP 2022)


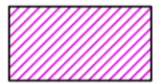

## **Lisa 2. Graafiline osa**

Leht 1	Esimese korruse seinad
Leht 2	Esimese korruse seinte alumised palgid
Leht 3	Teise korruse kandvad seinad
Leht 4	Keldri vahelae konstruktsioonid
Leht 5	Keldri vahelae konstruktsioonide seisukord
Leht 6	Tugipostide asukohad
Leht 7	Teise korruse laekonstruktsioon
Leht 8	Sarikate seisukord
Leht 9	Sarikate asetusplaan
Leht 10	Pööningu lõiked A-A ja B-B
Leht 11	Seintele teostatud vastupanupuurimise asukohad

# Esimese korruse seinad

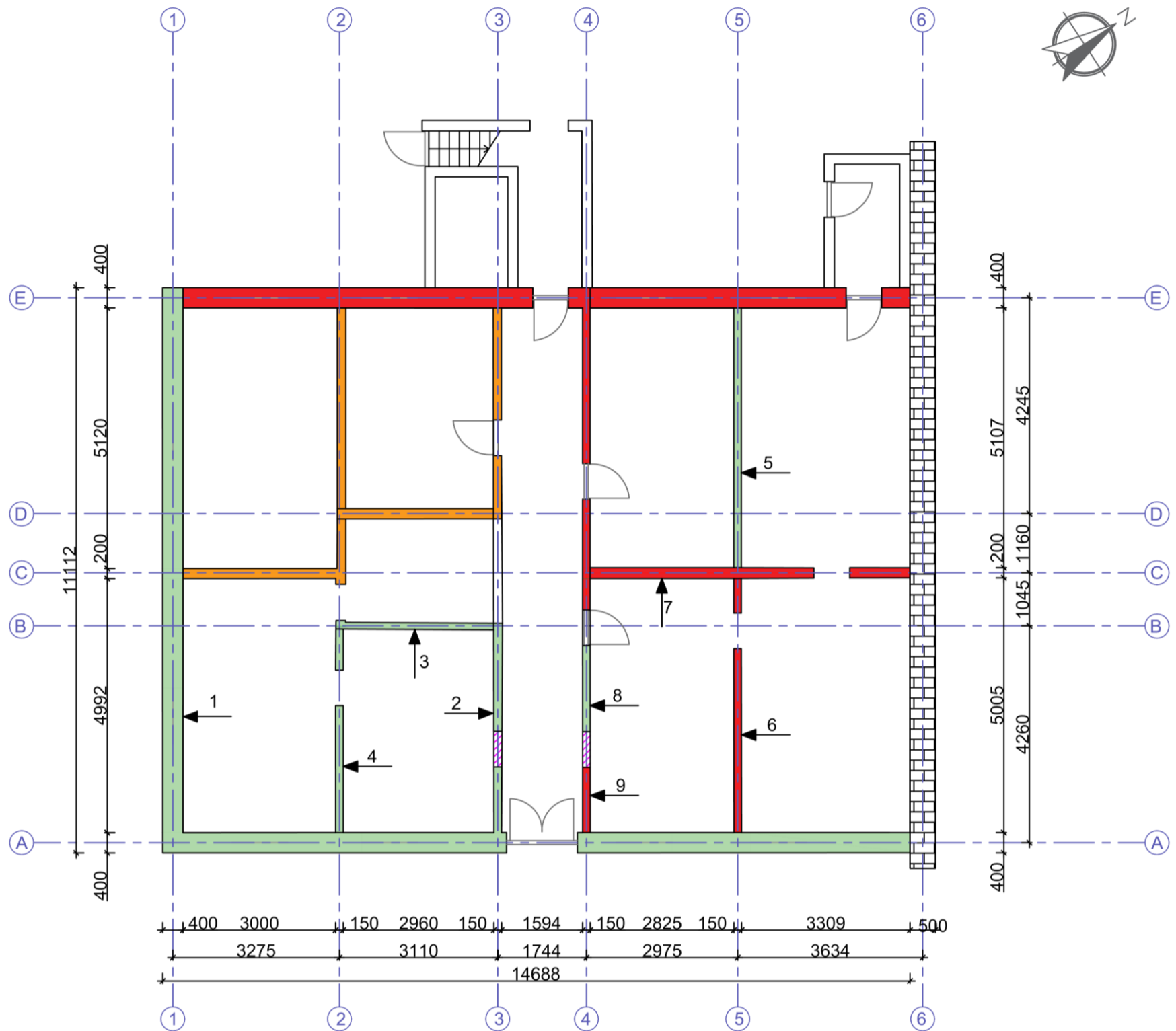


Tingmärgid:

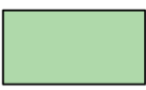



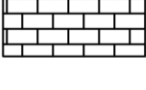

-  - Kandvad seinad
-  - Kinni ehitatud ukseava
-  - Olemasolev tellistest tulemüür

<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>				TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED		
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus:	Inseneriõppe magistritöö	
Juhendaja:	Nele Nutt			Nimetus:	Esimese korruse seinad	
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt			Leht/lehti:	Formaat:	Möötkava:
<b>Tartu Kolledž</b>				<b>1/11</b>	<b>A3</b>	<b>1:100</b>

