



TALLINNA
TEHNIKAKÕRGKOO

Kätlin Vaarmaa

**TOOTMIS-LAOHOONE
KONSTRUKTSIOONIDE KANDEVÕIME
ANALÜÜS HOONE HEITEVABAKS
REKONSTRUEERIMISE KORRAL**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2024

Kätlin Vaarmaa

**TOOTMIS-LAOHOONE
KONSTRUKTSIOONIDE KANDEVÕIME
ANALÜÜS HOONE HEITEVABAKS
REKONSTRUEERIMISE KORRAL**

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut

Hoonete ehitus

Juhendaja: Andres Kuningas, *MSc*

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kätlin Vaarmaa

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Tootmis-laohoone konstruktsioonide kandevõime analüüs hoone heitevabaks
rekonstrueerimise korral

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Kätlin Vaarmaa
tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.
Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Andres Kuningas

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjades)

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1 HOONE KIRJELDUS	7
1.1 Üldkirjeldus	7
1.2 Lõputöö tegemise metoodika	8
1.3 Kitsendused.....	8
1.4 Hoones varasemalt läbi viidud rekonstrueerimistööd	8
1.5 Rekonstrueerimise põhjendus	9
2 HOONE PIIRETE KIRJELDUS JA HINNANG	10
2.1 Sokkel ja vundament.....	10
2.2 Põrandad	10
2.3 Välisseinad ja siseseinad	11
2.4 Katus.....	12
2.5 Avatäited	13
2.6 Tehnosüsteemid	13
3 REKONSTRUEERIMISE ETTEPANEKUD	15
3.1 Sokkel ja vundament.....	15
3.2 Põrandad	15
3.3 Välisseinad	16
3.4 Katus.....	16
3.5 Avatäited	17
3.6 Tehnosüsteemid	17
4 REKONSTRUEERITUD HOONE ARVUTUSLIK ENERGIATÕHUSUS.....	18
4.1 Hoone välispiirete soojusläbivuste arvutusmetoodika	18
4.1.1 Seinte ja katuslae soojusläbivus	18
4.1.2 Põranda soojusläbivus	19
4.2 Hoone välispiirete soojusläbivused	19
4.2.1 Välisseinte soojusläbivus.....	19
4.2.2 Katuslae soojusläbivus.....	21
4.2.3 Põranda soojusläbivus	22
4.2.4 Akende ja uste soojusläbivus.....	23
4.3 Hoone soojuserikaod	23
4.3.1 Juhtivuslik soojuserikadu	24
4.3.2 Külmasilla soojuserikadu.....	24
4.3.3 Õhulekke soojuserikadu	25
4.3.4 Ventilatsiooni soojuserikadu	25
4.4 Rekonstrueeritud hoone kütelahendus	25

4.5	IDA ICE analüüsi kirjeldus	26
4.6	Suvised temperatuuri kontroll.....	26
4.7	Päiksepaneelide vajadus	27
4.8	Arvutuslik energiamärgis.....	28
5	KONSTRUKTSIOONIDE KANDEVÕIME KONTROLLID	29
5.1	Kandva posti kandevõime kontrolli meetoodika	29
5.1.1	Tähiste loetelu	29
5.1.2	Kandva posti kandevõime kontrolli meetoodika	29
5.2	Hoonele mõjuvad koormused	31
5.2.1	Tuulekoormus	31
5.2.2	Lumekoormus	35
5.3	Posti kandevõime kontroll päiksepaneelide paigalduse korral	35
5.3.1	Päiksepaneelide ballasti vajadus	36
5.3.2	Ribipaneelidele mõjuv koormus	36
5.3.3	Talale mõjuvad koormused ja tekkivad sisejõud	37
5.3.4	Posti ristlõike survekandevõime kontroll.....	40
5.4	Kandevõime kontroll lisa korruse ehituse korral.....	41
5.4.1	Hooneosale mõjuv koormus	43
5.4.2	Planeeritava lisakorruse konstruktiivsed koormused	44
5.4.3	Posti kandevõime kontroll	46
	KOKKUVÕTE	48
	SUMMARY.....	49
	VIIDATUD ALLIKAD	50
	LISAD	52
	Lisa 1. Soojuserikaod vastavalt ruumile	52
	Lisa 2. Energiamärgise arvutus.....	54
	Lisa 3. Hoone plaan kontrollitavate postidega	56

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö käigus analüüsitakse Raplas asuvat tootmis-laohoonet, mis on esialgselt ehitatud 1960ndatel Päästekomando laiendusena, kuid mida pole varasemalt suuremas mahus renoveeritud. Hoonel puhul on palju nähtavaid kahjustusi. Hoone praegusest olukorrast tehakse analüüs ning inventariseeritakse kogu hoone, kuna mitte kandvate siseseinade osas on tehtud suures mahus muudatusi. Lisaks kontrollitakse inventariseerimise käigus hoone gabariidid ja konstruktsiooni elementide paiknemine.

Seoses kliimasoojenemisega on kehtestatud Euroopa Liidus ja globaalselt erinevaid määruseid, mille lõppeesmärk on pidurdada kliimasoojenemist. Ühe suure eesmärgina plaanitakse renoveerida olemasolev hoonefond ja saavutada heitevaba hoonefond hiljemalt sajandi keskpaigaks, et vähendada koormust keskkonnale. Võttes arvesse uuritava hoone välispiirdeid, tehnosüsteeme ja hetke olukorda, siis on antud hoonele vaja teostada ulatuslik rekonstruktsioon. Lõputöös tuuakse välja võimalused kuidas parandada välispiirete energiatõhusust ja energiatõhusamad tehnosüsteemi lahendused. Koostatakse energiatõhususe analüüs hoonele vastavalt määrusel „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“.

Energiatõhususe analüüsi käigus selgitatakse välja, mitu päiksepaneeli on vajalik paigaldada hoone katusele, et täita heitevaba hoone miinimumnorm. Päiksepaneelide puhul on plaanitud kasutada ballastiga paneele, et vältida puurimist kandekonstruktsiooni. Päiksepaneelide paigaldusega lisandub katusele arvestatav koormus, mis kandub edasi kandvatele postidele. Vastavas alas teostatakse postile kandevõime analüüs uute koormustega.

Lõputöö käigus analüüsitakse ka lisaks kandekonstruktsioonide kandevõimet töötajate ruumide alas. Kandevõime analüüs teostatakse postile võttes arvesse omaniku soovi lisada antud hoone osas teine korrus, mis oleks teostatud valmis elementmajana.

1 HOONE KIRJELDUS

1.1 Üldkirjeldus

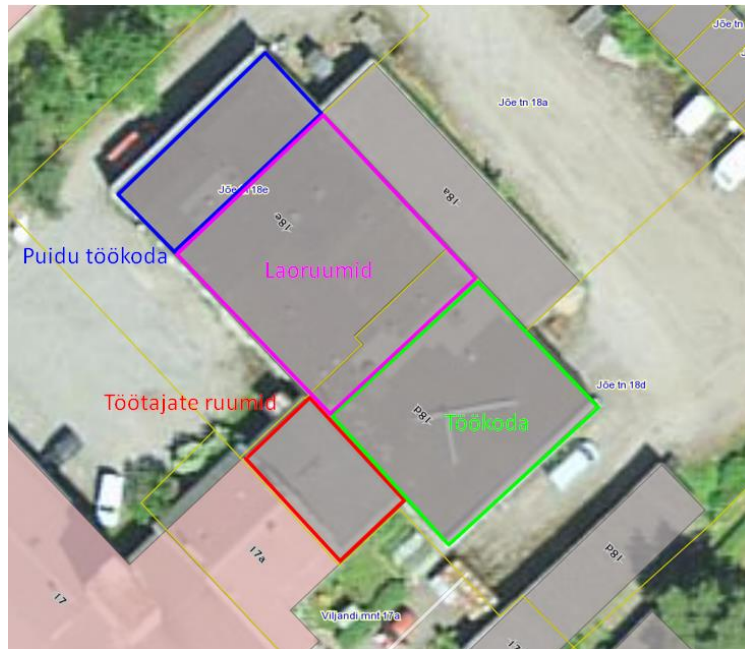
Lõputöös käsitletav hoone asub Rapla kesklinnas ning on osa suuremast hoone kompleksist mis ehitati kahes osas Rapla Päästekomando tarbeks 1960ndatel aastatel. Hoone kirde küljel teostati 1990ndatel ümberehitus, mille käigus müüriti kinni mitu akent ning ehitati hoonele juurde mitteköetav laoruum. Hoone erinevatele osadele on tagatud ligipääs Viljandi maanteelt või Jõe tänavalt. Varasem kompleks on tänapäevas täielikult muutnud kasutusotstarvet ning on tänapäeval jaotatud viieks osaks nelja omaniku vahel nagu näidatud Maa-ameti kaardil (Joonis 1).



Joonis 1. Väljavõte Maa-ameti geoportaalist [1]

Antud töös analüüsitakse täpsemalt eraomanikule kuuluvaid hoone osasid (edaspidi hoone) mis paikneb aadressitel Jõe 18d ja 18e. Lisaks arvestatakse ka vajadusel teistele omanikele kuuluvaid hoone osasid ehk kütmata laoruum Jõe 18a, eramu Viljandi maantee 17a aadressile ja kohalikule omavalitusele kuuluvat hoone osa aadressil Viljandi maantee 17.

Analüüsitav hoone osa jaguneb omakorda mitmeks osaks. Hoones on töötajate plokk, töökoda, puidutöökoda ja kütmata lao alad (Joonis 2).



Joonis 2. Hoone erinevad osad [1]

1.2 Lõputöö tegemise metoodika

Hoone kahjustusi hinnati vaatluse teel ja konstruktsioone ei avatud. Võttes arvesse hoone eluiga ja mitmeid ümberehitusi, siis teostati inventariseerimine. Selleks kasutati Hilti PD-S laserkaugusmõõtjaid.

Info kandetarindite lõigete kohta on võetud arhiivi joonistelt. Arhiivi toimik ERA.T-2.4-1.5236 käidi analüüsimas korduvalt ning telliti skaneeritud pdf-id vajalikest joonistest. [2]

Arvutuste ja mõõdistuste põhjal koostati 3D mudel hoonest.

1.3 Kitsendused

Kompleksil puuduvad muinsuskaitse tingimused. Lisaks ei ole antud piirkonnas, kus hoone asub, miljööväärtusliku ala eritingimusi.

1.4 Hoones varasemalt läbi viidud rekonstrueerimistööd

Antud töös vaadeldavas kompleksi osas on teostatud korduvalt ümberehitusi ning rekonstrueerimistöid. Kahjuks erinevate omanike tõttu puudub täielik ülevaade tehtud töödest.

1.5 Rekonstrueerimise põhjendus

Põhjus miks antud hoone rekonstrueerimis võimalusi uuritakse on kliimasoojenemisest tingitud määrused. Euroopa parlamendi ja nõukogu poolt on võetud vastu mitmeid direktiive, et vähendada CO₂ heiteid liikmesriikides. Üks suur osa sellest on hoonetest ja rajatistest tekkivate heitgaaside vähendamine. Tänapäevaks on esialgse kinnituse saanud uus direktiiv, mille raames kehtestatakse energiatõhususe miinimumstandardid mitteelamutele. See tähendab, et mitteelamud peavad saavutama 2035. aastaks vähemalt E energiatõhususklassi. Kuna uute nõuete lõplik eesmärk on hoonefond muuta heitevabaks, siis uuritakse kuidas need nõuded on võimalik saavutada antud hoone puhul. Vastavalt praegu kehtivale direktiivile on hoone heitevaba põhjamaises kliimas muude mitteeluhoonete korral, kui ta iga-aastane primaarenergia kogukasutus on vähem kui riigi tasandil määratletud liginullenergiahoone primaarenergia kogukasutus. Piirnorm on antud juhul 110 kWh/(m²*a) tööstushoone korral. [3]

2 HOONE PIIRETE KIRJELDUS JA HINNANG

2.1 Sokkel ja vundament

Vundament on rajatud tihendatud liivaalusele keskmiselt -1,55 meetri kõrgusele allapoole põrandanulli. Kõrgusmärgile +0,00 vastab absoluutkõrgus 61,30 meetrit. [2]

Hoone koormuse jaotamiseks pinnasele on kasutatud lintvundamenti kandvate massiivseinade all ning kohtvundamente kandvate postide all. Vundamentide ehitusel on kasutatud monteeritavaid raudbetoonplokket, mis on ühendatud armatuurvööga. [2]

Sokli osa on väljast näha kõrgemas töötajate ruumi plokis. Mitmes kohas on näha, et halb vihmavee ära juhtimine on viinud sokli kulumiseni ja pragunemiseni. Sokliga risti paigaldatud betoonplaadid, mis peaks vett ära juhtima, on aastatega ära vajunud vales suunas. Sokli ja plaadi vahelisest praost voolab pidevalt vesi vundamendi alla. Nurkades, kuhu päikesevalgust kõrval olevate majade tõttu palju ei paista, on samuti palju kahjustusi ning hoonel kasvab sammal nagu näha fotol (Foto 1).



Foto 1. Kahjutused soklile

2.2 Põrandad

Alusmüüride jooniste põhjal on näha põranda konstruktsiooni mis on rajatud tihendatud liivale. Tihendatud liivale on valatud 200 mm paksune betoonplaatpõrand. Hoone erinevates kohtades on lisatud seina äärtesse valmis tootena betoonkanal kommunikatsioonide jaoks, kuid pole teada kui palju nendest alles on. [2]

Võttes arvesse, et hoone põrandad on läbi aastate saanud kahjustada ning hoones pole tagatud stabiilset temperatuuri, siis põrandaplaat on kohati pragunenud. Lisaks on hoone töötajate ruumi osas PVC all tekkinud kahjustused, mis tõttu on see deformeerunud ning pole enam tasane (Foto 2).



Foto 2. Põranda kahjustus

2.3 Välisseinad ja siseseinad

Arhiivis puudusid täpsustavad joonised välisseinade kohta. Hoone konstruktiivse projekti seletuskirjas oli aga seinte kirjeldus: „Välisseinad töökodade hoone osas on projekteeritud silikaattellistest 51 cm paksustena. Elukondlikus osas on seinad kärgtellistest silikaattellistest välisvoodriga, kogupaksusega 51 cm”. [2]

Kahjustused välisseinal on näha kogu perimeetri ulatuses. Aastatega on tekkinud praod ning silikaattelliste pind on murenenud (Foto 3).



Foto 3. Kahjustused välisseinadel

Lisaks välistele seintele on ka sisemised seinad kahjustunud. Kahjustused on tekkinud hoone kehva ventilatsiooni tõttu ja kuna hoone ei ole olnud kogu mahus köetav hoone, siis leidub palju hallitust (Foto 4). [4]



Foto 4. Kahjustus hoones seestpoolt

Hoones täheldati ka eflorestsentsi ehk veeauru tungimisel seinast välja liiguvad ka konstruktsiooni pinnale soolad. Soolad võivad konstruktsioonis olla tingitud müürikividest kui ka mördist. Soolad võivad sattuda konstruktsiooni pinnale ka pinnasevee, sademevee või ka laohoonetes ladustatava materjali kaudu. Järgneval fotol on näidatud hoones märgatud eflorestsentsi (Foto 5). [4]



Foto 5. Kahjustusega siseseinad

2.4 Katus

Hoone osa katust on korduvalt odavalt ja lihtsalt parandatud ehk on lisatud bituumenkatet, et vesi ei lekiks läbi murenenud kihtide. Katuse kandevkonstruktsioon on betoonpaneelid, mis on kaetud ruberoid kihiga. Soojustusena on kasutatud fibroliidplaate, mis on kaetud laineliste eterniitplaatidega, mis tagab tuulutuse. Eterniitplaadi peale on valatud betooni kiht ning kaetud uuesti kolmekordse ruberoid kihiga. [2]

Katuse konstruktsiooni ei saanud ilma tõttu avada, kuid on omanikult teada, et hoones on korduvalt olnud lekkeid. Võttes arvesse katuslae materjale, vanust ning veekahjustusi, siis

eeldame, et enamus katusest on suures mahus kahjustunud ning vajaks välja vahetamist. Võimalusel peaks vaatama üle ka kandva betoonpaneelide seisu, sest veekahjustus võib olla ka neid nõrgestanud.