# Esimese korruse seinte alumised palgid ja nende seisukord

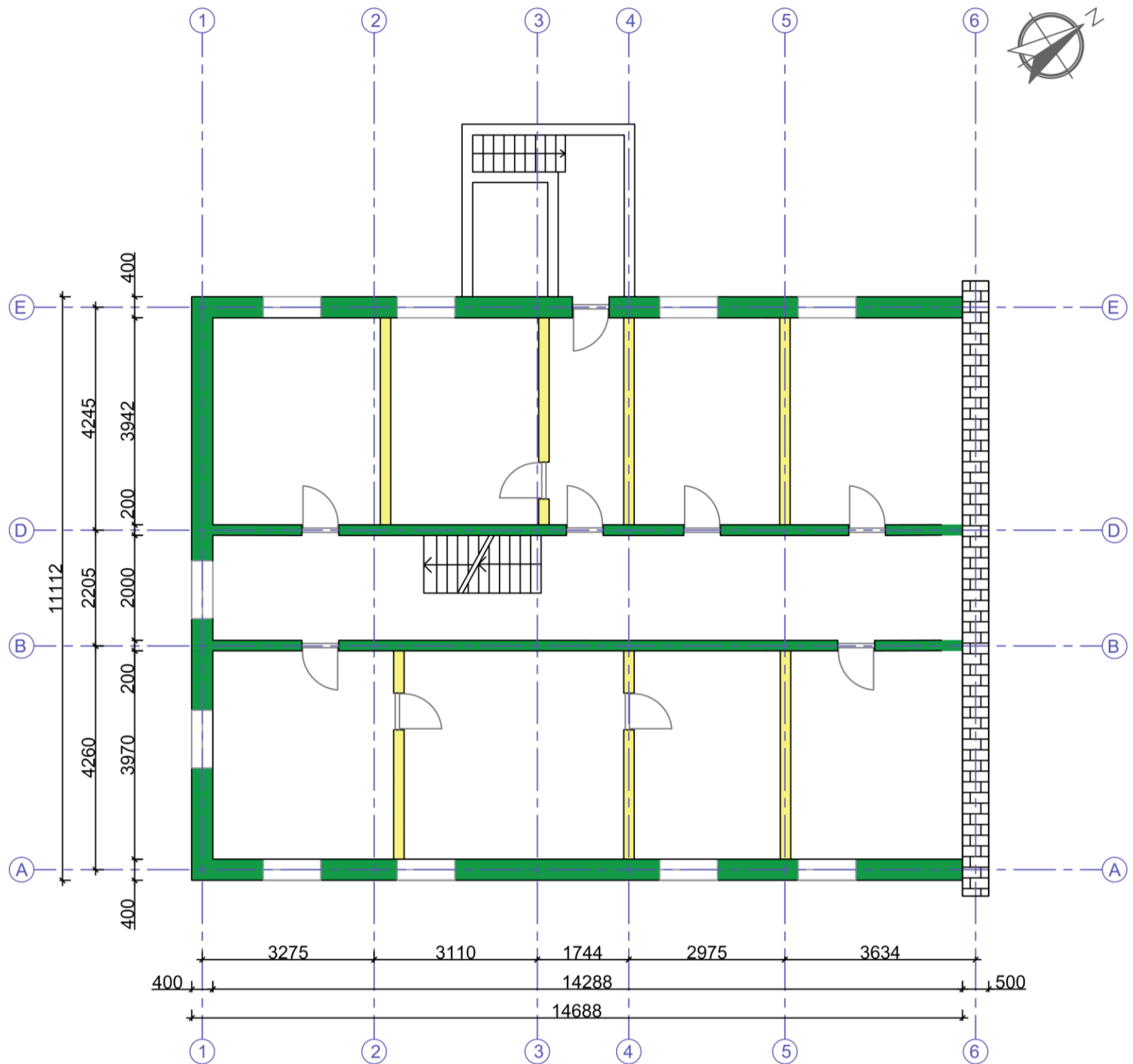


## Tingmärgid:

-  - Rahuldavas seisus alumised palgid
-  - Kahjustunud alumised palgid
-  - Info puudub, kuna puudus ligipääs alumisele palgile
-  - Kinni ehitatud ukseava
-  - Olemasolev tellistest tulemüür
-  - Vastupanupuurimise asukohad ja teostatud puurimise suund

<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>				TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED		
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus: Inseneriõppe magistritöö		
Juhendaja:	Nele Nutt			Nimetus: Esimese korruse seinte alumised palgid ja nende seisukord		
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt			Leht/lehti: 2/11	Formaat: A3	Möötkava: 1:100
<b>Tartu Kolledž</b>						

# Teise korruse seinad



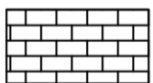
Tingmärgid:



- Kandvad seinad



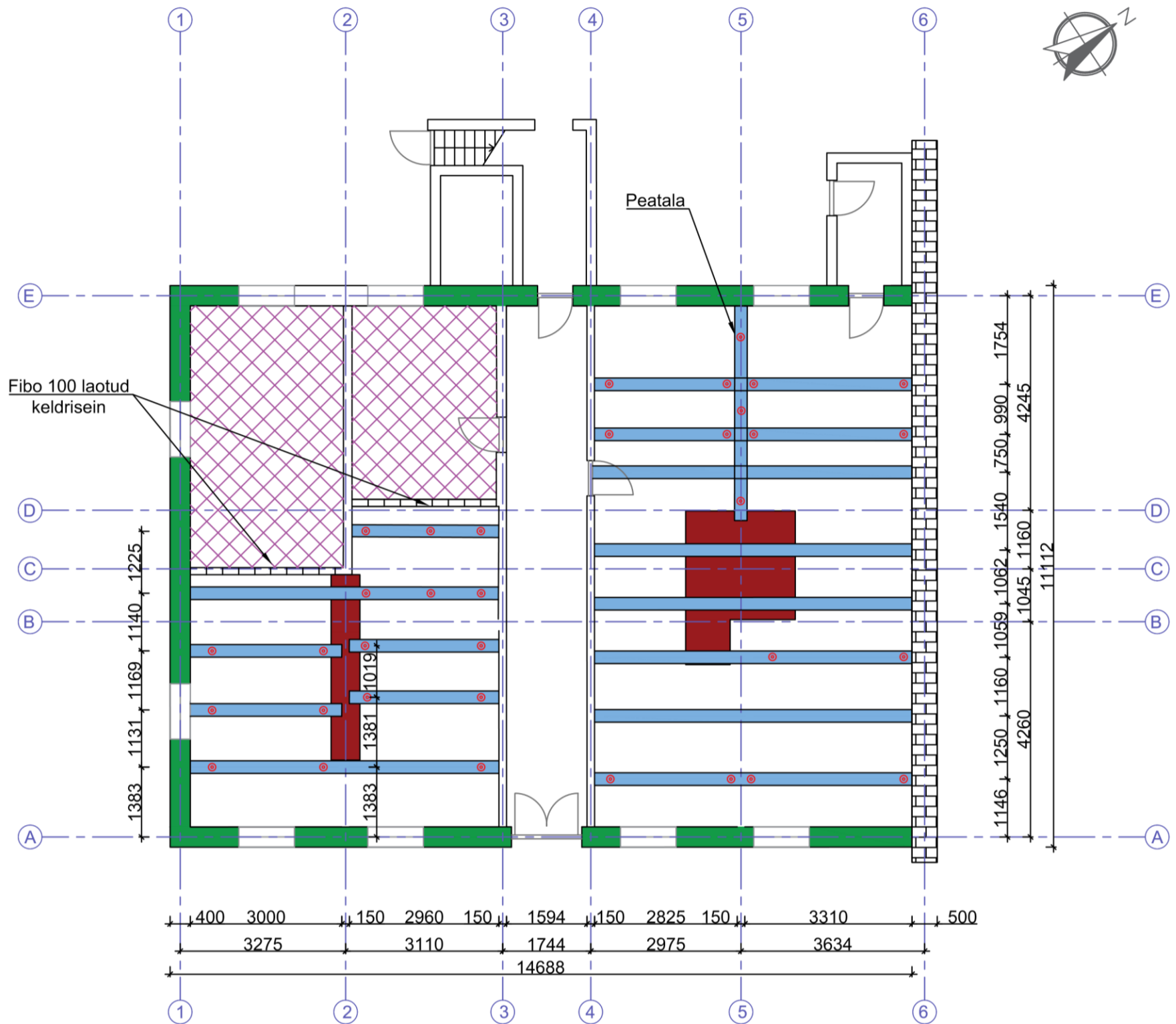
- Mittekandvad seinad



- Olemasolev tellistest tulemür

<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>				TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED		
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus: Inseneriõppe magistritöö		
Juhendaja:	Nele Nutt			Nimetus: Teise korruse seinad		
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt			Leht/lehti:	Formaat:	Möötkava:
<b>Tartu Kolledž</b>				<b>3/11</b>	<b>A3</b>	<b>1:100</b>





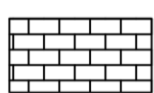
# Keldri vahelae konstruktsioonid



Fibo 100 laotud keldrisein

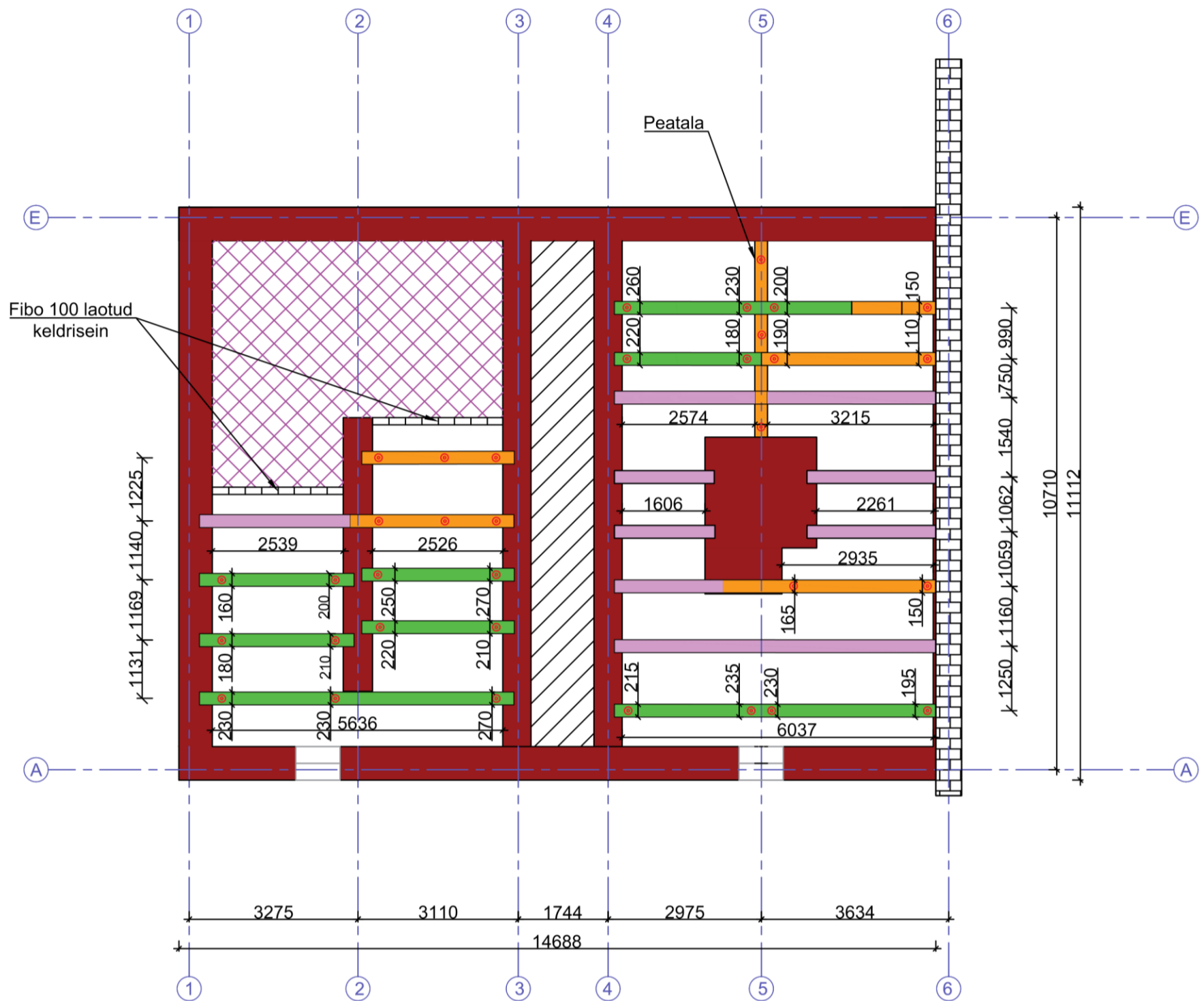
Peatala

Tingmärgid:


-  - Vundament
-  - Välisseinad
-  - Keldri vahelaetalade asukohad
-  - Täis betoneeritud keldri osa
-  - Olemasolev tellistest tulemüür

<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>				TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED		
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus: Inseneriõppe magistritöö		
Juhendaja:	Nele Nutt			Nimetus: Keldri vahelae konstruktsioonid		
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt			Leht/lehti:	Formaat:	Möötkava:
<b>Tartu Kolledž</b>				4/11	A3	1:100

# Keldri vahelae konstruktsiooni seisukord



## Tingmärgid:

-  - Vundament
-  - Täis betoneeritud keldri osa
-  - Suletud osa
-  - Vahetust vajavad palgid/palgi osad
-  - Puudu olevad palgid
-  - Rahuldava jääkristlõikega palgid
-  - Asukoht, kus teostati vastupanupuurimine

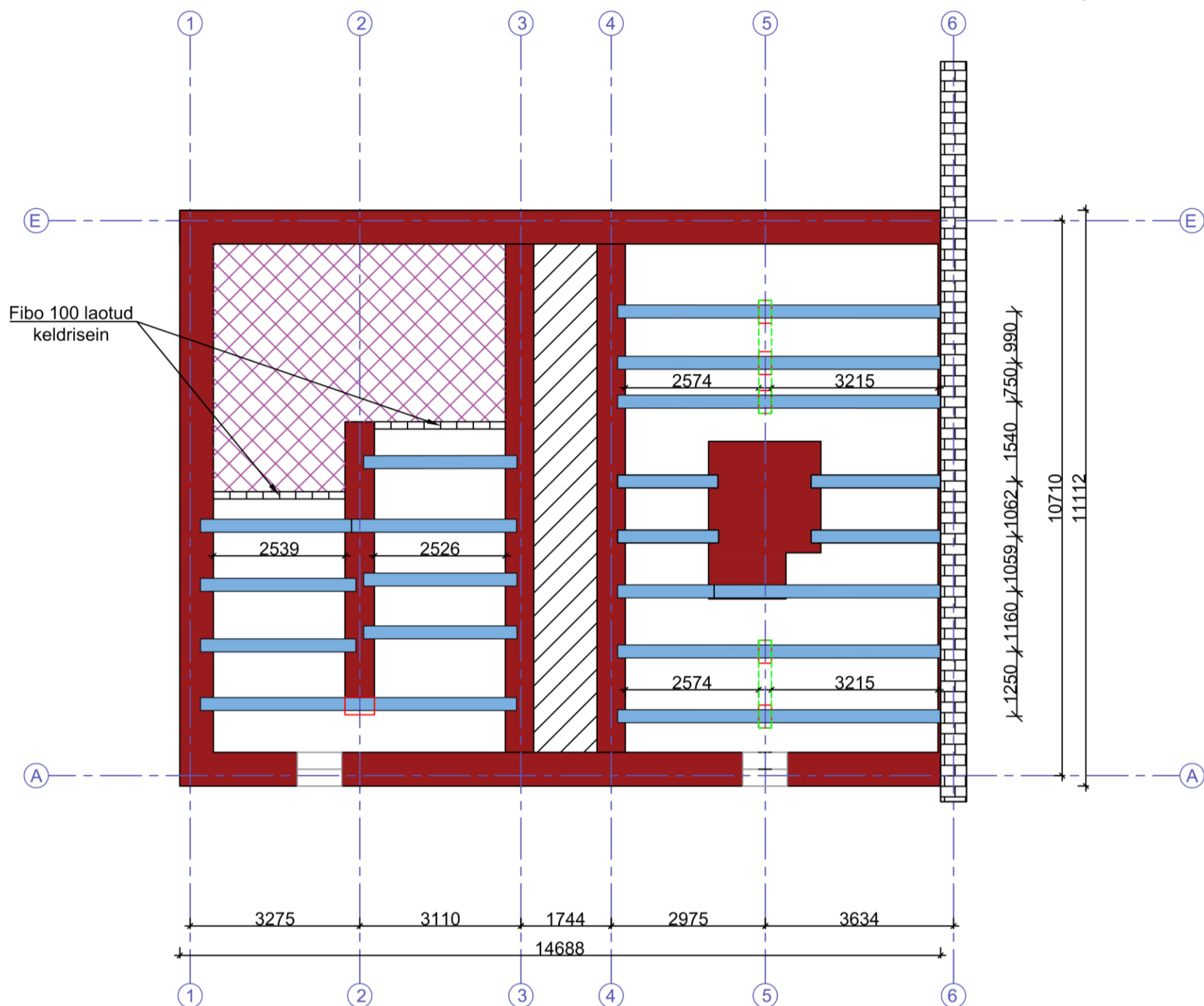
## Märkused:

1. Iga puurimise asukohta juurde on märgid ka antud koha jääkristlõige.







<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>				TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED		
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus: Inseneriõppe magistritöö		
Juhendaja:	Nele Nutt			Nimetus: Keldri vahelae konstruktsiooni seisukord		
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt			Leht/lehti:	Formaat:	Möötkava:
<b>Tartu Kolledž</b>				5/11	A3	1:100