2.5 Avatäited

Hoone avatäited on uuendatud 90ndatel, kuid puitraamiga kahekordse klaasiga aknad ei ole peale aastaid kulumist energiatõhusad. Akende liitekohad välisseinaga on väga suured külmasillad, akendest endist rääkimata (Foto 6).



Foto 6. Akende ja aknaplekkide seisund

2.6 Tehnosüsteemid

Varasemalt on hoones olnud radiaatorküte, milleks on katlaruumis veel säilinud puitkatel ja suur soojustatud veepaak (Foto 7). Läbi hoone on säilinud malmradiaatorid, kuid osati on uuendatud torustikku. Tänapäeval on kasutusel rohkem kohtküte ehk kahes aktiivses osas on puitkatel.



Foto 7. Olemasolev puitkatel ja veepaak

Hoone õhuvahetus on tagatud loomuliku ventilatsiooniga ning hoone erinevates osades on katuses ventilatsiooniavad. Võttes arvesse hoone kahjustusi, siis loomulik ventilatsioon ei ole piisav ning oleks vaja tagada parem õhuvahetus.

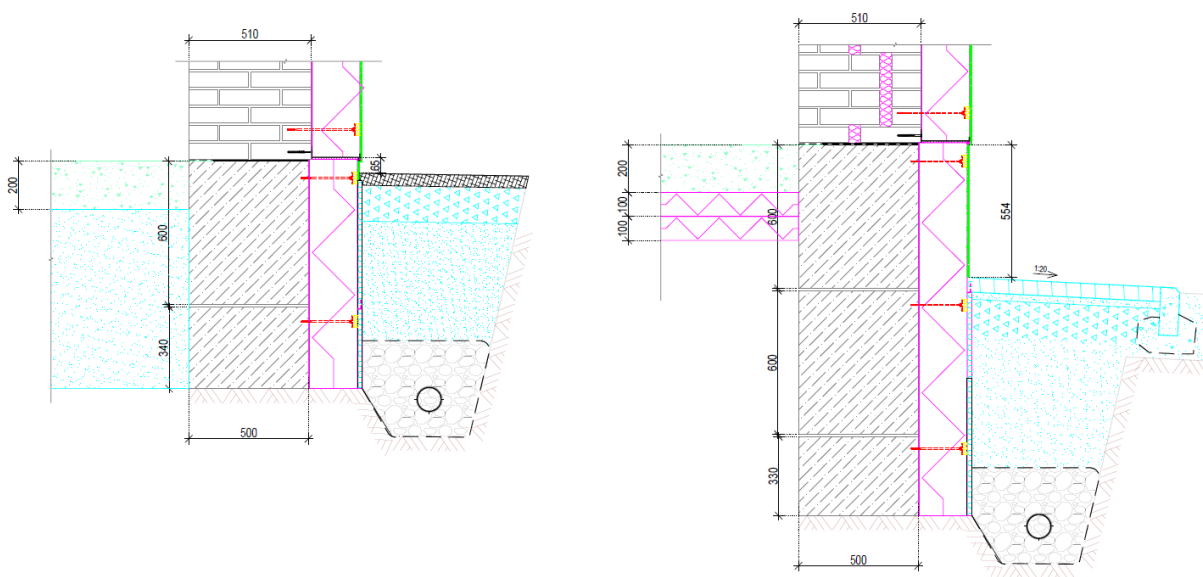
Hoone kanalisatsiooni ja veevarustus on tagatud vajalikes kohtades ning on uuendatud vastavalt vajadusele.

Hoone elektrivarustus on iganenud ning vajaks täpsemat analüüsi professionaali poolt. Töötajate ruumides on elektrivarustus saanud kahjustada peale vee lekkimist läbi katusekatte ning süsteem tervikuna on iganenud.

3 REKONSTRUEERIMISE ETTEPANEKUD

3.1 Sokkel ja vundament

Võttes arvesse kahjustusi hoonele, siis oleks vaja soojustada ja parandada sokkel. Vundamendi paljastamisel on vaja hinnata vundamendi olukorda ning fikseerida kõik ohtlikud deformatsioonid või vigastused. Vigastuste osas tuleks konsulteerida inseneriga ning vajadusel peab teostama parandusi. Kui vundament on sobivas seisukorras, siis on soovitatud see soojustada vastavalt esitatud lahendusele ning paigaldada korralik drenaaži süsteem (Joonis 3).



Joonis 3. Hoone sokli rekonstrueerimise ettepanek

Ettepaneku raames soojustatakse sokkel hoone perimeetris, teostatakse niiskustõke ja paigaldatakse drenaažimatid juhtimaks vesi eemale vundamendist ja soklist. Antud sammud aitavad parandada hoone energiatõhusust ja aitavad vältida tulevikus kahjustusi vundamendile ja soklile. [5]

3.2 Põrandad

Põrandate seisukorda arvestades on soovitatav töökoja osas teostada parandused põrandale ning katta see tööstusliku epoksiid kattega või pinnakõvendiga töödeldud betoonikihiga. Soovi korral võib piigata vana põrandaplaadi ning valada uue, kuid võttes arvesse, et enamus põrandaid on tasased, siis ei pea nii suures mahus töid ette võtma. Lisaks toimib soojustamata põrand loomuliku jahutusena suvekuudel.

Töötajate ruumide alas on põranda osas rohkem kahjustusi ning tellija soov on paigaldada antud alas põrandaküte. Sel juhul on soovitatav asendada olemasolev betoonpõrand alt soojustatud betoonpõrandaga. Betoonpõranda rekonstrueerimislahendused on nähtavad eelneval joonisel ja täpsustatud neljandas peatükis (Joonis 9).

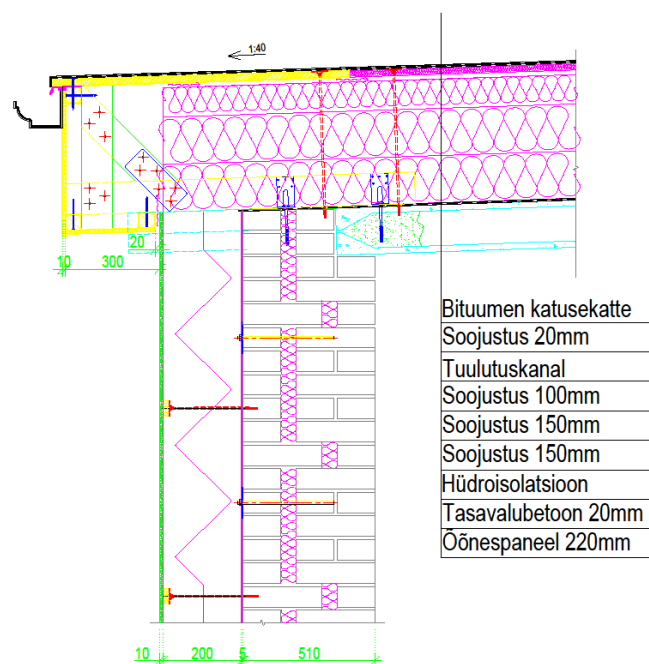
3.3 Välisseinad

Hoone välisseinad tuleks soojustada ning selleks võiks kasutada polüstüreen soojustust krohvitud kattega. Võimalikest rekonstrueerimise lahendustest on see üks tõhusamaid ning ka kaalult kerge. Välisseina soojustuslahendus on näha varasemal joonisel, kuid täpsustatakse seda põhjalikumalt peatükis 4, kus tuuakse välja ka selle soojuslähivus. [5]

3.4 Katus

Hoone rekonstrueerimise käigus peaks täielikult eemaldama olemasoleva katuse. Põhjuseks on varasemad lekked ja esialgsel ehitusel kasutatud materjalid. Olemasolevas katusekattes on tõenäoliselt suured niiskuskahjustused ning puudub korralik tuulutus. Uus katusekate oleks ka kaalult kergem lahendus, kuna vana katuse lammutamisega eemaldatakse suures koguses betooniga ühtlaseks valatud eterniit plaate.

Lisaks katusekattele tuleb rekonstrueerida katuse ääred ehk paigaldada uued katuseplekid ning tagada korralik vihmavee äravool, et vältida veekahjustusi uuel fassaadil. Soovitatav katuse läbilõige on näidatud joonisel (Joonis 4).



Joonis 4. Soovitatav katuse läbilõige [5]

3.5 Avatäited

Võttes arvesse avatäidete vanust ja olukorda on soovitatav hoones vahetada enamus avatäited. Erandina võib säilitada ülestõstetavad garaažiuksed, kuid võimalusel kaaluda külmasildade parandusi. Soovitatav on hoonele paigaldada kolmekordse klaaspaketiga aknad.

Varasemalt on aknad paigaldatud müüritise kihti, kuid seinte soojustamise korral tuleb uued aknad paigaldada soojustuse kihti. Akna külmasildade vähendamine aitab vähendada soojuskadu ning kütte vajadust.

3.6 Tehnosüsteemid

Hoone vee- ja kanalisatsioonisüsteem on toimiv ning kriitilisi parandusi ei vaja. Kui hoones on planeeritud suurem rekonstrueerimine, siis võiks kaaluda antud süsteemide uuendamist.

Hoone kütte- ja ventilatsioonilahendused sõltuvad hoone soojuskaost. Järgnevas peatükis tuuakse välja hoone soojuskaod ning selle põhjal ka soovituslik kütte- ja ventilatsioonilahendus.

4 REKONSTREERITUD HOONE ARVUTUSLIK ENERGIATÕHUSUS

4.1 Hoone välispiirete soojuslähivuste arvutusmetoodika

Vastavalt välja pakutud rekonstrueerimislahendustele arvutatakse rekonstrueeritud hoone piirete soojuskaod. Piirete soojuslähivust arvutatakse standardi EVS–EN ISO 6946:2017 ja EVS 908-1:2016 põhjal. Kuigi tegemist on tootmis-laohoonega, siis viidatakse antud töös ka erinevatele Kredexi juhendmaterjalidele mis käsitlevad uute hoonete või kortermajade rekonstrueerimislahendusi. Materjalide soojusjuhtivuste väärtused on võetud standardi ja/või tootja tootelehtede põhjal. Hoone mittehomoogeensete piirete arvutamiseks vajalikud sise- ja välispindade soojustakistused on vastavalt standardile EVS 908-1:2016 esitatud tabelis (Tabel 1). [6]

Tabel 1. Sise- ja välispindade soojustakistused [7]

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

4.1.1 Seinte ja katuslae soojuslähivus

Vastavalt standardile EVS 908-1:2016 arvutatakse piirdetarindi soojuslähivus U ($W/m^2 \times K$) valemiga (1) [7]:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}, \quad (1)$$

kus U - piirde soojuslähivus, $W/m^2 \times K$;
 R_{tot} - piirde kogusoojustakistus, $m^2 \times K/W$.

Lähteülesande põhjal on meil homogeene piire ehk soojustakistuse leidmiseks kasutatakse valemit (2) [7]:

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_n + R_{se}, \quad (2)$$

kus R_{tot} - piirde kogusoojustakistus, $m^2 \times K/W$;
 R_{si} - piirde sisepinna soojustakistus, $(m^2 \times K)/W$;
 $R_{1,2,n}$ - iga materjalikihi arvutuslik soojustakistus, $(m^2 \times K)/W$;
 R_{se} - piirde välispinna soojustakistus, $(m^2 \times K)/W$.

Üksiku homogeense tarindi kihi soojustakistus arvutatakse valemiga (3) [7]:

$$R = \frac{d}{\lambda_u}, \quad (3)$$

kus d - materjalikihi paksus, m;
 λ_u - materjali soojusjuhtivus, $W/m \times K$.

4.1.2 Põranda soojuslähivus

Põranda soojuslähivuseks kasutatakse standardit EVS-EN ISO 13370 2017. Pinnase soojuserijuhtivused on toodud välja standardis ning antud juhul on pinnaseks liiv ehk soojuserijuhtivus on 2,0 W/m²K. [8]

Põranda soojuslähivus arvutatakse valemiga (4) [8]:

$$U = \frac{\lambda_g}{0,457 \times B + d_t}, \quad (4)$$

- kus U - piirde soojuslähivus, (m²×K)/W;
 λ_g - pinnase soojuserijuhtivus, (m²×K)/W;
 B - põranda tunnusmõõt, m;
 d_t - põranda ekvivalentne paksus, m.

Põranda tunnusmõõtmise arvutamiseks kasutatakse valemit (5) [8]:

$$B = \frac{A}{0,5 \times P}, \quad (5)$$

- kus B - põranda tunnusmõõt, m;
 A - põranda pindala, m²;
 P - põranda siseruumi avatud perimeeter, m.

Põranda võrdväärne paksus on leitav valemiga (6) [8]:

$$d_t = w + \lambda_g \times (R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (6)$$

- kus d_t - põranda ekvivalentne paksus, m;
 λ_g - pinnase soojuserijuhtivus, (m²×K)/W;
 w - välisseina kogupaksus, m;
 R_{si} - piirde sisepinna soojustakistus, (m²×K)/W;
 R_f - põranda soojustakistus, (m²×K)/W;
 R_{se} - piirde välispinna soojustakistus, (m²×K)/W.

4.2 Hoone välispiirete soojuslähivused

4.2.1 Välisseinte soojuslähivus

Hoone välisseinade puhul säilib esialgne müüritis, mis soojustatakse vahtpolüstüreen soojustusega. Välisseina tüüpe on antud hoone puhul kaks. Välisseinte lõiked peale rekonstrueerimist on näidatud joonisel (Joonis 5).

VS-01	VS-02																
KIHID <table border="0"> <tr> <td>1. Krohvisüsteem</td> <td>10 mm</td> </tr> <tr> <td>2. Vahtpolüstüreen soojustus</td> <td>200 mm</td> </tr> <tr> <td>3. Silikaattellistest masssein</td> <td>510 mm</td> </tr> </table>	1. Krohvisüsteem	10 mm	2. Vahtpolüstüreen soojustus	200 mm	3. Silikaattellistest masssein	510 mm	KIHID <table border="0"> <tr> <td>1. Krohvisüsteem</td> <td>10 mm</td> </tr> <tr> <td>2. Vahtpolüstüreen soojustus</td> <td>200 mm</td> </tr> <tr> <td>3. Silikaattellistest välisvooder</td> <td>120 mm</td> </tr> <tr> <td>4. TEP plaat</td> <td>20 mm</td> </tr> <tr> <td>5. Silikaatkärgtellised</td> <td>370 mm</td> </tr> </table>	1. Krohvisüsteem	10 mm	2. Vahtpolüstüreen soojustus	200 mm	3. Silikaattellistest välisvooder	120 mm	4. TEP plaat	20 mm	5. Silikaatkärgtellised	370 mm
1. Krohvisüsteem	10 mm																
2. Vahtpolüstüreen soojustus	200 mm																
3. Silikaattellistest masssein	510 mm																
1. Krohvisüsteem	10 mm																
2. Vahtpolüstüreen soojustus	200 mm																
3. Silikaattellistest välisvooder	120 mm																
4. TEP plaat	20 mm																
5. Silikaatkärgtellised	370 mm																

Joonis 5. Väliseinte lõiked

Tegemist on homogeensete piiretega, mille soojusläbivused arvutatakse vastavalt peatükis 1.1.1 välja toodud metoodikale. Seina soojusläbivus arvutus on välja toodud tabelis (Tabel 2, Tabel 3).