# Tugipostide asukohad



## Tingmärgid:

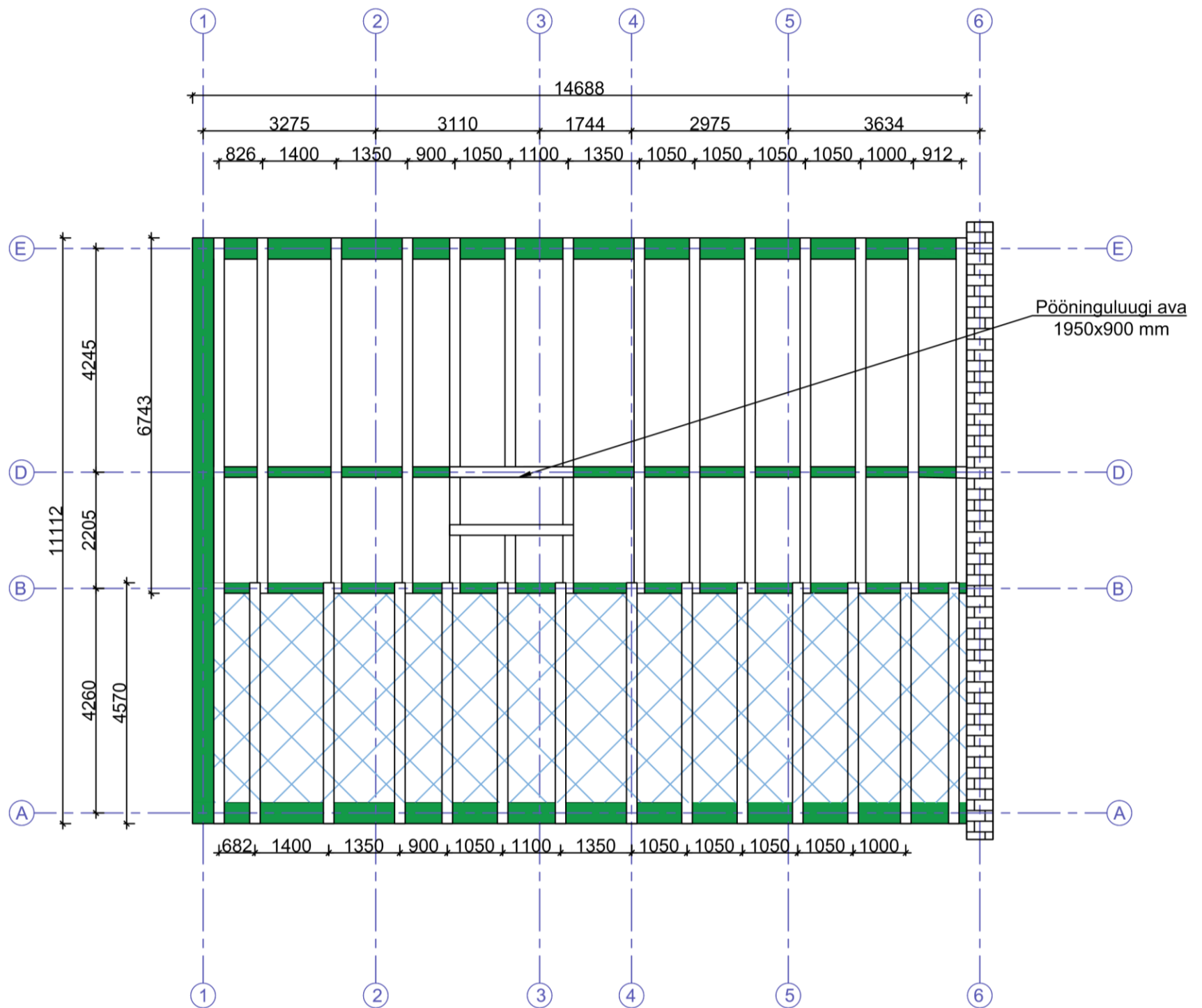
-  - Vundament
-  - Talade asukohad
-  - Täis betoneeritud keldri osa
-  - Suletud osa
-  - Soovituslikud tugipostide asukohad
-  - Soovituslik lisa vundamenti asukoht

## Märkused:

1. Tugipostide asemel võib vana peatala asendada ka uue palgiga või rajada toeks vundament, et talade sille ei oleks liiga suur.

<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>				TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED		
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus: Inseneriõppe magistritöö		
Juhendaja:	Nele Nutt			Nimetus: Keldri vahelae konstruktsiooni seisukord		
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt			Leht/lehti:	Formaat:	Möötkava:
<b>Tartu Kolledž</b>				<b>6/11</b>	<b>A3</b>	<b>1:100</b>

# Teise korruse laekonstruktsioon



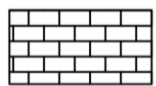
## Tingmärgid:



- 2. korruse kandvad seinad



- Avatud 2. korruse laekonstruktsioon



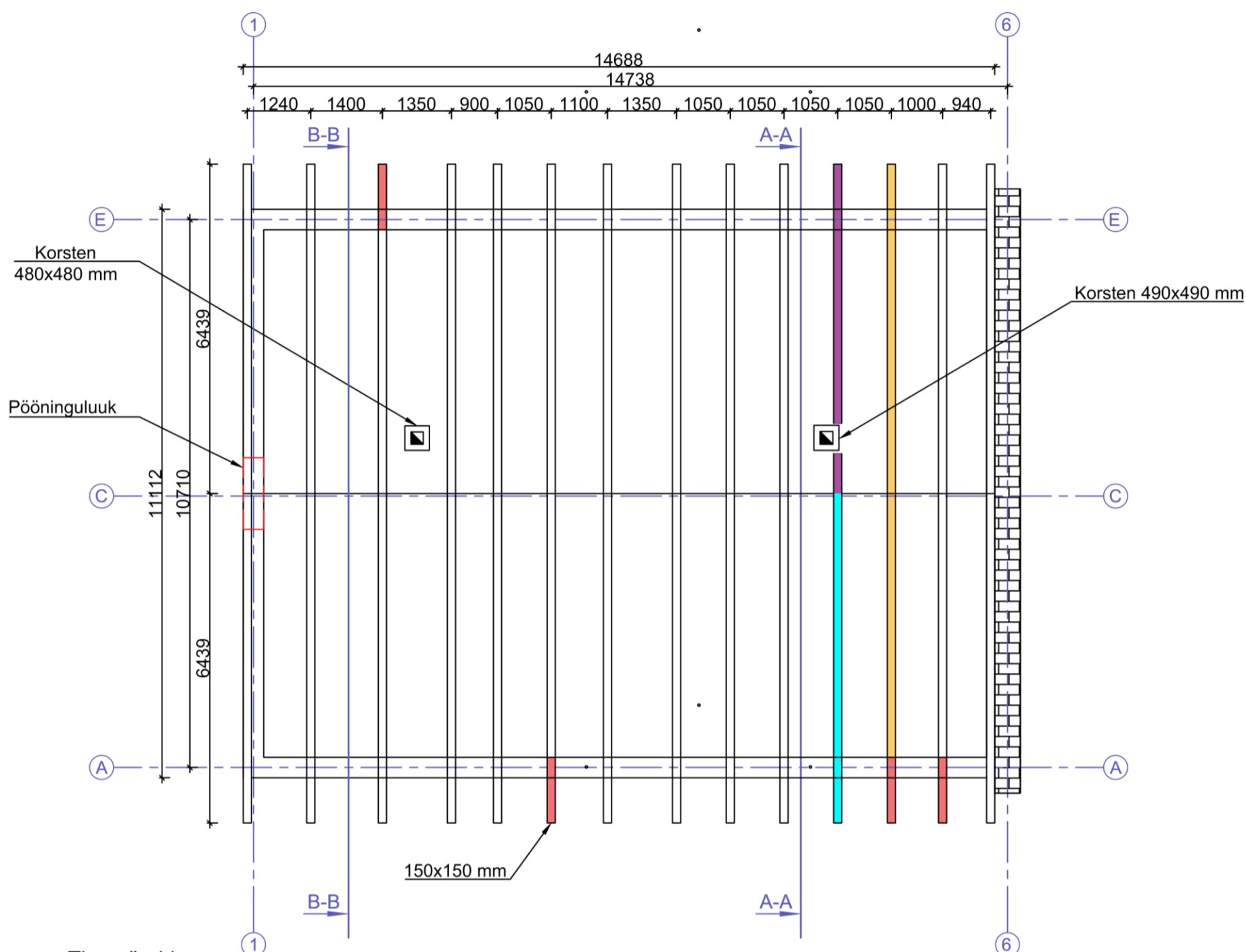
- Olemasolev tellistest tulemüür

## Märkused:

1. Kõik laetalade ühenduskohad tuleb ühendada nii omavahel kui ka sarikatega, kasutades koba.
2. A-B telgede vahel olev vahelaekonstruktsioon on avatud. B-E telgede vahel olev vahelaekonstruktsioon ei ole avatud ja on ehitusaegse soojustusega.
3. Vahelaetalad on tehtud ümarpalkidest ristlõikega 200 mm.

<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>						
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:			
Juhendaja:	Nele Nutt			Nimetus:	Inseneriõppe magistritöö	
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt			Nimetus:	Teise korruse laekonstruktsioon	
<b>Tartu Kolledž</b>				Leht/lehti:	Formaat:	Möötkava:
				7/11	A3	1:100

# Sarikate seisukord



Tingmärgid:

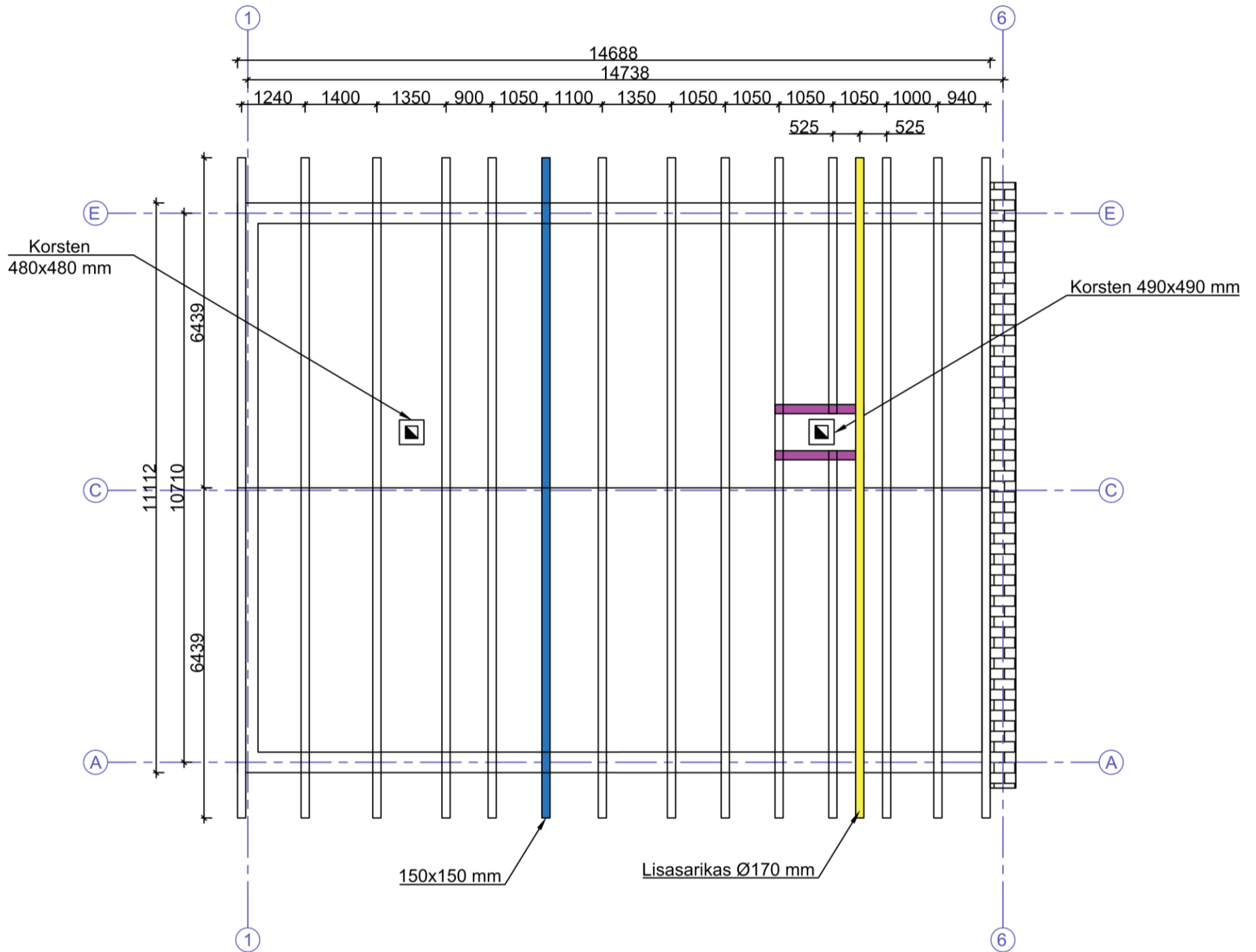
- Vekseldamist vajavad sarika osad
- Tapp-punniite ühendusest lahti läinud sarikad
- Ilma pennita sarikas
- Niiskuskahjustusega sarika otsad

Märkused:

1. Pööningu lõiked A-A ja B-B on välja toodud eraldi joonisel, vt leht 9.

<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>				TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED		
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus:	Inseneriõppe magistritöö	
Juhendaja:	Nele Nutt			Nimetus:	Sarikate seisukord	
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt			Leht/lehti:	8/11	Formaat:
<b>Tartu Kolledž</b>					A3	Möötkava:
						1:100