Tabel 2. Töökoja välisseina soojusläbivusarvutus

Materjali nimetus	Paksus, mm	Soojuserijuhtivus λ , W/m*K	Soojustakistus R, W/m²*K	Kasutatud valem
Sisepind			0,1300	
Silikaattellis	510	0,800	0,6375	Valem 3
EPS 60 Silver	200	0,032	6,2500	Valem 3
Krohvisüsteem	10	1,200	0,0083	Valem 3
Välispind			0,0400	
		$\Sigma R_T =$	7,0658	Valem 2
		U =	0,1420	Valem 1

Tabel 3. Töötajate ploki välisseina soojuslähivusarvutus

Materjali nimetus	Paksus, mm	Soojuserijuhtivus λ , W/m ² *K	Soojustakistus R, W/m ² *K	Kasutatud valem
Sisepind			0,1300	
Silikaatkärgtellis	370	0,500	0,7500	Valem 3
Suletud õhkvahe	20	0,160	0,1250	Valem 3
Silikaattellis	120	0,800	0,1500	Valem 3
EPS 60 Silver	200	0,032	6,2500	Valem 3
Krohvisüsteem	10	1,200	0,0083	Valem 3
Välispind			0,0400	
		$\Sigma R_T =$	7,5280	Valem 2
		U =	0,1330	Valem 1

Välisseinade soojuslähivusteks 0,142 W/(m²*K) ja 0,133 W/(m²*K). Piirde soojusjuhtivuse arvutuses ei võeta arvesse paigaldusvigu ja soojuskihti lähivad kinniteid.

4.2.2 Katuslae soojuslähivus

Katuslagi on lamekatus betoonpaneelidest, millelt eemaldatakse vana soojustus ning asendatakse uuega nagu eelnenud peatükis välja pakutud. Katuslae soojuslähivus on välja toodud järgnevas tabelis (Tabel 4).

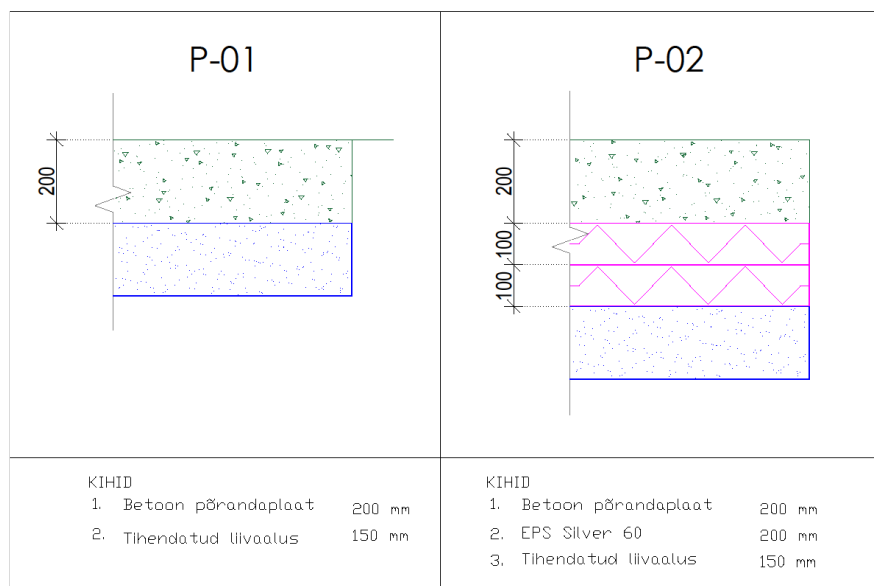
Tabel 4. Katuslae soojuslähivusarvutus

Materjali nimetus	Paksus, mm	Soojuserijuhtivus λ , (W/m ² *K)	Soojustakistus R, (W/m ² *K)	Kasutatud valem
Sisepind			0,100	
Õõnespaneel	220	1,500	0,147	Valem 3
Tasanduskiht	20	2,000	0,010	Valem 3
Mineraalvill	150+150	0,037	8,108	Valem 3
Mineraalvill	100	0,037	2,703	Valem 3
Tuulutussoontega jäik mineraalvillaplaat	20	0,037	0,541	Valem 3
Katusekate	5	1,000	0,005	Valem 3
Välispind			0,040	
		$\Sigma R_T =$	11,681	Valem 2
		U =	0,086	Valem 1

Katuslae soojuslähivuseks on 0,086 W/(m²*K).

4.2.3 Põranda soojuslähivus

Hoones on peale rekonstrueerimist kahte tüüpi põrandaid, millest üks on soojustatud. Põranda lõiked on näidatud joonisel (Joonis 6).



Joonis 6. Põranda läbilõige

Põranda soojuslähivuse arvutuseks on hoone plaanidelt kokku võetud mõlema põranda perimeetri maht ja põranda pindala. P-01 põranda perimeetri maht on 119,76 jm ja pindala on 739,28 m². Kasutades seda infot leiatakse vastavalt valemile (5) põranda P-01 tunnismõõdu:

$$B = \frac{739,28}{0,5 \times 119,76} = 12,35 \text{ m.}$$

Põranda P-02 perimeetri maht on 44,57 jm ja pindala 124,13 m². Leitakse põranda P-02 tunnismõõdu vastavalt valemile (5):

$$B = \frac{124,13}{0,5 \times 44,57} = 5,57 \text{ m.}$$

Põrandate soojuslähivused on välja toodud järgnevas tabelis (Tabel 5).

Tabel 5. Põranda P-02 soojuslähivusarvutus

Materjali nimetus	Paksus, mm	Soojuserihtivus λ , W/m*K	Soojustakistus R, W/m ² *K	Kasutatud valem
Sisepind			0,17	
Betoon põrandaplaat	200	2,000	0,10	Valem 3
EPS Silver 60	200	0,032	6,25	Valem 3
Välispind			0,04	

Vastavalt valemile (6) arvutatakse põranda P-01 ekvivalentne paksus:

$$d_{t,1} = 0,51 + 2,0 \times (0,17 + 0,10 + 0,04) = 1,13 \text{ m.}$$

Vastavalt valemile (6) arvutatakse põranda P-02 ekvivalentne paksus:

$$d_{t,2} = 0,51 + 2,0 \times (0,17 + 0,10 + 6,25 + 0,04) = 13,63 \text{ m.}$$

Teades põranda tunnusmõõtu ja võrdväärsed paksust arvutatakse põranda P-01 soojuslähivus valemiga (4):

$$U_1 = \frac{2,0}{0,457 \times 12,35 + 1,13} = 0,295 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}.$$

Soojustatud põranda P-02 soojuslähivus valemiga (4):

$$U_2 = \frac{2,0}{0,457 \times 5,57 + 13,63} = 0,124 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}.$$

4.2.4 Akende ja uste soojuslähivus

Hoone välispiiretel on mitmeid suuri aknaid ning uksi. Akende soojuslähivus arvutatakse eraldi tabelis vastavalt *Kredex* materjali „Liginullenergia eluhooned. Väikemajad“ lk. 15 välja toodud valemile (7). [9]

$$U_a = \frac{U_k A_k + U_r A_r + \Psi_k I_k}{A_k + A_r}, \quad (7)$$

- kus U_k - klaasiosa soojuslähivus, W/(m²*K);
 A_k - klaasiosa pindala, m²;
 U_r - lengi- ja raamiosa soojuslähivus, W/(m²*K);
 A_r - lengi- ja raamiosa pindala, m²;
 Ψ_k - klaasiserva joonkülmasilla soojuslähivus, W/(m*K);
 I_k - klaasiserva perimeetri pikkus, m.

Akende puhul soovitame, et kasutatakse Arutech Energiasäästlike GEALAN S8000 aknaid 3-kordse pakettiga, mis tähendab, et akna soojusjuhtivuseks on 0,79 W/m²K.

Hoone välisuste soojuslähivusarvuks arvestame keskmiselt on 1,6 W/m²K. Garaažiuste puhul arvestatakse, et soojuslähivus on kuni 1,0 W/m²K.

4.3 Hoone soojuserikaod

Hoone soojuserikao arvutamiseks kasutatakse valemit (8), millega summeeritakse erinevate ruumide erinevad soojuserikaod ning arvestatakse erinevate ruumide temperatuuri mõju. Antud juhul arvestame, et hoone töötajate plokis asuvates ruumides

peab olema tagatud temperatuur +20° ning ülejäänud hoone osas +18°. Soojuserikao valem (8) on leitav Kredexi materjalis „Liginullenergia eluhooned. Väikemajad“ lk. 11. [9]

$$\sum \phi_i = \left(\sum H_j + \sum H_{ks} + \sum H_{inf} + \sum H_{vent} \right) \times (t_s - VAT), \quad (8)$$

- kus $\sum \Phi_i$ - hoone ruumide soojuskadude summa, W;
 $\sum H_j$ - ruumi juhtivuslike soojuserikadude summa, W/K;
 $\sum H_{ks}$ - ruumi külmasildade soojuserikadude summa, W/K;
 $\sum H_{inf}$ - õhulekke soojuserikadu, W/K;
 $\sum H_{vent}$ - ventilatsiooni soojuserikadu, W/K;
 VAT - välisõhu arvutuslik temperatuur, °C;
 t_s - siseõhu arvutuslik temperatuur, °C.

4.3.1 Juhtivuslik soojuserikadu

Juhtivusliku soojuserikaod leidmiseks kasutatakse eelnevalt täpsustatud välispiirete soojuslähivust ja joonistelt arvestatud ruumi välispiirete pindalasid. Hoone katuseks on lamekatus kaldega kuni 5° ehk töökoja välisperimeetri seinte kõrgus on alates -0,60 KM kuni +3,25 KM. Töökoja keskmisel teljel ehk teljel O algab katuse konstruktsioon alates +3,85 KM. Hoone töötajate ploki osas on välisseinte kõrgus +2,50 KM ja antud ala keskmises osas on kõrgus +3,00 KM. [10]

4.3.2 Külmasilla soojuserikadu

Tarindi liitkohtade joonkülsillad ja soojuslähivus on võetud Kredex-i dokumendist „Liginullenergia eluhoonete piirdetarindite liitekohtade joonsoojuslähivuste kataloog“. Tarindite erinevuste korral on lisatud 20% varu. Kredexi juhendist on valitud sobivad sõlmed ning vajalik info on kogutud tabelisse (Tabel 6). [9]

Tabel 6. Valitud joonkülmassillad

Sõlm	Sõlme tähis Kredex juhendis	Soojuserijuhtivus λ, W/m*K	Soojuserijuhtivus λ 20% varuga, W/m*K
Põrand - välissein	AR-6	0,05	0,060
Välissein - välissein	AR-5	0,05	0,060
Välissein – aken/uks	AR-8-05	0,05	0,060
Välissein - garaažiuks	AE-14	0,26	0,312
Välissein - katuslagi	AR-8-13	0,07	0,084

4.3.3 Õhulekke soojuserikadu

Hoone õhulekke soojuserikao arvutus on ette antud seaduses „Hoone energiatõhususe arvutamise meetoodika“. Õhulekke soojuserikao arvutamiseks on vaja leida ka õhulekke vooluhulk. Vastavalt määrusele arvestatakse keskmiseks õhulekke arvuks $q_{50} = 4 [m^3/(m^2/h)]$, ehk rekonstrueeritava muu hoone baasväärtus. [10]

Õhulekke vooluhulga arvutuseks ja soojuserikao leidmiseks kasutatakse seaduses välja toodud valemeid (9, 10) [10]:

$$V_{inf} = \frac{q_{50}}{3,6 \times x} \times A, \quad (9)$$

kus V_{inf} - õhulekke vooluhulk, l/s;
 q_{50} - hoone välispiirde keskmine õhulekke arv, $m^3/(m^2/h)$;
 x - tegur, mis on ühekorruselise hoone puhul 35;
 A - hoone välispiirde sisepindala, m^2 ;

$$H_{inf} = (V_{inf} \times C_{\delta hk} \times \rho_{\delta hk})/1000, \quad (10)$$

kus H_{inf} - õhulekke soojuserikadu, W/K;
 V_{inf} - õhulekke vooluhulk, l/s;
 $C_{\delta hk}$ - õhu erisoojus, 1005 J/kg×K;
 $\rho_{\delta hk}$ - õhu tihedus, 1,2 kg/m³.

Hoone ruumide arvutuslikud õhulekke vooluhulgad ja soojuserikaod on välja toodud lisades (Lisa 1) esitatud tabelis.

4.3.4 Ventilatsiooni soojuserikadu

Antud töö puhul ei arvutata välja eraldi ventilatsiooni soojuserikadu, sest puudub projekt ventilatsioonilahendusele ning tööstushoonete puhul tuleb ventileeritavad õhuhulgad määrata eriinstruktsioonide alusel. Kui rekonstrueerimise käigus paigaldatakse sundventilatsioon, siis süsteemi osana paigaldatakse ka tänapäevane soojustagasti, et ventilatsiooni soojuserikaod oleks minimaalsed.

Energiatõhususe arvutuses on arvestatud ventilatsiooni vastavalt seaduses „Hoone energiatõhususe arvutamise meetoodika“ välja toodud väärtustele. [10]

4.4 Rekonstrueeritud hoone küttelahendus

Kuna hoone juurde kuulub suur ala platse, siis on maasoojuspumba paigaldus võimalik ja Tellija poolt eelistatud. Maasoojuspump või pumbad võiksid moodustada 60-80%

küttevõimsuse vajadusest, sest siis töötab pump täisvõimsusel ja annab parimad soojustegurid ehk COP ja SCOP.

Vastavalt lisades (Lisa 1) välja toodud tabelile on hoone summaarne soojuskadu 21 814 W ehk 505 W/m². Maasoojuspump või pumpade võimsus võiks olla 80% vajadusest ehk 17,45 kW. Kui lahendada kogu hoone küte ühe masinaga, siis sobib selleks Alpha Innotec Alterra SWC192H3 mille küttevõimsus on 18,6 kW ja elektritarbimine 3,82 kW. Antud soojuspumbaga ei ole kaasas integreeritud veeboilerit, vaid veeküte tuleb lahendada eraldi. [11]

Hoones on olemas 199 l suurune elektriboiler, mille küttevõimsus on vastavalt kirjadele 2,2 kW. Boiler on välja vahetatud paar aastat tagasi ehk selle välja vahetamine ei ole vajalik.

4.5 IDA ICE analüüsi kirjeldus

Hoone energiatõhususe analüüsimiseks kasutati IDA ICE tarkvara, kuhu loodi hoone mudel, mille lõuna vaade on näha joonisel (Joonis 7). Välispiirete ja külmasildade väärtused määrati vastavalt eelnevale peatükile. Hoone energiasimulatsiooni tegemisel lähtuti energiatõhususe arvutamise metoodika seadusest, kus arvestati väärtused vastavalt tööstushoonele. Määruses esitatud juhistest peab kinni pidama, et saavutataks energiamärgis, mis on võrreldav teiste tööstushoonete energiamärgistega. [10]



Joonis 7. IDA ICE mudeli lõuna vaade

4.6 Suvise temperatuuri kontroll

Varasemalt ei ole olnud hoones omaniku sõnul probleeme ruumide ülekuumenemisega, kuid uute piirete tõttu teostatakse kontrolliks suvise temperatuuri kontrolli. Simulatsioon on teostatud juunist augustini ning on võetud arvesse ka pool mai kuud seoses piirete soojenemisega, et tulemused oleks korrektsemad.

Ruumide piirtemperatuuri lubatud ületamine kraadtundides on 200 ehk ruumide puhul on arvestatud, et need on III sisekliimaklassis. Sisekliimaklass on valitud vastavalt praegusele olukorrale ehk hetkel on olukord rahuldav, kuid võiks olla parem. Vastavalt seadusele kontrollitakse põhiliselt ruume, kus on kõige rohkem vabasoojust või kus on kasutajate pidev kohalolek. Akende osas on simulatsioonis arvestatud, et töökoja osas aknad ei avane, kuid töötajate plokis saab avada tööpäeva ajal 10% mahus tuulutuseks. Võttes arvesse, et hoone on osa kompleksist, siis lisatakse mudelisse ülejäänud kompleks ja kõrval paiknev kuur. Kuju koostamisel lähtuti Maa-ameti 3D mudelist ja arhiivi joonistest. [10]

Antud juhul teostatakse kontroll neljas ruumis ehk kontoris, magamistoa, töökojas ja pesuruumis kuna nad on lõunapoolsete akendega ning aktiivse kasutusega ruumid. Simulatsiooni käigus selgus, et kõikides uuritavates ruumides ületatakse piirtemperatuurid mitmekümnekordselt. Kontoris on piirtemperatuuri ületanud kraadtundide arv natukene üle 7000 ning töökojas ja pesuruumis on sama arv natukene üle 3500. Magamistuba on ainuke analüüsitud ruum, mille üle 27 kraadtunnid jäid lubatud piiridesse.