# Katusekonstruktsioonide asetusplaan



## Tingmärgid:



- Kõige väiksema ristlõikega sarika asukoht



- Lisa sarikapaaari asukoht



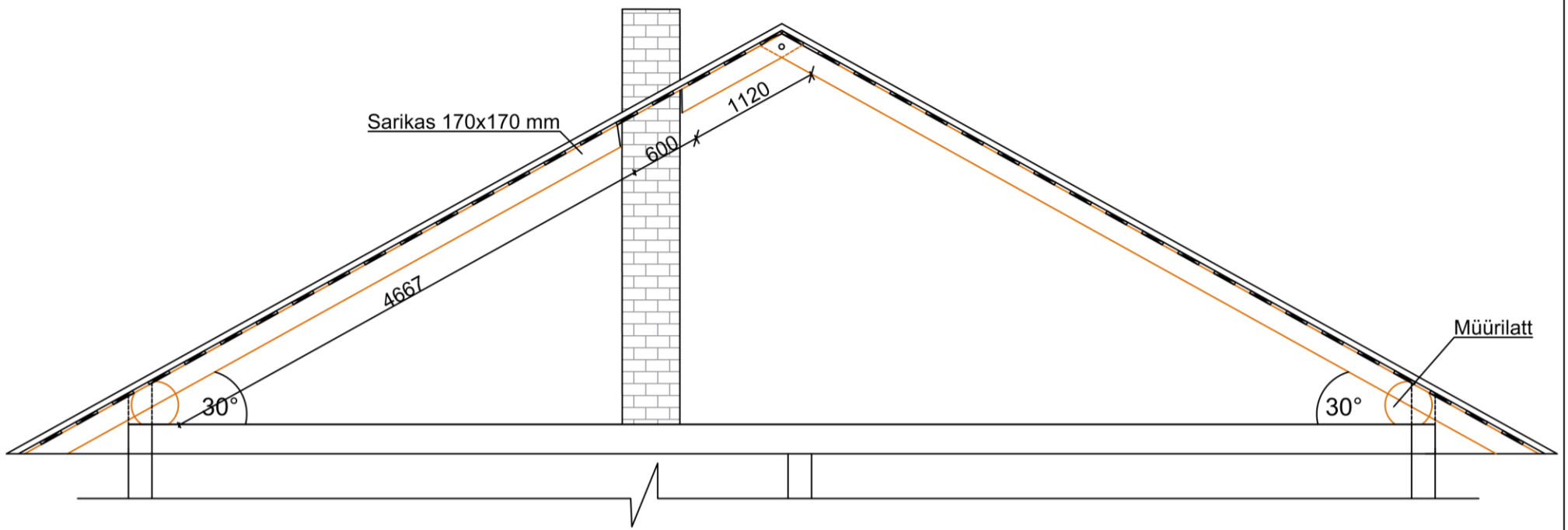
- Vekseltalade asukoht

## Märkused:

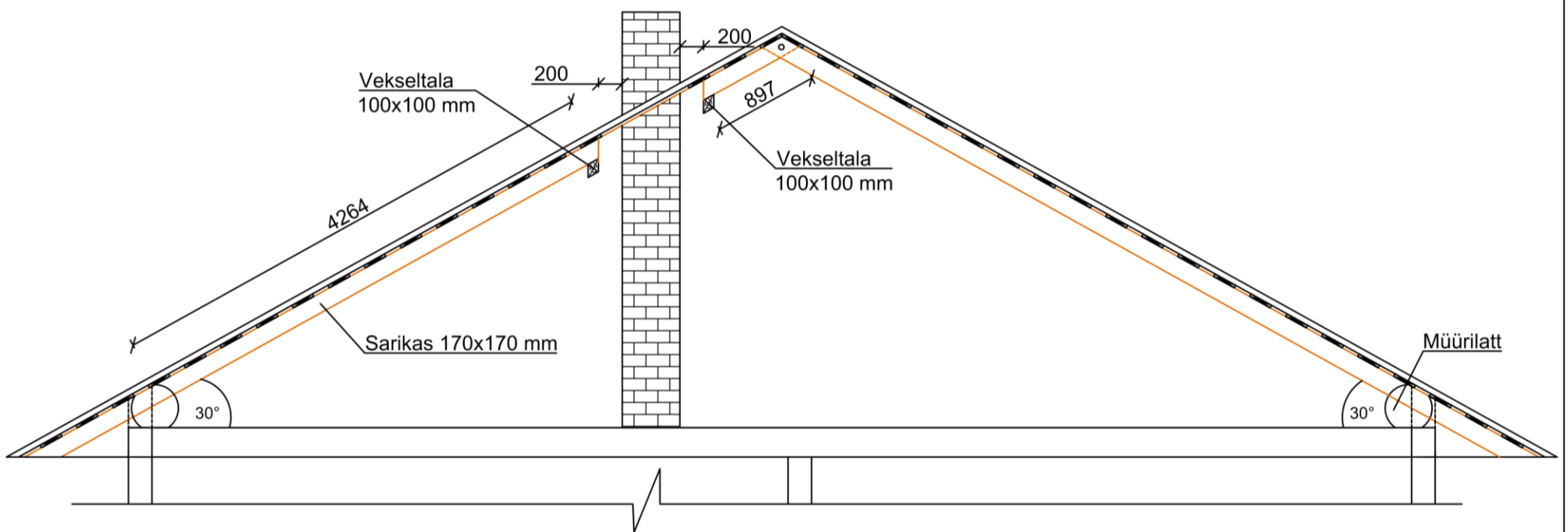
1. Lisasarikapaar tuleb omavahel ühendada penniga. Ühenduseks kasutada pooltapp-punniidid.

<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>				TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED		
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus: Inseneriõppe magistritöö		
Juhendaja:	Nele Nutt			Nimetus: Katusekonstruktsioonide asetusplaan		
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt			Leht/lehti:	Formaat:	Möötkava:
<b>Tartu Kolledž</b>				9/11	A3	1:100

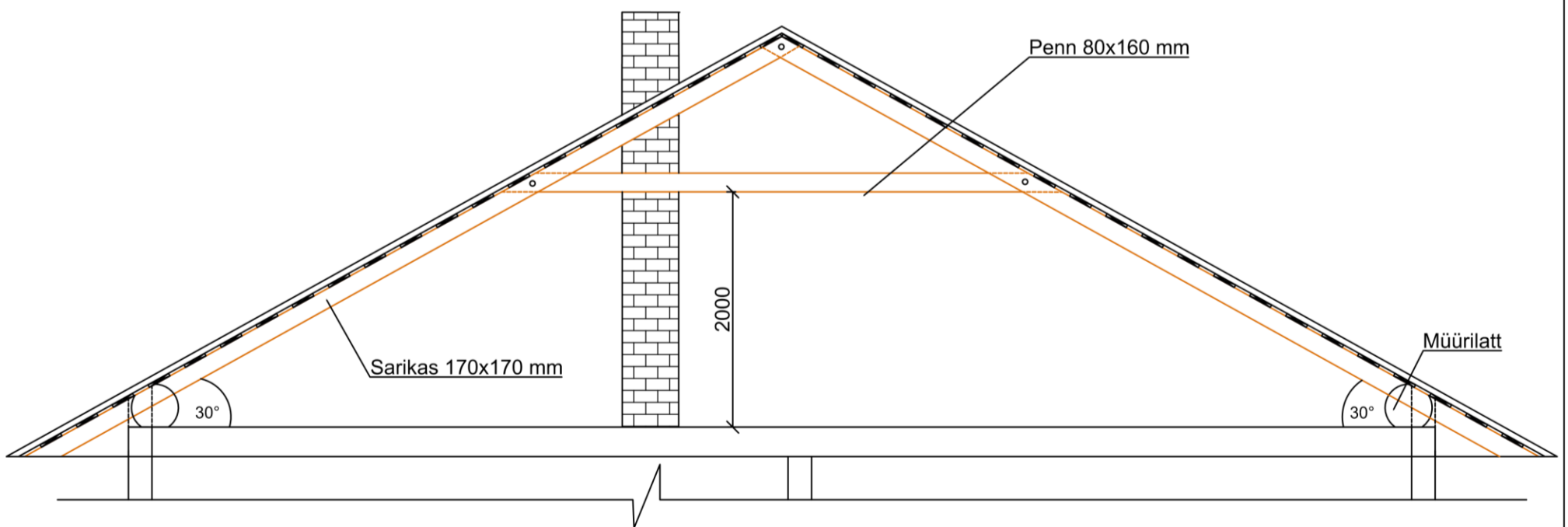
## Pööningu lõige A-A



## Pööningu lõige A-A pärast restaureerimistööd



## Pööningu lõige B-B



### TALTECH INSENERITEADUSKOND

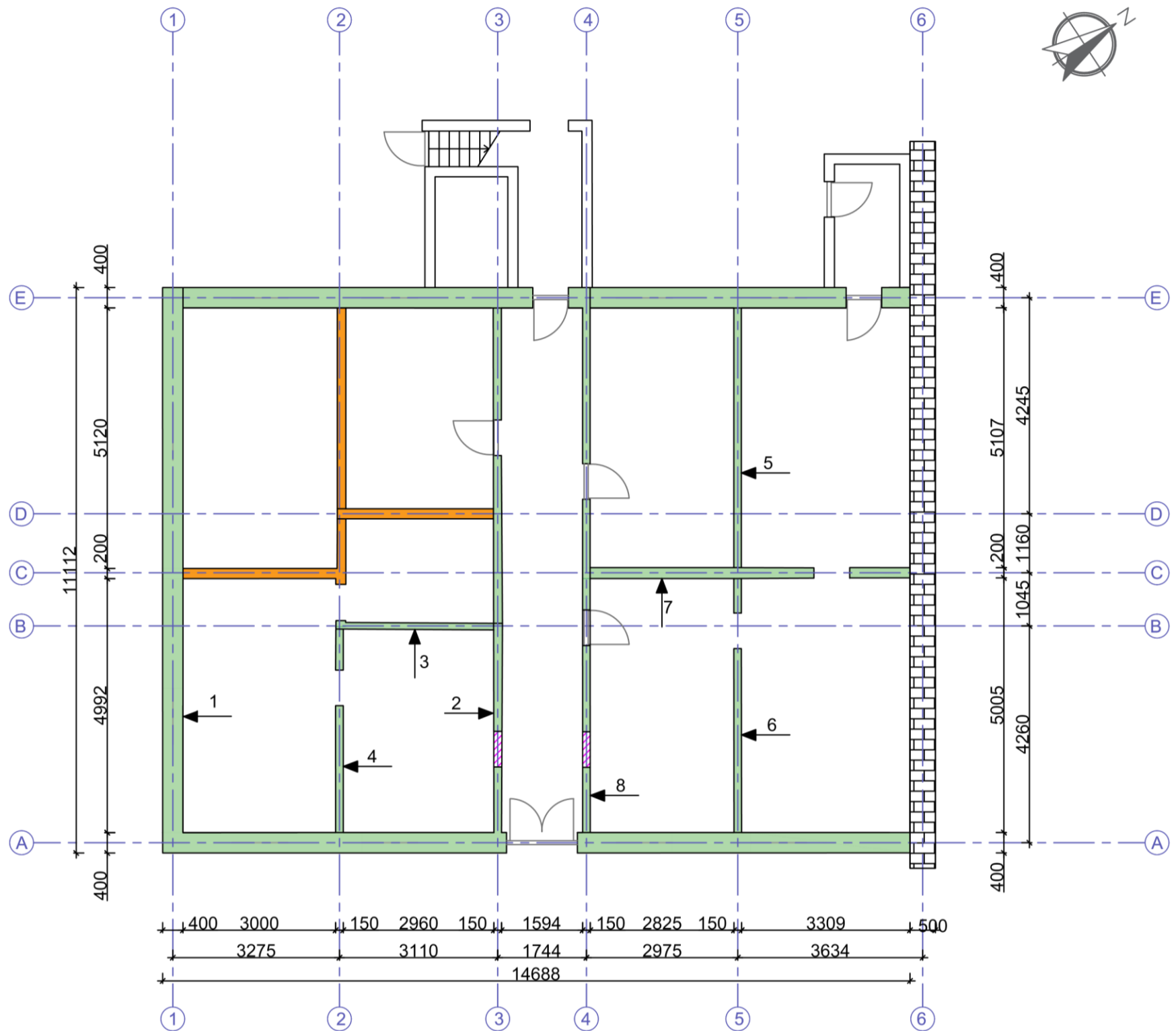
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:
Juhendaja:	Nele Nutt		
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt		

Tartu Kolledž

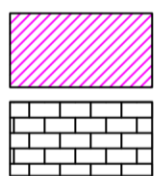
TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU  
PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA  
HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA  
RESTAUREERIMISLAHENDUSED

Nimetus:	Inseneriõppe magistritöö		
Nimetus:	Pööningu lõiked A-A ja B-B		
Leht/lehti:	10/11	Formaat:	A4
Möötkava:			1:50

# Seintele teostatud vastupanupuurimise asukohad



## Tingmärgid:



- Kinni ehitatud ukseava
- Olemasolev tellistest tulemüür
- Vastupanupuurimise asukohad ja teostatud puurimise suund

## Märkused:

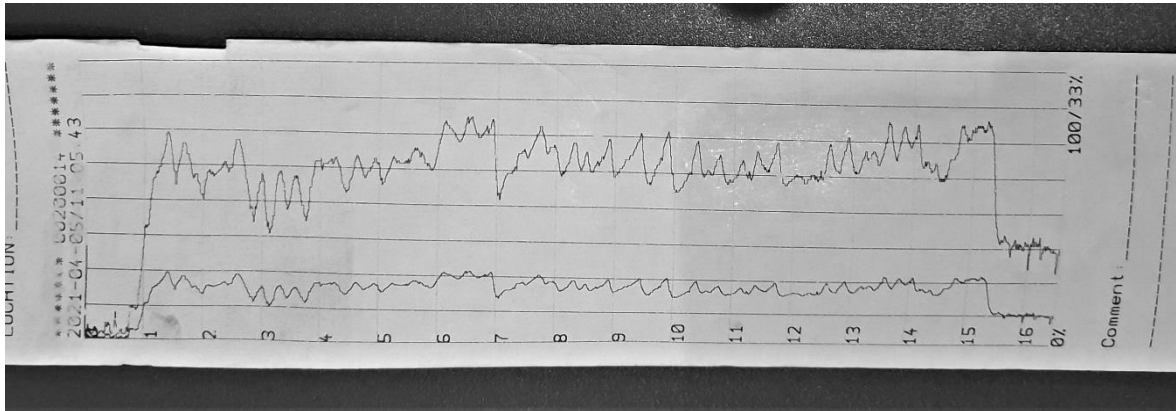
1. Vastupanupuurimine teostati seinte alumistele palkidele, mis asuvad vundamendi peal.
2. Vastupanupuurimisel tulemuseks saadud graafikud on esitatud töö lisan 3.

<b>TALTECH INSENERITEADUSKOND</b>				TARTU, MARJA 16 KORTERELAMU PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA HINDAMINE, TUGEVUSARVUTUSED JA RESTAUREERIMISLAHENDUSED			
Koostaja:	Ragne Suvinõmm	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus: Inseneriõppe magistritöö			
Juhendaja:	Nele Nutt				Nimetus: Seintele teostatud vastupanupuurimise asukohad		
Kaasjuhendaja:	Kalle Pilt				Leht/lehti:	Formaat:	Möötkava:
<b>Tartu Kolledž</b>				<b>11/11</b>	<b>A3</b>	<b>1:100</b>	