Hoone rekonstrueerimisel tuleks kaaluda, kas hoonesse jahutuse paigaldust, töökoja osas avatavate akende paigaldust või akende klaasile päiksekaitsekile paigaldust.

4.7 Päiksepaneelide vajadus

Saavutamaks heitevaba hoone piirmäära tuleb hoonetele paigaldada päiksepaneelid. Üks võimalik valik on päiksepaneel JA Solar JAM54S30-415/MR mille võimsus on 415 W. Päiksepaneelide projekteerimiseks kasutatakse järgnevaid valemeid (11, 12) [10]:

$$E_{pan} = \frac{Q_{päike} \times P_{max} \times k_{kas}}{I_{ref}}, \quad (11)$$

- kus E_{pan} - paneelide aastane toodetud elektrienergia, kWh/a;
 $Q_{päike}$ - päiksepaneelile tulev aastane päikeseenergia, kWh/a;
 P_{max} - päiksepaneelide maksimaalne võimsus, kW;
 k_{kas} - päiksepaneeli kasutustingimuse tegur, mille väärtused on välja toodud hoone energiatõhususe arvutusmetoodika tabelis 18;
 I_{ref} - standardkiirgus 1, kW/m².

$$Q_{päike} = 945 \times k_{suund}, \quad (12)$$

- kus $Q_{päike}$ - päiksepaneelile tulev aastane päikeseenergia, kWh/a;
 945 - horisontaalpinnale tulev aastane päiksekiirgus, kWh/(m²×a);
 k_{suund} - suunategur mille väärtused on välja toodud hoone energiatõhususe arvutusmetoodika tabelis 16.

Päiksepaneelide paigalduse osas arvestatakse, et paneelid paigaldatakse 15° kaldenurga alla horisondi suhtes ja need on suunatud edelasse. Vastavalt hoone energiatõhususe arvutamise metoodika määrusele on sel juhul suunategur 1,08. Päiksepaneeli kasutustegur on antud juhul 0,8. Vastavalt valemile (12) leitakse päikseenergia:

$$Q_{päike} = 945 \times k_{suund} = 945 \times 1,08 = 1020,6 \frac{kWh}{a}.$$

Kui hoonele paigaldatakse 20 päiksepaneeli, siis on kokku päiksepaneelide võimsus 8,3 kW ehk kui võtta arvesse, et tööstushoone puhul on omatarbe osakaal 90%, siis sellest piisab, et hoone saavutaks heitevaba hoone piirmäära. Paneelide poolt aastas toodetav energia arvutatakse vastavalt valemile (11):

$$E_{pan} = \frac{Q_{päike} \times P_{max} \times k_{kas}}{I_{ref}} = \frac{1020,6 \times 8,3 \times 0,8}{1} = 6776,784 \frac{kWh}{a}.$$

4.8 Arvutuslik energiamärgis

Vastavalt IDA ICE simulatsioonile võetakse programmist info ja tulemused ning täidetakse energiaarvutuse tabelid. Antud tabelid on koostatud vastavalt seadusele. IDA ICE simulatsiooni tulemusena saame väärtused mis on vajalikud energiaarvutuses. Esialgse arvutuse põhjal heitevaba hoone piirmäära ei saavutatud, vaid kogu kaalutud energiakasutuse väärtuseks tuli 124 kWh/(a*m²). Kui lisada hoonele eelnevas peatükis välja arvutatud päiksepaneelid, siis saavutatakse heitevaba hoone piirmäär. Energiaarvutuse lõplikud tulemused on nähtavad lisades (Lisa 1).

5 KONSTRUKTSIOONIDE KANDEVÕIME KONTROLLID

Leitakse töökoja ja töötajate plokis postile mõjuv koormus ning teostatakse posti kandevõimearvutus. Postid millele teostatakse kontroll on märgitud hoone plaanil lisades punase ruuduga (Lisa 3).

5.1 Kandva posti kandevõime kontrolli metoodika

5.1.1 Tähiste loetelu

Kandevõime arvutustes kasutatud tähiste loetelu [12]:

t	– ristlõike kõrgus, m;
b	– ristlõike laius, m;
h_{ef}	– posti efektiivkõrgus, m;
K	– konstant, mis oleneb kivi tüübist, mördist, tugevusgrupist ja müüriseotisest;
γ_m	– materjali osavarutegur, Eestis $\gamma_m=1,7$;
f	– kivi keskmine survetugevus, MPa;
f_b	– kivi keskmine normaliseeritud tugevus, MPa;
f_m	– mördi keskmine normaliseeritud tugevus, MPa;
f_k	– müüritise normsurvetugevus, MPa;
f_d	– müüritise arvutussurvetugevus, MPa;
Φ_∞	– lõplik roometegur;
e_i	– ekstsentrilisus seina üla- või alaosas, m;
e_a	– juhuslik ekstsentrilisus, m;
$e_{0,1}$	– ekstsentrilisus seina väliskoormusest, m;
$e_{a,i}$	– ekstsentrilisus seina üla- või alaosas, m;
A_c	– survetsooni pindala, m ² ;
χ_m	– nõtketegur seina keskmisel kõrgusel;
δ	– abitegur, mida kasutatakse kivide normaliseeritud tugevuse määramisel;
u	– nõtkte abitegur;
λ_h	– elemendi saledus ristlõike efektiivkõrguse järgi;
λ_u	– elemendi piirsaledus;
N_{Rd}	– ristlõike arvutuslik kandevõime.

5.1.2 Kandva posti kandevõime kontrolli metoodika

Postikandevõime arvutusel pole meile kahjuks kindlalt teada kasutatud telliste ja mördi tegelikud tugevusnäitajad. Arvutusel kasutatakse tellise ja mördi keskmiseid või alla keskmiseid väärtuseid. Arvestame, et kivi keskmine survetugevus on 10,0 MPa ja mördi

keskmine survetugevus on 2,5 MPa. Standardi EVS-EN 1996-1-1:2005+A1:2012 +NA:2013 põhjal kirjeldatakse silikaatmüüritis posti kandevõime kontrolli meetoodika.

Silikaatkivi normaliseeritud survetugevus arvutatakse valemiga (13) [12]:

$$f_b = f * \delta. \quad (13)$$

Müüritise normaalsurvetugevuse arvutatakse valemiga (14) [12]:

$$f_k = K f_b^{0,65} f_m^{0,3}. \quad (14)$$

Müüritise arvutusliku survetugevuse arvutatakse vastavalt valemile (15) [12]:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}. \quad (15)$$

Vastavalt arvutatud koormuskombinatsioonidele leitakse postile mõjuv arvutuslik pikijõud. Kui koormus ei mõju otse posti tsentrisse, siis peame arvestatakse ekstsentrilisust ja leitakse ka arvutuslik paindemoment. Pikijõu summaarse ekstsentrilisuse leidmiseks ülemises või alumises posti lõikes kasutatakse valemit tingimusega (16) [12]:

$$e_i = e_{0,i} + e_a \geq 0,05t. \quad (16)$$

Kus e_a ehk juhuslik ekstsentrilisus leitakse valemiga (17), kus efektiivkõrgus on võrdne posti kõrgusega [12]:

$$e_a = \frac{h_{ef}}{450}. \quad (17)$$

Pikijõu ekstsentrilisus väliskoormusest lõikes arvutatakse vastavalt valemile (18) [12]:

$$e_{0,i} = \frac{M_i}{N_i}. \quad (18)$$

Leitakse ka vastava surutud tsooni pindala lõikes valemiga (19) [12]:

$$A_{c,i} = (t - 2e_i)b. \quad (19)$$

Ülemise ja alumise kihi arvutustes on nõtketegur üks, kuid kui vaadeldava lõike asukoht on posti keskmises osas, siis leitakse nõtketegur lõikes vastavalt valemile (20) [12]:

$$X_m = e^{-\frac{u^2}{2}}. \quad (20)$$

Kus u ehk abisuurus määratakse vastavalt valemile (21) [12]:

$$u = \frac{\lambda_h - 2}{23 - 37 * \frac{e_{mk}}{t}}. \quad (21)$$

Elemendi saleduse kontroll teostatakse ristlõike efektiivkõrguse põhjal vastavalt valemile (22), kus t_{ef} on antud juhul sama mis t [12]:

$$\lambda_h = \frac{h_{ef}}{t_{ef}}. \quad (22)$$

Abisuuruse määramiseks tuleb leida kogu ekstsentrilisus lõikes nõtketeguri määramisel ning selleks kasutatakse valemit (23) [12]:

$$e_{mk} = e_m + e_k \geq 0,05t. \quad (23)$$

Kus e_m on arvutatud sarnaselt valemile 16 ning on võimalik kasutada varasemalt arvutatud väärtust teostades arvutuse lihtsustatult vastavalt valemile (24), kus 0,6 on uuritava ristlõike kõrgus kogu posti kõrguses [12]:

$$e_{0,m} = 0,6 * e_{0,1}. \quad (24)$$

Roomest tingitud ekstsentrilisuse ehk e_k leidmiseks tuleb teostada keerukam arvutus vastavalt valemile (25) [12]:

$$e_k = 0,002\Phi_{\infty} \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{te_m}. \quad (25)$$

Ristlõike efektiivpaksuse leidmiseks kasutatakse valemit (26) [12]:

$$t_{ef} = \sqrt[3]{k_{tef} + t_1^3 + t_2^3}. \quad (26)$$

Arvutatud väärtuste põhjal leitakse survekandevõime postile valitud lõikes ning selleks kasutatakse valemit (27) [12]:

$$N_{Rdi} = \frac{X_m * A_{c,m} * f_k}{\gamma_M}. \quad (27)$$

5.2 Hoonele mõjuvad koormused

5.2.1 Tuulekoormus

Hoone tuulekoormuse arvutatakse vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-4:2005. Võttes arvesse, et töötajate plokis soovitakse hoonel lisada korrus, siis antud hoone osas arvutatakse tuulekoormus eraldi uue korruse põhjal. [13]

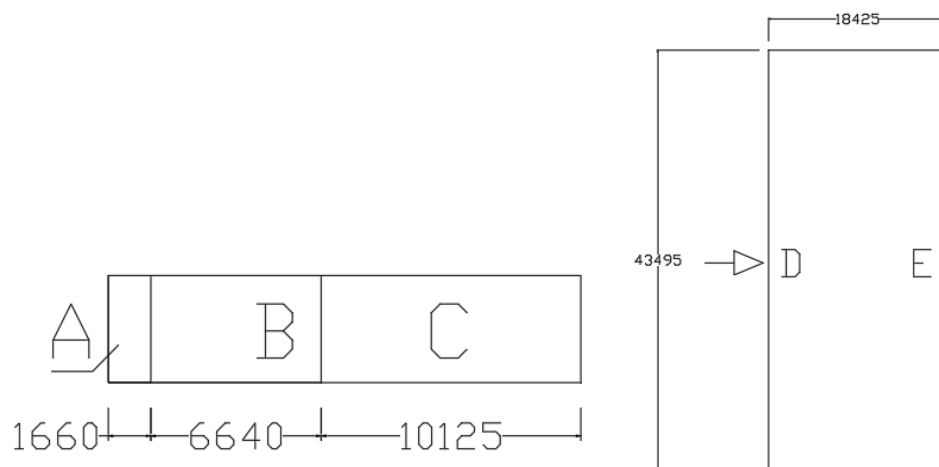
Analüüsitud hoone asub Rapla linnas ning selle lähedal paikneb mitmeid hooneid, mis on kuni kolmekorruselised. Määrame maastikutüübiks III ehk ühtlase hoonestusega alad. Arvutatakse tippkiirurõhu vastavalt maastikutüübile kasutades valemit (28) [13]:

$$q_z(z) = 12,81 * \ln^2 \frac{\max(5, z)}{0,3} + 89,64 \times \ln \frac{\max(5, z)}{0,3}. \quad (28)$$

Hoone kõrgeim katuse punkt on töökoja osas, kus kõrguseks on +4,15 m ehk see on antud juhul arvutuslik kõrgus.

$$q_z(4,15) = 12,81 * \ln^2 \frac{5}{0,3} + 89,64 \times \ln \frac{5}{0,3} = 354 \frac{N}{m^2}.$$

Katuse kalle antud hoone puhul on keskmiselt 3,5°. Hoone põhiosa mõõdud on 18,4 m laiuses ning 43,5 m pikkuses. Arvutatakse tuulekoormuse risti hoonega ehk ortogonaalne suund on 0°. Arvestuslik kõrgus on 4,15 m ja pikkus on 43,5 m. Vastavalt juhendile on vaja määrata abisuurus e , mis on võrdne hoone pikkusega või kahekordse kõrgusega, olenevalt kumma väärtus on väiksem. Antud juhul on kahekordne kõrgus väiksem väärtus ehk 8,30 m. Võttes arvesse, et e on väiksem kui hoone laius, siis toimub tuulekoormuse arvestamine vastavalt joonisel näidatud skeemile (Joonis 8). [13]



Joonis 8. Tuulekoormus skeemid

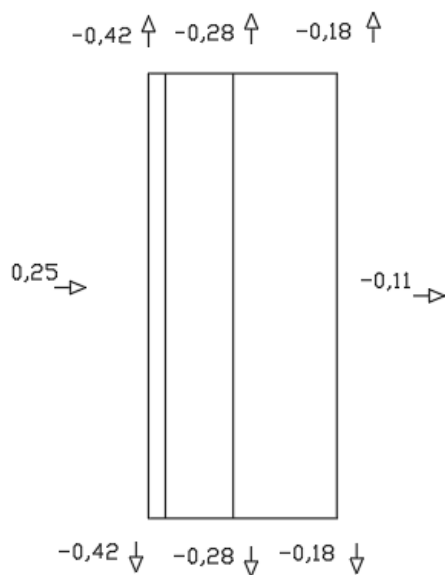
Kõrguse ja laiuse suhe on 4,15/18,425 ehk 0,23. Vastavalt antud suhtele ja tsoonile leitakse $c_{pe,10}$ väärtus ning arvutatakse välispinnale mõjuv tuulerõhk [13]:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}. \quad (29)$$

Arvutatud välispinna tuulerõhu väärtused on esitatud järgnevas tabelis (Tabel 7) ka kujutatud visuaalselt joonisel (Joonis 9).

Tabel 7. Töökoja seinte välispinnale mõjuv tuulerõhk

Tsoon	$C_{pe,10}$	w_e	Ühik
Tsoonis A	-1,2	-0,42	kN/m ²
Tsoonis B	-0,8	-0,28	kN/m ²
Tsoonis C	-0,5	-0,18	kN/m ²
Tsoonis D	0,7	0,25	kN/m ²
Tsoonis E	-0,3	-0,11	kN/m ²



Joonis 9. Välispinnale mõjuv tuulerõhk

Sisepindadele mõjuv tuulerõhk arvutatakse vastavalt välja toodud valemile (30) [13]:

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi}. \quad (30)$$

Kui c_{pi} on +0,2, siis sisepindade tuulerõhk on:

$$w_i = 0,354 * 0,2 = 0,07 \frac{kN}{m^2}.$$

Kui c_{pi} on -0,3 siis sisepindade tuulerõhk on:

$$w_i = 0,354 * (-0,3) = -0,11 \frac{kN}{m^2}.$$

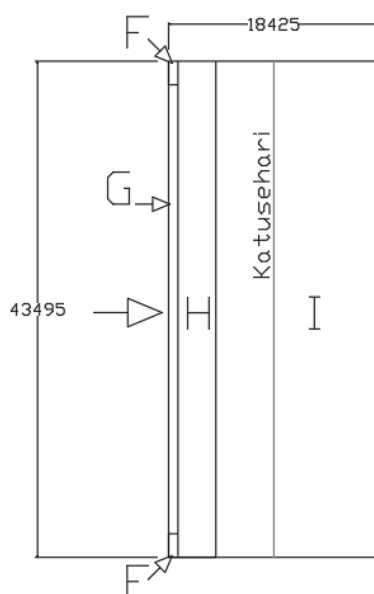
Arvutatakse tsoonide netorõhu arvestades, et $c_{pi} = 0,2$ kasutades järgnevat valemit ning tulemused on välja toodud tabelis (Tabel 8) (31) [14]:

$$w_{neto} = w_e - w_i, \quad (31)$$

Tabel 8. Tuule netorõhk töökoja osa seintele

Tsoon	W_e	W_i	W_{neto}	Ühik
Tsoonis A	-0,42	0,07	-0,49	kN/m ²
Tsoonis B	-0,28	0,07	-0,35	kN/m ²
Tsoonis C	-0,18	0,07	-0,25	kN/m ²
Tsoonis D	0,25	0,07	0,18	kN/m ²
Tsoonis E	-0,11	0,07	-0,18	kN/m ²

Katusele mõjuv rõhk arvutatakse välja vastavalt joonisel esitatud skeemile (Joonis 10). Võttesse arvesse, et e minimaalne on 8,3 m ja katuse kaldenurk on 3,5°.