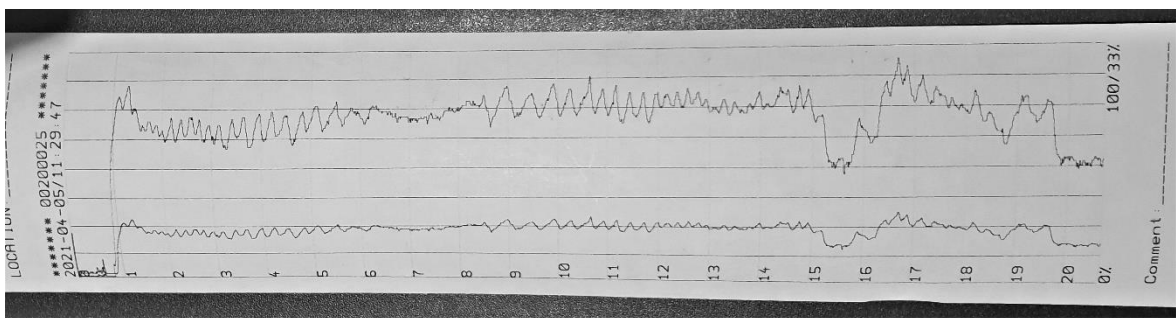


## Lisa 3. Seinte alumiste palkide vastupanupuurimisel tulemuseks saadud graafikud

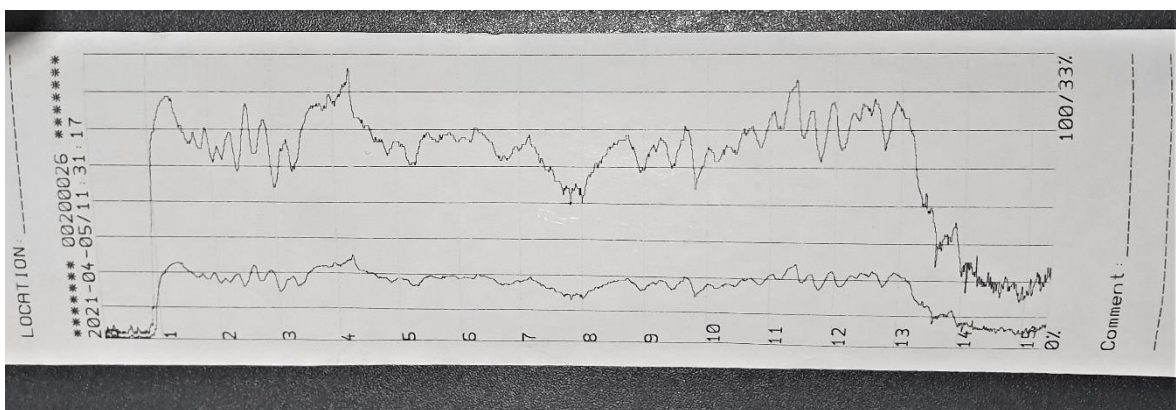
Kõik seinte alumistele palkidele teostatud vastupanupuurimiste suunad ja asukohad on näidatud too lisa 2, joonisel 11.



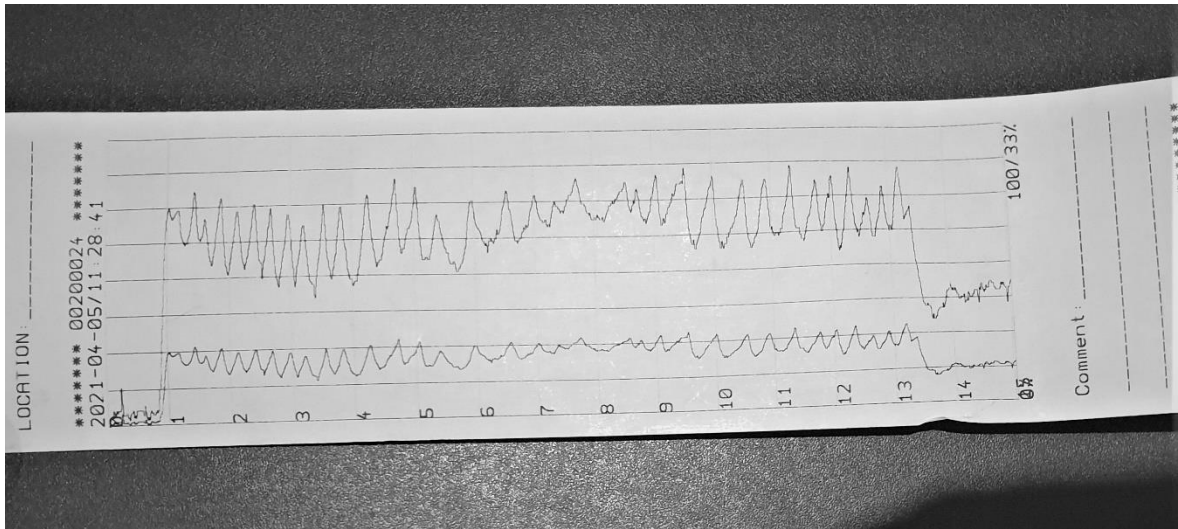
Joonis lisa 3.1 Vastupanupuurimise nr 1 graafik (autori foto)



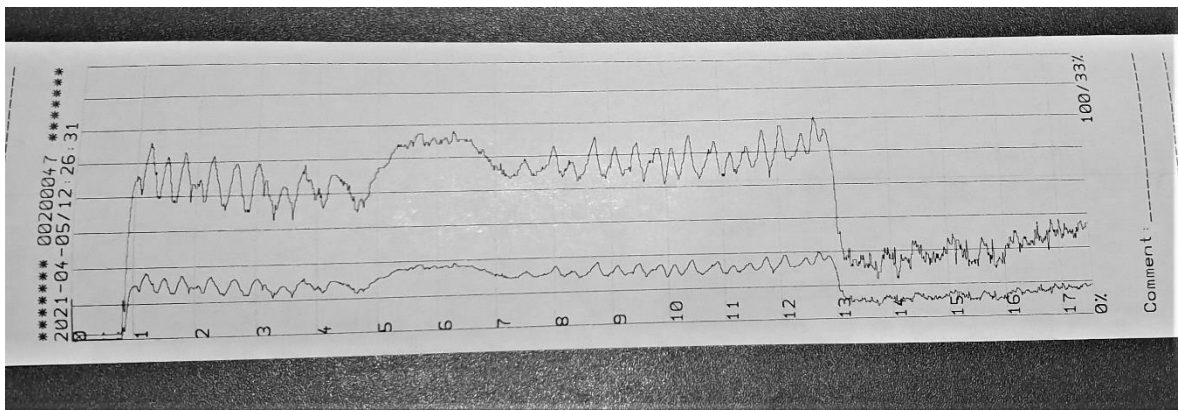
Joonis lisa 3.2 Vastupanupuurimise nr 2 graafik (autori foto)



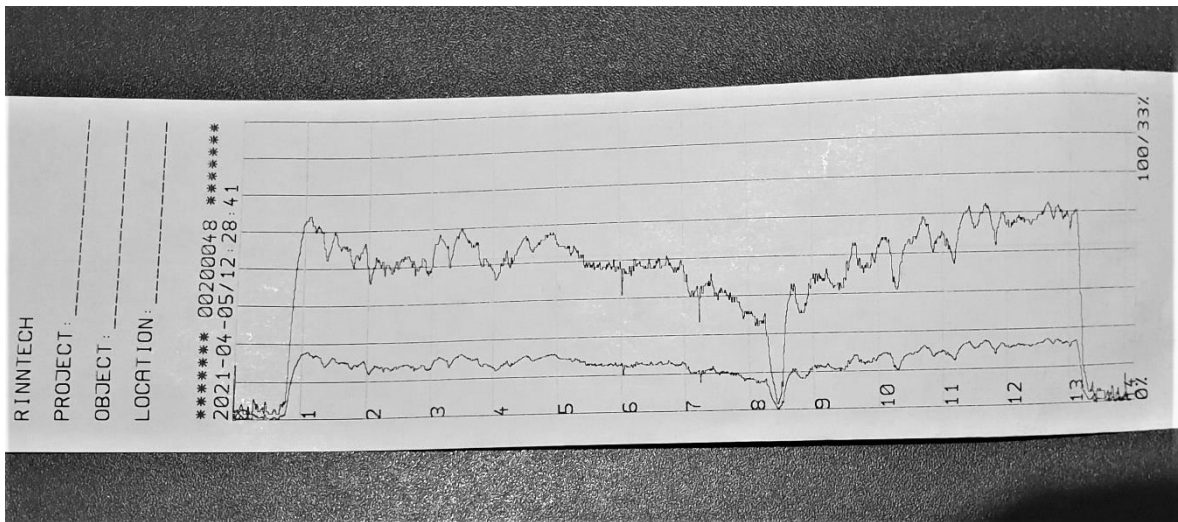
Joonis lisa 3.3 Vastupanupuurimise nr 3 graafik (autori foto)



Joonis lisa 3.4 Vastupanupuurimise nr 4 graafik (autori foto)



Joonis lisa 3.5 Vastupanupuurimise nr 5 graafik (autori foto)



Joonis lisa 3.6 Vastupanupuurimise nr 6 graafik (autori foto)