Joonis 10. Katuse välisrõhu arvutamise skeem

Katuse tsoonide netorõhk arvutatakse kasutades valemit (30), ehk kui $c_{pi} = 0,2$ siis tsoonide välirõhk on esitatud tabelis (Tabel 9) [13].

Tabel 9. Katusele mõjuv tuulerõhk

Tsoon	$C_{pe,10}$	W_e	W_i	W_{neto}	Ühik
Tsoonis F	-1,8	-0,64	0,07	-0,710	kN/m ²
Tsoonis G	-1,2	-0,42	0,07	-0,490	kN/m ²
Tsoonis H	-0,7	-0,25	0,07	-0,320	kN/m ²
Tsoonis I ₁	-0,2	-0,07	0,07	-0,140	kN/m ²
Tsoonis I ₂	0,2	0,07	0,07	-0,001	kN/m ²

5.2.2 Lumekoormus

Hoonele mõjuv lumekoormus arvutatakse vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-3:2006. Hoonele mõjuva lumekoormuse arvutamiseks võetakse arvesse, et katusekalle on 3,5° ja hoone asukoht on Rapla. Lumekoormus arvutatakse kasutades järgnevat valemit (32) [14]:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k. \quad (32)$$

Antud piirkonnas on normatiivne lumekoormus maapinnal ehk s_k väärtus 1,5. Avatustegur ja soojustegur on Eesti arvutuste puhul konstantne ehk $C_e = 1,0$ ja $C_t = 1,0$. Kujuteguri leitakse vastavalt katuse kaldele ja kujule. Viilkatuse korral, mille kalle jääb 0° ja 30° vahele on kujutegur $\mu_2(\alpha) = 0,8$. Lumekoormus arvutatakse vastavalt valemile (32) [14]:

$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 1,5 = 1,2 \frac{kN}{m^2}.$$

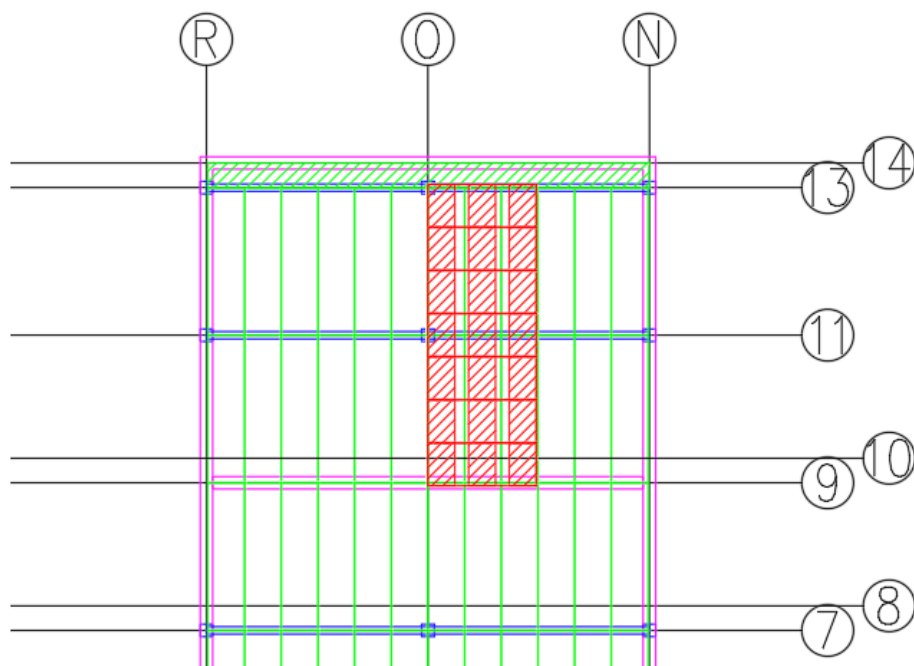
5.3 Posti kandevõime kontroll päiksepaneelide paigalduse korral

Vastavalt varasemalt arvutatud energiatõhususanalüüsi tulemustele teame, et hoonele oleks vaja paigaldada 20 JA Solar JAM54S30-415/MR päiksepaneel, et saavutada heitevaba hoone piirmäär. Kuna hoonele planeeritakse laiendust, siis paigaldatakse üks lisapaneel varuks. Päiksepaneelid on 15 kraadise nurga all ning nende nimivõimsus on 415 W. Paneeli enda mõõdud on 1722x1134x30 mm ja kaal on 21,5 kg +3%. [15]

Paneelid paigaldatakse katusele spetsiaalsel raamil, mille peale paigaldatakse ballast. Antud juhul eeldame, et kasutatakse Bisol EasyMount™ Alpine triangle süsteemi. Vastavalt antud süsteemi paigaldusjuhendile paigaldatakse päiksepaneelid kolmes reas, kus on reas 7 paneeli. See tähendab, et vastavalt kasutusjuhendile on katusel vaja 12,254 m pikkust ja 4,395 m laiust ala. [16]

Vastavalt standardile EVS 920-5:2023 peame arvestama, et päiksepaneele ei paigaldataks katuse servale lähemale kui 3 m. Erandina ei pea paiknema paneelid teljest 14 3 m kaugusel, kuna antud küljel on kõrgem parapett. Lisaks arvestatakse katuse ümberehitusel, et katusele paigaldatud uue soojustuse koormustaluvus on alumises kihis vähemalt 70 kPa ja ülemises kihis vähemalt 80 kPa. [17]

Päiksepaneelid paigaldatakse töökoja osa katusele, kuna seal on kõige vähem katuse läbiviike, piisavalt ruumi ja asetus on päikse suhtes hea. Paneelid on asetatud võimalikult katuse keskele päiksepoolses alas, et koormus mõjutaks tala võimalikult väikse jõuõlaga. Paneelide asetus on näidatud joonisel (Joonis 11).



Joonis 11. Päiksepaneelide paiknemine katusel

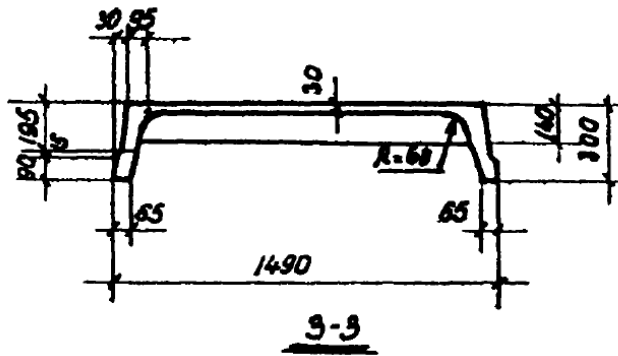
5.3.1 Päiksepaneelide ballasti vajadus

Päiksepaneelid soovitakse paigaldada ballastiga, et vältida ribipaneelidesse kinnituste tegemist. Päiksepaneelid paigaldatakse rööbastele ning sellele lisatakse raskused, mis aitavad hoida seda paigal. Päiksepaneelide ballasti arvutus teostatakse tavaliselt päiksepaneelide projekteerija poolt, kuid antud töös kalkuleeriti päiksepaneelide ballast kasutades tasuta programmi Solar-Planit. [18]

Sisestati hoone parameetrid ning päiksepaneelid programmi ning programm arvutas nõutud ballasti suuruse. Vastavalt programmile arvestame, et ballasti tuleb paigaldada ühe paneeli kohta 53 kg. Ühe valitud päiksepaneeli ja tema raami kaaluks on 122,1 kg ehk 1,198 kN. Võttes arvesse süsteemi kaalu ning paneeli alust pindala, siis avaldub paneelidest katusele lisa koormus 0,87 kN/m² kohta.

5.3.2 Ribipaneelidele mõjuv koormus

Katuse konstruktsioon toetub NSV Liidu aegsetele standard ribipaneelidele „ПНС-17“, mille tööjoonised on leitavad kataloogis „Серия ПК-01-111“. Ribipaneelide kandevõime kontrollimiseks koostatakse koormusskeem. Vastavalt arhiivi materjalidele ja tööjoonistele on teada, et antud ribipaneeli mõõdud on 5970x1490x300 mm ja kaal on 1,42 t. Ribipaneeli ristlõige on nähtav joonisel (Joonis 12). [19]



Joonis 12. Ribitala „ПНС-17“ ristlõige

Ribipaneeli enda kaalust on koormus on $1,57 \text{ kN/m}^2$. Kuigi ribipaneel on väikse nurga all, siis antud juhul arvutuse lihtsustamiseks arvestatakse, et koormus mõjub risti paneeliga. Tabelis on välja toodud paneelile mõjuvad koormused ning vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-1:2002 kandepiiriseisundi koormuskombinatsioon (Tabel 10). [20]

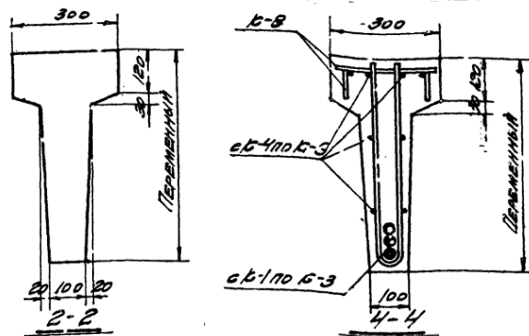
Tabel 10. Ribipaneeliga katuslae koormuskombinatsioon

Katuslae omakaal	Normatiivne koormus, kN/m^2	Osavarutegur	Arvutuslik koormus, kN/m^2	Ühe ribipaneeli pindala, m^2	Arvutuslik koormus, kN
Ribipaneel	1,57	1,2	1,88	8,9	16,77
Tasanduskiht	0,48	1,2	0,58	8,9	5,13
Mineraalvill	0,28	1,2	0,34	8,9	2,99
Jäik mineraalvillplaat	0,03	1,2	0,03	8,9	0,28
Katusekate	0,10	1,2	0,12	8,9	1,07
Päiksepaneelid	0,87	1,2	1,04	8,9	9,29
Lumekoormus katusel	1,20	1,5	1,80	8,9	16,02
Tuulekoormus katusel	0,43	1,5	0,65	8,9	5,79
		Kokku koormus kN/m^2 :	6,44	Kokku koormus kN:	57,34

5.3.3 Talale mõjuvad koormused ja tekkivad sisejõud

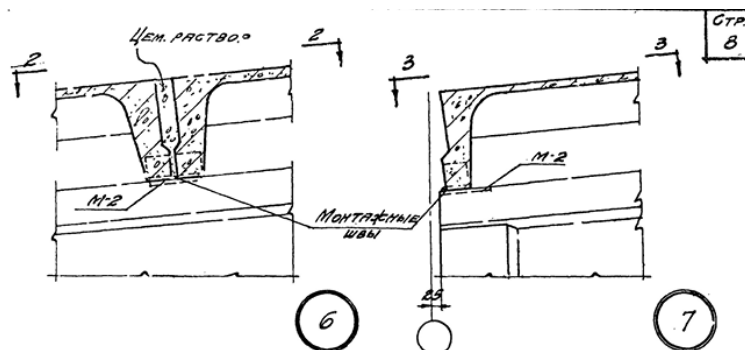
Ribipaneelidele mõjuv koormus kandub edasi NSV Liidu standard talale „БО 9-3“. Uuritava tala tööjoonised on leitavad kataloogis „Серия ПК-01-115“. NSV Liidus 1962 koostatud

tööjoonised on leitavad internetis ning nende järgi toodetakse veel tänaseni elemente. Lisatud väljavõtte tööjoonisest (Joonis 13), kus on näha tala ristlõige ja armatuuri paiknemine. Kahjuks on antud tööjoonised vene keeles ja käsikirjas ehk kõike infot armatuuri osas pole võimalik välja lugeda ja tala ristlõikele pole võimalik teha kandevõime kontrolli. [21]



Joonis 13. Tala „Б0 9-3“ ristlõige ja armatuuri paiknemine [21]

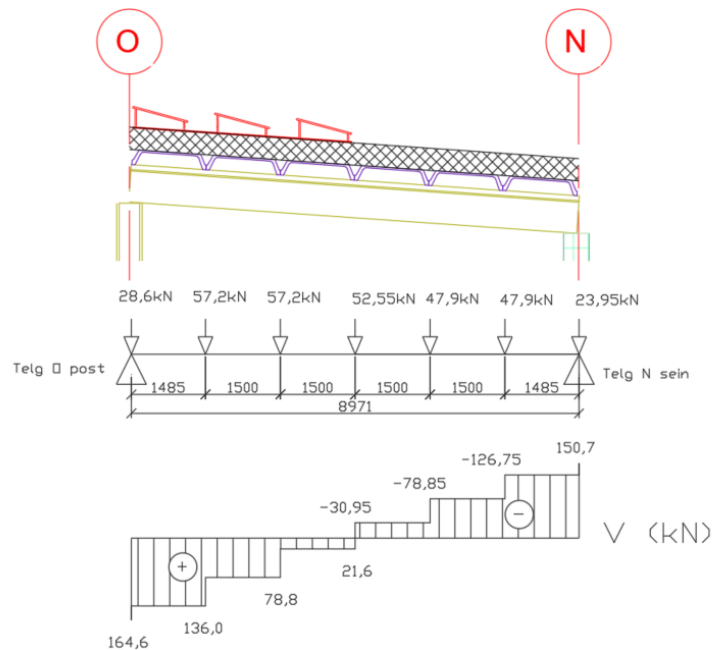
Tööjooniste kataloogis on välja toodud ka ribipaneelide paigaldamine vastavale talale. Koormusskeemil arvestame mõlema paneeli otsa raskuse mõju ühenduskoha keskele, sest vastavalt joonisel (Joonis 14) näidatud sõlmele 6 teame, et ribipaneelid ühendatakse toel. [21]



Joonis 14. Ribipaneelide paigaldussõlm talal „Б0 9-3“ [21]

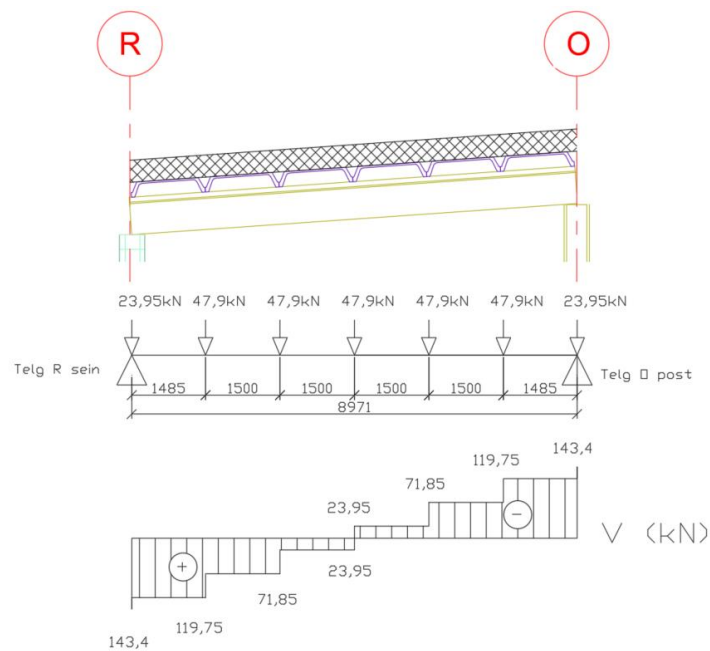
Vastavalt esitatud materjalile on koostatud koormusskeem talale teljel 10 telgede O ja N vahemikus, kuna seal on kõige suurem koormus. Ühe ribipaneeli koormus jaguneb nelja punkti ehk iga paneeli nurkadesse. Eelneval joonisel (Joonis 14) näidatud sõlme 6 põhjal teame, et koondatakse ristumispunkti kahe paneeli otsa koormus, kuid kuna ribipaneelid toetuvad talale mõlemalt poolt, siis on ühes koormuspunktis terve paneeli koormus. Vastavalt tabelile (Tabel 10) on teada koormuskombinatsioon talale koos päiksepaneelidega. Ilma päiksepaneelideta ribipaneelist tekkiva koormuskombinatsiooni leidmiseks lahutatakse päiksepaneelide koormus. Kuna katus on 4° kalde all, siis

korrutatakse mõjuv koormus läbi $\cos 4^\circ$ väärtusega. Koormusskeem ning talas tekkivad sisejõud on näidatud joonisel (Joonis 15).



Joonis 15. Talale telgede O ja N vahel mõjuvad koormused ja sisejõud

Postile toetuvast teisest talast mõjub postile väiksem koormus, kuna päiksepaneeli antud osas ei paigaldada. Telgede O ja R vahelise tala koormused ning tekkivad sisejõud on kujutatud joonisel (Joonis 16).



Joonis 16. Telgede R ja O vahelise tala koormused ja sisejõud

5.3.4 Posti ristlõike survekandevõime kontroll

Postile mõjuvad koormused on leitud varasemas peatükis, kuid arvutustel peab arvesse võtma ka tala „BO 9-3“ omakaalust tekkivat koormust. Talale mõjub võrdselt mõlema tala kaalust pool ehk ühe tala omakaal. Tala kaal on 3 t ehk lisandub 29,4 kN, mis korrutatakse läbi ka osavaruteguriga ehk talade omakaalust lisandub koormus 35,3 kN. Kokkuvõttes mõjub postile tsentriselt 357,4 kN ja ekstsentrilisest koormusest tekib paindemoment 2,7 kNm. Arvutustes kasutatud lähteandmed on välja toodud tabelis (Tabel 11).

Tabel 11. Posti survekandevõime arvutuse lähteandmed

Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Ristlõike kõrgus	t	0,51	m
Ristlõike laius	b	0,51	m
Posti arvutuspikkus	h_{ef}	3,6	m
Juhusliku ekstsentrilisuse kriteerium	$h_{ef}/___$	450	
Saledus, millest suurema korral arvestatakse roomet	λ_c	15	
Müüritise mahukaal	ρ	22	kN/m ³
Mördi keskmine survetugevus	f_m	2,5	MPa
Kivi keskmine survetugevus	f	10,0	MPa
Abitegur	δ	0,81	
Müüritise normtugevuse konstant	K	0,55	
Materjali osavarutegur	γ_M	1,70	
Lõplik roometegur	Φ_∞	1,50	

Posti ülemise ja keskmise ristlõike survekandevõime arvutatakse kasutades peatükis 5.1.2 kasutatud meetodikat. Tulemused on toodud välja koondtabelis (Tabel 12; Tabel 13).

Tabel 12. Töökoja posti survekandevõime kontrolli tulemused ülemises ristlõikes

Ülemise ristlõike (i) kontroll (h=3,6)	Tähis	Väärtus	Ühik	Valem
Kivi normaliseeritud survetugevus	f_b	8,100	MPa	Valem 13
Müüritise normsurvetugevus	f_k	2,820	MPa	Valem 14
Müüritise arvutussurvetugevus	f_d	1,659	MPa	Valem 15
Arvutuslik survejõud ristlõikes	$N_{Sd,i}$	357,4	kN	-
Arvutuslik paindemoment ristlõikes	$M_{Sd,i}$	2,703	kNm	-
Ekstsentrilisus (väliskoormusest)	$e_{0,i}$	0,008	m	Valem 18
Ekstsentrilisus (juhuslik)	$e_{a,i}$	0,008	m	Valem 17
Ekstsentrilisus (summaarne)	e_i	0,026	m	Valem 16
Survetsooni pindala	$A_{c,i}$	0,234	m ²	Valem 19
Ristlõike arvutuslik kandevõime	$N_{Rd,i}$	388	kN	Valem 27

Tabel 13. Töökoja posti survekandevõime kontrolli tulemused keskmises ristlõikes

Ristlõike (<i>m</i>) kontroll (0,6 <i>h</i> =2,16)	Tähis	Väärtus	Ühik	Valem
Arvutuslik survejõud ristlõikes	$N_{Sd,m}$	372	kN	-
Arvutuslik paindemoment ristlõikes	$M_{Sd,m}$	1,620	kNm	-
Ekstsentrilisus (väliskoormusest)	$e_{0,m}$	0,004	m	Valem 24
Ekstsentrilisus (juhuslik)	$e_{a,m}$	0,008	m	Valem 17
Ekstsentrilisus (summaarne ilma roometa)	e_{mk}	0,012	m	Valem 23
Survetsooni pindala	$A_{c,m}$	0,247	m ²	Valem 19
Elemendi saledus	λ_h	7,059		Valem 22
Ekstsentrilisus (roomest tingitud)	e_k	0,000	m	Valem 25
Ekstsentrilisus (summaarne koos roomega)	e_{mk}	0,026	m	Valem 23
Nõtkte abitegur	u	0,239		Valem 21
Nõtketegur	χ_m	0,972		Valem 20
Ristlõike arvutuslik kandevõime	$N_{Rd,m}$	399	kN	Valem 27

Ristlõike kandevõime tagamiseks peab olema täidetud tingimus $N_{Ed} \leq N_{Rd}$. Arvutatud ristlõike kandevõime väärtused ja mõjuva survejõu võrdluse tulemused on välja toodud tabelis (Tabel 14). [12]

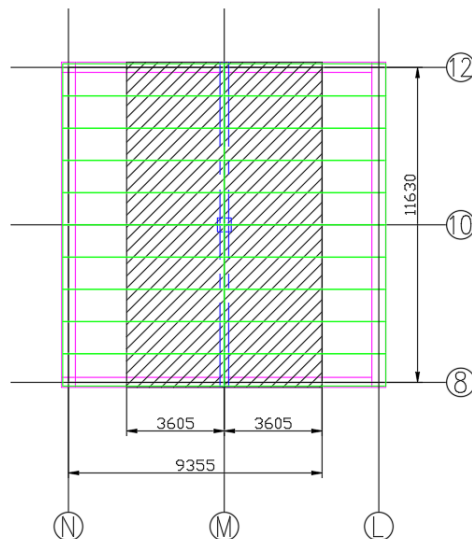
Tabel 14. Kandevõime ja koormuse analüüs

Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Ülemise ristlõike arvutuslik survejõud:	$N_{Sd,i}$	357	kN
Ülemise ristlõike arvutuslik survekandevõime:	$N_{Rd,i}$	388	kN
Kasutatud survekandevõime protsent		92	%
Keskmise ristlõike arvutuslik survejõud:	$N_{Sd,m}$	372	kN
Keskmise ristlõike arvutuslik survekandevõime:	$N_{Rd,m}$	399	kN
Kasutatud survekandevõime protsent		93	%

Võttes arvesse, et tegemist on vana hoonega, siis on soovitatav enne paigaldust teostada täpsem audit hoone kandekonstruktsioonidele. Võimalusel tuleks teostada müüritisele survetugevuse katse, sest praegune analüüs on info puudumise tõttu tehtud keskmiste või alla keskmiste kivi ja mördi survetugevusega.

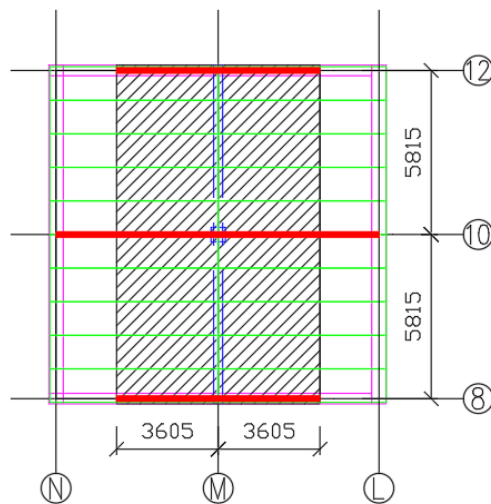
5.4 Kandevõime kontroll lisa korruse ehituse korral

Tellijal soov on laiendada töötajate ploki osa, kuid kuna antud hoone osas on olnud kahjustusi, siis soovitatakse olukorra täpsemat analüüsi. Antud hoone osas on omapärane, et õõnespaneelid telgede M ja L vahel on osaliselt kahel kinnistul. Joonisel on näha planeeritava korruse alused konstruktsioonid (Joonis 17). [2]



Joonis 17. Olemasolev konstruktsioonile olukord töötajate plokis

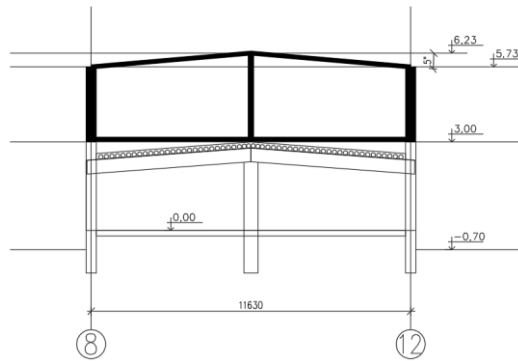
Hoone omanik on puitelementmajade tootjatelt küsinud pakkumised ning paika pannud planeeritava kuju, toetused ning piirdeid. Võttes arvesse planeeritava ala aluseid konstruktsioone, siis koormused jaotatakse välisseinade kandekonstruktsioonidele ja hoone keskel asuvale postile läbi tala. Koormusjaotus on märgitud punasega järgneval joonisel (Joonis 18).



Joonis 18. Lisakorrusest tekkiva koormuse jaotus hoonele

Kuna kõige suurem osa lisakorruse koormusest koondub telgede 10 ja M ristumispunkti asuvale postile, siis kontrollitakse silikaattellistest laotud posti kandevõimet koormusele. Nimetatud postile mõjub koormus lisakorruse seinadest, katusest ja põrandast ning ka olemasolevate konstruktsioonide koormus.

Planeeritava hoone kandekonstruktsioonide normatiivsed koormused on saadud puitelementmajade tootjalt ning lisakorruse mõõtmed on näha joonisel (Joonis 19).



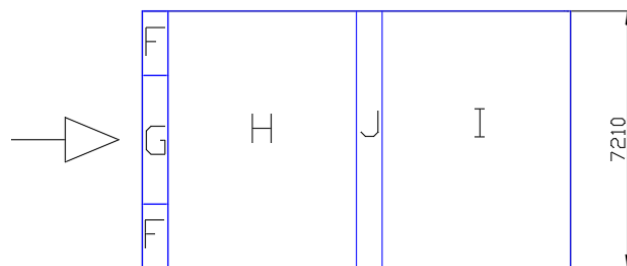
Joonis 19. Planeeritava lisakorruse lõige

5.4.1 Hooneosale mõjuv koormus

Lisakorruse lisamisel on antud hoone osa oluliselt kõrgemal kui töökoja katus ehk arvutatakse antud hoone lõigule eraldi tuulekoormus. Lumekoormus on sama, mis töökoja osa katusele ehk $1,2 \text{ kN/m}^2$. Antud juhul arvestatakse ainult katusele mõjuvat tuulekoormust. Tuulekoormus arvutatakse vastavalt peatükis 5.1.1 metoodikale. Leitakse tipprõhu kõrgusel 6,23 m vastavalt valemile (28):

$$q_z(6,23) = 12,81 * \ln^2 \frac{6,23}{0,3} + 89,64 * \ln \frac{6,23}{0,3} = 390 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

Katusele mõjuva rõhk arvutatakse välja vastavalt järgnevale skeemile (Joonis 20). Võttes arvesse, et e minimaalne on 7,21 m ja katuse kaldenurk on 5° .



Joonis 20. Katuse välisrõhu arvutamise skeem

Sisepindadele mõjuv tuulerõhk arvutatakse vastavalt valemile (30): [13]

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi},$$

Kui c_{pi} on +0,2, siis on sisepindade tuulerõhk:

$$w_i = 0,39 * 0,2 = 0,08 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}.$$

Kui c_{pi} on -0,3, siis on sisepindade tuulerõhk:

$$w_i = 0,39 * (-0,3) = -0,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tsoonide netorõhud arvutatakse kasutades valemit (31). Kui $c_{pi} = 0,2$ siis vastav tsoonide netorõhk on välja toodud järgnevas tabelis (Tabel 15).

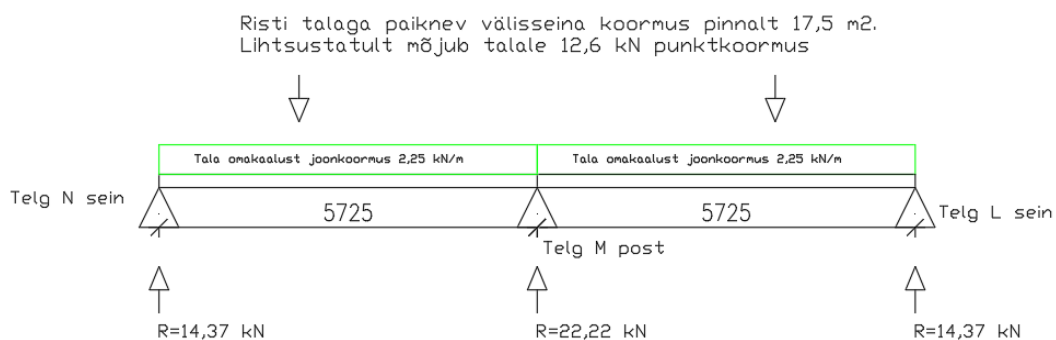
Tabel 15. Tsoonide netorõhud laienduse katusel [13]

Tsoon	$C_{pe,10}$	W_e	W_i	W_{neto}	Ühik
Tsoonis F	-1,7	-0,66	0,08	-0,863	kN/m ²
Tsoonis G	-1,2	-0,47	0,08	-0,668	kN/m ²
Tsoonis H	-0,6	-0,23	0,08	-0,434	kN/m ²
Tsoonis I	-0,6	-0,03	0,08	-0,434	kN/m ²
Tsoonis J	0,2	0,08	0,08	-0,122	kN/m ²

5.4.2 Planeeritava lisakorruse konstruktiivsed koormused

Teise korruse ehitusel luuakse teljele 10 kaks raudbetoonist 0,3x0,3 m lihttala, mis toetuvad posti kohale paneelile ning otsades kandvatele välisseinadele. Tala keskpunktist 3,605 m mõlemas suunas toetub talaga risti välissein, mille normatiivne koormus on tootja info põhjal 0,72 kN/m². Antud tala punkti toetub välisseinast 17,5 m² ehk lihtsustatult koondub antud punkti 12,6 kN suurune punktikoormus.

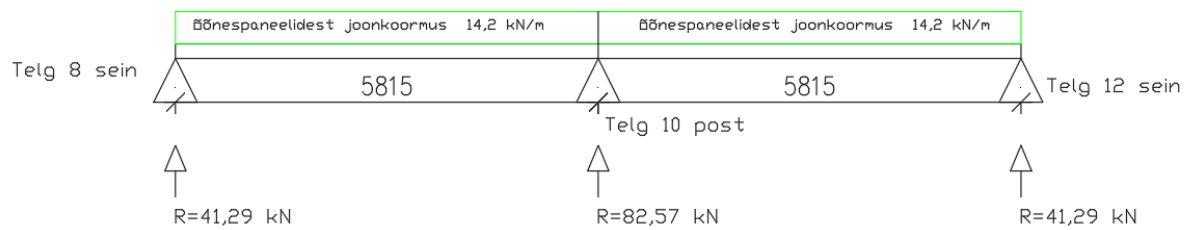
Lihttalades tekkivad koormused arvutatakse vastavalt konstruktori käsiraamatus esitatud valemitele ning tekkiv koormusjaotus on näidatud joonisel (Joonis 21). [22]



Joonis 21. Lisakorruse seinadest tekkiv koormus uuele talale

Hoone lisakorruse seinadest lisandub mõlemast lihttalast koormus postile 11,11 kN. Arvutuste lihtsustamiseks arvestame, et arvutatud koormus seinadest ja talast toetub läbi õõnespaneelide posti ristlõike tsentrisse.

Olemasolevale talale toetuvad õõnespaneelid, mis arhiivi materjali põhjal kaaluvad 1,7 t tükk ning mõõdud on 5960x1190x220 mm. Võttes arvesse hoone sümmeetriat, siis õõnespaneelidest lisandub olemasolevale talale joonkoormus väärtusega 14,2 kN/m. Tala on reaalses elus nurga all, et tekitada katusekalle, kuid antud juhul seda ei arvestata. Talas tekkivad koormused on nähtavad joonisel (Joonis 22).



Joonis 22. Olemasoleva betoontala koormused

Uuritava posti ülemisele lõikele toetub kaks tala, läbi mille ka ülejäänud elementide koormus toetub postile. Kuigi mõlemad talad edastavad oma koormused väikse eksentrilisusega, siis arvestatakse antud juhul, et koormused mõjuvad tsentrisse koormusskeemide sümmeetria tõttu. Kõik ülemisele ristlõikele mõjuvad koormused on välja toodud järgnevas tabelis (Tabel 16).

Tabel 16. Postile mõjuvad koormused

Koormused	Normatiivne koormus, kN/m ²	Osavarutegur	Arvutuslik koormus, kN/m ²	Pindala kus mõjub koormus, m ²	Arvutuslik koormus, kN
Katusekatte omakaal	0,49	1,2	0,59	21,04	12,37
Lumekoormus katusel	1,20	1,5	1,80	21,04	37,87
Tuulekoormus katusel	0,43	1,5	0,65	21,04	13,70
Põrandakatte omakaal	0,65	1,2	0,78	20,96	16,35
Kasuskoormus B	3,00	1,5	4,50	20,96	94,32
Teisaldatavad vaheseinad	0,50	1,5	0,75	20,96	15,72
Lisakorruse puitpost (C22) 0,3x0,3x3,1	1,14	1,2	-	-	1,37
Seinade koormus läbi abitala	11,11	1,2	-	-	13,33
Õõnes-paneelidest	82,57	1,2	-	-	99,08
Olemasoleva tala koormus	11,96	1,2	-	-	14,35
				Kokku koormus, kN:	318,47

5.4.3 Posti kandevõime kontroll

Töötjate ploki keskel asetseva posti kandevõime kontrolliks vajalikud lähteandmed on välja toodud tabelis (Tabel 17).

Tabel 17. Müüritise kandevõime arvutusel kasutatud algandmed

Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Ristlõike kõrgus	t	0,51	m
Ristlõike laius	b	0,51	m
Posti arvutuspikkus	h_{ef}	3,0	m
Juhusliku ekstsentrilisuse kriteerium	$h_{ef}/___$	450	
Saledus, millest suurema korral arvestatakse roomet	λ_c	15	
Müüritise mahukaal	ρ	22	kN/m ³
Mördi keskmine survetugevus	f_m	2,5	MPa
Kivi keskmine survetugevus	f	10,0	MPa
Abitegur	δ	0,81	
Müüritise normtugevuse konstant	K	0,55	
Materjali osavarutegur	γ_M	1,70	
Lõplik roometegur	Φ_∞	1,50	

Vastavalt peatükis 5.1.2 välja toodud metoodikale teostatakse arvutused ning tulemused on välja toodud tabelites (Tabel 18; Tabel 19)

Tabel 18. Töötajate ploki posti kandevõime arvutus ülemises ristlõikes

Ülemise ristlõike (i) kontroll (h=3,0)	Tähis	Väärtus	Ühik	Valem
Arvutuslik survejõud ristlõikes	$N_{Sd,i}$	318,47	kN	-
Arvutuslik paindemoment ristlõikes	$M_{Sd,i}$	0	kNm	-
Ekstsentrilisus (väliskoormusest)	$e_{0,i}$	0,000	m	Valem 18
Ekstsentrilisus (juhuslik)	$e_{a,i}$	0,007	m	Valem 17
Ekstsentrilisus (summaarne)	e_i	0,026	m	Valem 16
Survetsooni pindala	$A_{c,i}$	0,234	m ²	Valem 19
Ristlõike arvutuslik kandevõime	$N_{Rd,i}$	388	kN	Valem 27

Tabel 19. Töötajate ploki posti kandevõime arvutus keskmises ristlõikes

Keskmise ristlõike (<i>m</i>) kontroll (<i>h=1,8</i>)	Tähis	Väärtus	Ühik	Valem
Arvutuslik survejõud ristlõikes	$N_{Sd,m}$	331	kN	-
Arvutuslik paindemoment ristlõikes	$M_{Sd,m}$	0	kNm	-
Ekstsentrilisus (väliskoormusest)	$e_{0,m}$	0,000	m	Valem 24
Ekstsentrilisus (juhuslik)	$e_{a,m}$	0,007	m	Valem 17
Ekstsentrilisus (summaarne ilma roometa)	e_{mk}	0,007	m	Valem 23
Survetsooni pindala	$A_{c,m}$	0,253	m ²	Valem 19
Elemendi saledu	λ_h	5,882		Valem 22
Ekstsentrilisus (roomest tingitud)	e_k	0,000	m	Valem 25
Ekstsentrilisus (summaarne koos roomega)	e_{mk}	0,026	m	Valem 23
Nõtkete tegur	u	0,184		Valem 21
Nõtketegur	χ_m	0,983		Valem 20
Ristlõike arvutuslik kandevõime	$N_{Rd,m}$	413	kN	Valem 27

Ristlõike survekandevõime ja mõjuva survejõu kokkuvõtte on esitatud tabelis (Tabel 20).

Tabel 20. Kandevõime ja survejõu analüüs

Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Ülemise ristlõike arvutuslik survejõud:	$N_{Sd,i}$	318	kN
Ülemise ristlõike arvutuslik survekandevõime:	$N_{Rd,i}$	388	kN
Kasutatud survekandevõime protsent		82	%
Keskmise ristlõike arvutuslik survejõud:	$N_{Sd,m}$	331	kN
Keskmise ristlõike arvutuslik survekandevõime:	$N_{Rd,m}$	413	kN
Kasutatud survekandevõime protsent		80	%

Antud hoone osas on koos lisanduva koormusega tagatud posti kandevõime ülemises ja alumises lõikes. Vaadeldud lõigetes on posti kandevõimest kasutamata keskmiselt 19%, mis on piisav varu, kuid enne ehitust võiks võimalusel postile teostada täpsemad uuringud.

KOKKUVÕTE

Viimase kümnendi jooksul on Euroopa Liidus võetud vastu erinevaid määruseid kliimasoojenemise aeglustamiseks ning üks suur osa sellest on hoonefondi rekonstrueerimisega seotud määrused, mille lõppeesmärk on heitevaba hoonefond. Antud lõputöös analüüsiti NSV Liidu aegset tootmis-laohoone seisukorda, võimalusi rekonstrueerimiseks ja hoone kandekonstruktsioonide kandevõimet lisakoormuste korral.

1960ndatel Raplasse rajatud Päästekomando kompleks on tüüpprojekti põhjal rajatud raudbetoonehitis, mis on vahetanud omanike ning kasutusotstarvet korduvalt läbi ajaloo. Täpsemalt analüüsiti tänasel päeval eraomanikule kuuluvat kahte hoone osa. Hoone puhul on väljast kui ka seest näha erinevaid kahjustusi, mis on tingitud kulumisest või on niiskustehnilised kahjustused. Varasemalt on hoones tehtud remonti vastavalt vajadusele ning see koostöös pika hoone elueaga on nähtav hoone kahjustustes. Suuremaid kandekonstruktsiooni kahjustusi vaatluse käigus ei tuvastatud.

Hoone esialgsed arhiivi andmed ei olnud enam ajakohased, mistõttu hoone inventariseeriti ja loodi hoone mudel. Hoonele määrati energiatõhusamad piirded ning kütte-ventilatsiooni süsteem. Vastavalt hoone energiatõhususe arvutamise metoodika määrule koostati hoonele energiatõhususanalüüs kasutades IDA ICE programmi. Esialgse analüüsi põhjal ei saavutatud heitevaba hoone piirmäära ehk oli vaja lisada lokaalne taastuenergia süsteem. Antud juhul sobis selleks 20 päiksepaneeli lisamine katusele.

Hoone kahes punktis koostati postidele kandevõime analüüs selgitamaks välja, kas hoone kandekonstruktsioonid on arvestatud piisava varuga, et need peavad vastu päiksepaneelide paigaldusele ning ka hoone laiendamisele. Analüüsi tulemusena selgus, et konstruktsioonide kandevõime on tagatud, kuid töökoja osas on varu 7% ja laienduse osas on varu 19%. Kandevõime varu laiendusele on piisav, kuid päiksepaneelide lisakoormus võib ületada vastuvõtva posti kandevõime. Postile peaks enne paigaldust teostama täpsema analüüsi, eriti kuna antud arvutuses on arvestatud keskmiste või alla keskmiste kivi ja mördi survetugevustega.

SUMMARY

Analysis of the Load-Bearing Capacity of the Structures of a Production Building in Case of a Zero-emission Reconstruction

During the last decade, various regulations have been adopted in the European Union to slow down climate warming, and a large part of it is the regulations related to the reconstruction of the building stock, the ultimate goal of which is an emission-free building stock. This graduation thesis analyzes the condition of the production warehouse during the USSR, the possibilities for reconstruction, and the load-bearing capacity of the building's load-bearing structures.

The Rescue Command complex built in Rapla in the 1960s is a reinforced concrete building, built on the basis of a standard design, which has changed owners and purpose of use many times throughout history. In more detail, here are two parts of the building today. In the case of the building, various damages can be seen from the outside as well as from the inside, which are due to wear and tear or moisture-related damages. In the past, repairs have been made in the building as needed, and this, in cooperation with the long life of the building, is visible in the building.

The original archive data of the building was no longer up-to-date, so the building was inventoried, and a model of the building was created. More energy-efficient fences and a heating-ventilation system were assigned to the building. According to the regulations on the methodology for calculating the energy efficiency of the building, an energy efficiency analysis was prepared using the IDA ICE program. Based on the preliminary analysis, the emission-free building threshold was not reached, i.e., the need for solar panels was determined to make the building more energy efficient. By installing 21 solar panels on the roof, the minimum requirements were met.

At two points of the building, an analysis of the load-bearing capacity of the posts was prepared to find out whether the building's load-bearing structures have been considered with sufficient margin so that they can withstand the installation of solar panels and also the expansion of the building. As a result of the analysis, it turned out that the structures were designed with a 10% margin. This reserve is sufficient to install solar panels or to carry out a building extension. Reconstruction of the building to be emission-free is possible but it is advisable to carry out additional studies on the supporting structure.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „X-GIS 2.0 [maainfo]”, Maaamet. Vaadatud: 7. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo>
- [2] „ERA.T-2.4-1.5236 Rapla, Jõe tn / Viljandi mnt 17, Rapla Vabatahtliku Tuletõrje Ühingu tuletõrjedepoo”. 1972.
- [3] „COM(2021) 802 final, Annexes 1 to 9”. Euroopa Komisjon, 15. detsember 2021.
- [4] K. Õiger, *Ehitiste renoveerimine*. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2015.
- [5] „Energiatõhusus - Olemasolevate hoonete energiatõhusus | KredEx”. Vaadatud: 21. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.kredex.ee/et/energiatohusus-uuringud-ja-andmed/olemasolevate-hoonete-energiatohusus>
- [6] „EVS 908-1:2016”, EVS. Vaadatud: 30. september 2023. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-908-1-2016>
- [7] „EVS 908-1:2016”. 2016. Vaadatud: 23. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-908-1-2016>
- [8] „EVS-EN ISO 13370:2017”. Vaadatud: 5. mai 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-iso-13370-2017>
- [9] „Energiatõhusus - Uute hoonete energiatõhusus | KredEx”. Vaadatud: 23. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.kredex.ee/et/energiatohusus/uute-hoonete-energiatohusus>
- [10] „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika–Riigi Teataja”, Riigi teataja. Vaadatud: 23. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020012?leiaKehtiv>
- [11] „Alpha-Innotec Alterra”, Maaküte. Vaadatud: 24. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.maakyte.ee/soojuspumbad/maasoojuspumbad/alpha-innotec-alterra/>
- [12] „EVS-EN 1996-1-1:2005+A1:2012+NA:2013”. 2005. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1996-1-1-2005-a1-2012-na-2013-consolidated>
- [13] „EVS-EN 1991-1-4:2005”. Vaadatud: 5. mai 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-4-2005>
- [14] „EVS-EN 1991-1-3:2006”. 2006. Vaadatud: 29. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-3-2006>
- [15] „JA Solar 54-elemendiline päikesepaneel - Kodu Soojaks”. Vaadatud: 29. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://kodusoojaks.ee/toode/jasolar-54-elemendiline-mbb-pool-elemendiline-moodul/>
- [16] „Solar Mounting | Flat roofs”, BISOL. Vaadatud: 29. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.bisol.com/flat-roofs>
- [17] „EVS 920-5:2023”. 2023. Vaadatud: 29. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-920-5-2023>

- [18] „Solar-Planit”. Vaadatud: 5. mai 2024. [Online]. Available at: <https://www.solarplanit.de/solarplanit/>
- [19] „Скачать Серия ПК-01-111 Крупнопанельные железобетонные предварительно напряженные плиты покрытий размером 1,5х6 м. Рабочие чертежи”. Vaadatud: 5. mai 2024. [Online]. Available at: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293821/4293821002.htm>
- [20] „EVS-EN 1991-1-1:2002”. Vaadatud: 5. mai 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-1-2002>
- [21] „Скачать Серия ПК-01-115 Железобетонные балки пролетами 6 и 9 метров для покрытий с рулонной кровлей”. Vaadatud: 5. mai 2024. [Online]. Available at: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293821/4293821004.htm>
- [22] J. Rohusaar, *Ehituskonstruktori käsiraamat*. Ehitame-kirjastus, 2014.

LISAD

Lisa 1. Soojuserikaad vastavalt ruumile

Ruum	Piire	Soojusläbivus U (W/m ² ·K)	Piirde pindala A (m ²)	Juhtivuslik soojus- erikadu H _j (W/K)	Külmasild	Liitekohta soojusläbivus ψ (W/m·K)	Liitekohta pikkus l (m)	Külmasilla soojus- erikadu H _{ls} (W/K)	Õhulekke vooluhulk V _l (l/s)	Õhulekke soojus- erikadu H _{lnt} (W/K)	Sissepункte õhuhulk L (l/s)	Ventilatsiooni soojus- erikadu H _{vent} (W/K)	Siseõhu temperatuur t _s (°C)	Soojskadu φ (W)	Soojskadu ruutmeetri kohta φ (W/m ²)
Pesuruum	Välissein	0,142	57,60	8,2	VS-VS	0,06	3,85	0,23							
	Aken	0,79	15,00	11,9	A-VS	0,06	27	1,62							
	Välisuks	1,00	7,50	7,5	GU-VU	0,31	11	3,43							
	Pörand	0,295	106,00	31,3	P-VS	0,06	20,9	1,25							
	Katuslagi	0,086	106,00	9,1	KL-VS	0,08	20,9	1,76							
	Sum H		292,10	67,92				8,29	9,27	11,18	0	0,00	18	3408	32
Töökoda	Välissein	0,142	37,04	5,3	VS-VS	0,06	3,85	0,23							
	Aken	0,79	15,00	11,9	A-VS	0,06	27	1,62							
	Uksed	1,60	1,90	3,0	VS-VU	0,06	6	0,36							
	Pörand	0,295	106,00	31,3	P-VS	0,06	14	0,84							
	Katuslagi	0,086	106,00	9,1	KL-VS	0,08	14	1,18							
	Sum H		265,94	60,54				4,23	8,44	10,18	0	0,00	18	2923	28
Laoruum	Välissein	0,142	21,64	3,1											
	Pörand	0,295	30,00	8,9	P-VS	0,06	5,62	0,34							
	Katuslagi	0,086	30,00	2,6	KL-VS	0,08	5,62	0,47							
	Sum H		81,64	14,50				0,81	2,59	3,13	0	0,00	18	719	24
Laoruum 2	Pörand	0,295	8,00	2,4				0,00							
	Katuslagi	0,086	8,00	0,7				0,00							
	Sum H		16,00	3,05				0,00	0,51	0,61	0	0,00	18	143	18
Laoruum 3	Pörand	0,295	5,00	1,5				0,00							
	Katuslagi	0,086	5,00	0,4				0,00							
	Sum H		10,00	1,91				0,00	0,32	0,38	0	0,00	18	89	18
Laoruum 4	Pörand	0,295	5,00	1,5				0,00							
	Katuslagi	0,086	5,00	0,4				0,00							
	Sum H		10,00	1,91				0,00	0,32	0,38	0	0,00	18	89	18
Laoruum 5	Välissein	0,142	11,36	1,6											
	Pörand	0,295	21,00	6,2	P-VS	0,06	2,95	0,18							
	Katuslagi	0,086	21,00	1,8	KL-VS	0,08	2,95	0,25							
	Sum H		53,36	9,61				0,42	1,69	2,04	0	0,00	18	471	22
Elektrikilbiruum	Pörand	0,295	5,00	1,5											
	Katuslagi	0,086	5,00	0,4				0,00							
	Sum H		5,00	1,48				0,00	0,32	0,38	0	0,00	18	72	14
Töökoda 2	Välissein	0,142	54,27	7,7	VS-VS	0,06	3,9	0,23							
	Aken	0,79	20,00	15,8	A-VS	0,06	36	2,16							
	Uks	1,00	7,50	7,5	VS-GU	0,31	11	3,43							
	Pörand	0,295	159,00	46,9	P-VS	0,06	21,2	1,27							
	Katuslagi	0,086	159,00	13,7	KL-VS	0,08	21,2	1,78							
	Sum H		399,77	91,59				8,88	12,69	15,31	0	0,00	18	4515	28
Koridor	Pörand	0,295	36,00	10,6				0,00							
	Katuslagi	0,086	36,00	3,1				0,00							
	Sum H		72,00	13,72				0,00	2,29	2,76	0	0,00	18	642	18
Generaatori ruum	Pörand	0,295	5,00	1,5				0,00							
	Katuslagi	0,086	5,00	0,4				0,00							
	Sum H		10,00	1,91				0,00	0,32	0,38	0	0,00	18	89	18
Katlaruum	Pörand	0,295	12,00	3,5				0,00							
	Katuslagi	0,086	12,00	1,0				0,00							
	Sum H		24,00	4,57				0,00	0,76	0,92	0	0,00	18	214	18

Ruum	Piire	Soojusläbivus U (W/m ² ·K)	Piirde pindala A (m ²)	Juhtivuslik soojus- erikadu H _j (W/K)	Külmasild	Liitekohta soojusläbivus ψ (W/m·K)	Liitekohta pikkus l (m)	Külmasilla soojus- erikadu H _{ks} (W/K)	Õhulekke vooluhulk q _l (l/s)	Õhulekke soojus- erikadu H _{lrr} (W/K)	Sissepühke õhuhulk L (l/s)	Ventilatsiooni soojus- erikadu H _{vent} (W/K)	Siseõhu temperatuur t _s (°C)	Soojskadu ϕ (W)	Soojskadu ruutmeetri kohta ϕ (W/m ²)
Puidutöökoja	Välissein	0,142	41,32	5,9	VS-VS	0,06	3,85	0,23							
	Aken	0,79	5,00	4,0	A-VS	0,06	9	0,54							
	Uks	1,00	7,50	7,5	VS-GU	0,31	11	3,43							
	Põrand	0,295	48,00	14,2	P-VS	0,06	14	0,84							
	Katuslagi	0,086	48,00	4,1	KL-VS	0,08	14	1,17							
	Sum H		149,82	35,61				6,22	4,76	5,74	0	0,00	18	1855	39
Puidutöökoja 2	Välissein	0,142	53,99	7,7	VS-VS	0,06	3,85	0,23							
	Uks	1,00	22,50	22,5	VS-GU	0,31	33	10,30							
	Põrand	0,295	98,00	28,9	P-VS	0,06	19,9	1,19							
	Katuslagi	0,086	98,00	8,4	KL-VS	0,08	19,9	1,67							
	Sum H		272,49	67,50				13,39	8,65	10,43	0	0,00	18	3562	36
Puidutöökoja laoruum	Välissein	0,142	16,60	2,4				0,00							
	Aken	0,79	5,00	4,0	A-VS	0,06	9	0,54							
	Põrand	0,295	49,00	14,5	P-VS	0,06	5,61	0,34							
	Katuslagi	0,086	49,00	4,2	KL-VS	0,08	5,61	0,47							
	Sum H		119,60	24,98				1,35	3,80	4,58	0	0,00	18	1205	25
Kontor	Välissein	0,133	11,30	1,5	VS-VS	0,06	7,7	0,46							
	Aken	0,79	2,10	1,7	A-VS	0,06	11,6	0,70							
	Põrand	0,124	19,00	2,4	P-VS	0,06	5,4	0,32							
	Katuslagi	0,086	19,00	1,6	KL-VS	0,08	5,4	0,45							
	Sum H		51,40	7,15				1,94	1,63	1,97	0	0,00	20	453	24
Magamistuba	Välissein	0,133	3,53	0,5	VS-VS	0,06	5	0,30							
	Aken	0,79	2,10	1,7	A-VS	0,06	5,8	0,35							
	Põrand	0,124	8,00	1,0	P-VS	0,06	2,3	0,14							
	Katuslagi	0,086	8,00	0,7	KL-VS	0,08	2,3	0,19							
	Sum H		21,63	3,81				0,98	0,69	0,83	0	0,00	20	230	29
Vannituba	Põrand	0,124	9,00	1,1				0,00							
	Katuslagi	0,086	9,00	0,8				0,00							
	Sum H		18,00	1,89				0,00	0,57	0,69	0	0,00	20	106	12
Saun	Põrand	0,124	4,00	0,5				0,00							
	Katuslagi	0,086	4,00	0,3				0,00							
	Sum H		8,00	0,84				0,00	0,25	0,31	0	0,00	20	47	12
Abiruum	Välissein	0,133	3,40	0,5	VS-VS	0,06	2,5	0,15							
	Aken	0,79	2,10	1,7	A-VS	0,06	5,8	0,35							
	Põrand	0,124	18,00	2,2	P-VS	0,06	2,2	0,13							
	Katuslagi	0,086	18,00	1,5	KL-VS	0,08	2,2	0,18							
	Sum H		41,50	5,89				0,81	1,32	1,59	0	0,00	20	340	19
Köök	Välissein	0,133	6,00	0,8				0,00							
	Aken	0,79	2,10	1,7	A-VS	0,06	5,8	0,35							
	Uks	1,60	1,90	3,0	VS-VU	0,06	6	0,36							
	Põrand	0,124	20,00	2,5	P-VS	0,06	4	0,24							
	Katuslagi	0,086	20,00	1,7	KL-VS	0,08	4	0,34							
	Sum H		50,00	9,70				1,28	1,59	1,91	0	0,00	20	529	26
WC	Välissein	0,133	2,87	0,4	VS-VS	0,06	3,85	0,23							
	Aken	0,79	0,56	0,4	A-VS	0,06	3	0,18							
	Põrand	0,124	4,00	0,5	P-VS	0,06	1,4	0,08							
	Katuslagi	0,086	4,00	0,3	KL-VS	0,08	1,4	0,12							
	Sum H		11,43	1,66				0,61	0,36	0,44	0	0,00	20	111	28

Lisa 2. Energiamärgise arvutus

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed									
Arvutustsoonide arv	22								
Küttesüsteemi tüüp	Maasoojuspump								
-soojuse tootmine ja kütus	Radiatorküte								
-soojuse jaotamine	Sundventilatsioonisüsteem								
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Ei ole								
Jahutussüsteem (on/ei ole)	Vastavalt seadusele mitte eramu rekonstrueerimise väärtus								
Õhulekkearu väärtuse allikas	Liginullenergia eluhooned - Piirdetarindite joonsoojuslähivuste kataloog								
Joonsoojuslähivuse väärtuse allikas									

Soojuskadu läbi piirdetarindi				Soojuskadu läbi joon- ja punktsoojuslähivuste				Õhulekest tingitud soojuskadu	
Piirdetarind	g -	U_{ij} W/(m ² ·K)	A_{ij} m ²	$H_{ühivus}$ W/K	Joon- või punktsoojuslähivus	Ψ_{ij} W/(m·K)	l_{ij} m	H_{joonst} W/K	Omadus Suurus
Välissein VS-01		0,14	340,9	48,4	Välissein-välissein	0,06	24,4	1,5	Õhulekkearv q_{50} , 4,0
Välissein VS-02		0,13	91,6	12,2					
Katuslagi		0,09	855,6	77,0	Katuslagi-välissein	0,08	155,3	12,4	$m^3/(h \cdot m^2)$
Põrand pinnasel P-01		0,17	764,9	130,0					A_{vp} (välispiirded), m ² 2270,9
Põrand pinnasel P-02		0,15	96,8	14,5	Põrand pinnasel-välissein	0,06	154,1	9,2	
Välisuks		1,57	5,0	7,9	Akna seinakinnitus	0,06	140,0	8,4	Korruste arv (täisarv) 1,0
Garaaži uksed		1,03	45,0	46,4	Garaaži ukse seinakinnitus	0,31	79,2	24,6	
Aken (Kirde)	0,55	0,79	0,0	0,0	Ukse seinakinnitus	0,06	12,0	0,7	$\dot{V}_{leak}$, m ³ /s 0,0721
Aken (Kagu)	0,55	0,79	31,3	24,7	...	0,00	1,0	0,0	
Aken (Edel)	0,55	0,79	35,0	27,7	...	0,00	1,0	0,0	
Aken (Loe)	0,55	0,79	4,8	3,8	...	0,00	1,0	0,0	
Kokku:				$H_{ühivus}$ W/K 392,6				H_{joonst} W/K 56,8	$H_{õhuleke}$ W/K 86,9
Välispiirde summaarne soojuserikadu				$\Sigma H_{ühivus}$ W/K				536,3	
Välispiirde keskmine soojuslähivus				$\Sigma H_{ühivus} / A_{ühivus}$				0,2	
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$ m ²				784,0	
Hoone madala temperatuuriseadega pind				A_{madalh} m ²				0,0	
Välispiirde summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\Sigma H_{ühivus} / A_{köetav}$				0,68	
				W/(m ² ·K)					

Ventilatsioonisüsteem	Õhuvooluhulk sissep./väljat.	Süsteemi SFP	Soojustagasti tüüp	Soojustagasti temperatuuri suhtarv	Heitõhu min. temp. ¹	Sissepuhkeõhu temperatuur ²
	m ³ /s / m ³ /s	kW/(m ³ /s)		-	°C	°C
Ventilatsioonisüsteem	0,33	2	Plaat	0,8	0	18

¹ soojustagasti külmumise vältimine
² esitatakse konstantse sissepuhketemperatuuriseade puhul

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -	Kütteperioodi ³ keskmine soojustegur, -	Soojus- ³ pumba osakaal, -	Abiseadmete ⁴ elekter kWh/(m ² a)	Küttegaafik ⁵ °C / °C	Küttesüsteemi võimsus ⁴ Elekter kW	Soojus kW
Radiatorküte	-	0,97	3,9	0,975	-	55/45	-	18,6
Ventilatsiooni küte	1	1	-	-	-	-	0,5	-
Soe tarbevesi	-	1	2	0,975	-	5/55	-	-

³ esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul
⁴ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus

Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur	Aastase jahutusenergia osakaal ⁶ , -	Abiseadmete elekter kWh/(m ² a)	Jahutusgraafik ⁵ °C / °C	Jahutuskadude tegur $\beta_{gt}, \beta_{elk}, \beta_{rs}, \dots$
1 (nt. tsentraalne)	-	-	-	-	-
2 (nt. SPLIT)	-	-	-	-	-

⁵ arvutustliku välisõhu temperatuuri korral, esitatakse vedeliksüsteemide puhul
⁶ 1,0 juhul kui puudub vabajahutus

Lokaalse taastuvenergia süsteemid	Päikese-kollektori aktiiv-pindala, m ²	Päikese-paneelide max võimsus, kW	Tuulegeneraatori nimivõimsus, kW
1 (nt päikesepaneelid)		8,3	
...			

Vabasoojused	Inimesed	Seadmed	Valgustus	Kasutusaste	Kasutusaeg päeva nädalas tundi päevas
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	-	d h
Tööstushoone	4	12	12	0,55	5 12

Kuupäev	Nimi	/alkkirjastatud digitaalselt/
---------	------	-------------------------------

Energiaarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta									
Hoone kasutusotstarve	11101-Üksikelamu				☐ Uusehitus				
Aadress					☒ Oluline rekonstrueerimine				
Ehitusaasta	2022					☐ Rekonstrueerimine			
Kõetav pind	784	m ²					☐ Olemasolev hoone		
Madala temp.seadega pind	0	m ²							
Netopind	784	m ²							
Energiaühikusarv	108	kWh/(m ² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)							
Energiaühikusarv B	123	kWh/(m ² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)							
a Energiaühikusarv ilma lokaalselt toodetud elektrita									
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused massi või kogus/a	maahuühik	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalutud energiakasutus kWh/(a m ²)	
Elekter	-	-	42191	53,8	678	0,9	2,0	105,9	
Summa	-	-					-	106	
Lokaalselt toodetud ja eksporditud energia			Lokaalselt toodetud		Eksporditud		Omatarbe osakaal		
			kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/a	kWh/(a m ²)	%		
Soojusenergia päikesest			0,0						
Elekter päikesest			6777	8,6	678	0,9	90		
Summaarne energiakasutus			Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)			
Küttesüsteem			-	-	-	-			
Ruumide küte			8430	-	10,8	-			
Ventilatsiooniõhu soojendamine			5611	-	7,2	-			
Tarbevee soojendamine			2411	-	3,1	-			
Abiseadmete elekter			-	-	-	-			
Ventilatsioonisüsteem ¹			5769	-	7,4	-			
Jahutussüsteem			-	-	-	-			
Abiseadmete elekter			-	-	-	-			
Valgustus			2943	-	3,8	-			
Seadmed			23126	-	29,5	-			
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)			48290	-	61,6	-			
1 ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks									
Netoenergiavajadus			kWh/a	kWh/(a m ²)					
Ruumide küte ²			29734,4	37,9					
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³			5610,9	7,2					
Tarbevee soojendamine			4704	6,0					
Ruumide jahutus			-	-					
Ventilatsiooniõhu jahutus			-	-					
2 sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis									
3 arvutatud koos soojustagastusega									
Arvutusprogrammi nimi ja versioon			IDA ICE 4.8						
Kuupäev			Nimi			/allkirjastatud digitaalselt/			

Lisa 3. Hoone plaan kontrollitavate postidega

