

Aire Needo

**HOONE RENOVEERIMISEGA
SAAVUTATUD
ENERGIATÕHUSUSE
ANALÜÜS**

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond
Hoonete ehituse eriala

Tallinn 2014

Tõendan, et lõputöö on minu, Aire Needo kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja loome- ja teadustööde seisukohad on viidatud.

Lõputöö koostamine, kaitsmine ja selles sisalduv informatsioon on *prima facie* õppeotstarbeline ja töö on kaitstud autoriõiguse seadusega, mille kohaselt on autoril töö suhtes mittevahalised õigused.

Juhul, kui seda lõputööd kasutatakse muudel põhjustel kui reprodutseerimine õppe- ja teaduslikel eesmärkidel, mis ei ole ajendatud ärilistest huvidest, siis laienevad lõputöö autorile lisaks mittevahalistele õigustele ka vahelised õigused.

Lõputöö autor: Aire Needo
(allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood 100820527

Õpperühm EI71/81

Lõputöö vastab ülesandele ja kehtivatele nõuetele.

Juhendaja: Anti Hamburg.....
(allkiri ja kuupäev)

Kaitmisele lubatud “.....” 20....a

Ehitusteaduskonna dekaan

Martti Kiisa
(allkiri)

Ehitusteaduskond

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: Aire Needo Üliõpilase kood 100820527 Õpperühm EI71/81

Eriala: Hoonete ehitus (kood 1827)

Lõputöö teema: Hoone renoveerimisega saavutatud energiatõhususe analüüs

Lähteandmed töö koostamiseks:

- hoone inventariseerimisjoonised,
- korterelamu renoveerimise põhiprojekt,
- energiaaudit,
- olemasolevale energiaauditile koostatud energiaauditi lisa.

Töö koosseis, lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- leida hoone arvutuslik kütetarbimine renoveerimiseelses olukorras;
- leida hoone arvutuslik kütetarbimine renoveerimisjärgses olukorras;
- energiaauditi ja sellele koostatud energiaauditi lisa analüüs ja võrdlus antud töö autori saadud tulemustega;
- leida tarbitud kütteenergiate koguste võrdlusest hoone renoveerimisega saavutatud soojusenergia sääst ja kõrvutada tulemust erinevate energiaanalüüside resultaatidega;
- erinevad tasuvusaja arvutused renoveerimise maksumusele ning nende arvutusmeetodite tulemuste võrdlus.

Seletuskiri peab olema trükitud kas masinkirjas või arvutil.

Joonised vormistada kas käsitsi või arvutil.

Lõputöö juhendaja: Anti Hamburg.....
(nimi) (allkiri) (kuupäev)

Lõpetaja: Aire Needo.....
(nimi) (allkiri) (kuupäev)

Kinnitan ülesande: Martti Kiisa
Ehitusteaduskonna dekaan (allkiri) (kuupäev)

Lõputöö ülesanne antud: 25. november 2013 a.

Lõputöö esitamise tähtaeg: 12. mai 2014 a.

SISUKORD

Sissejuhatus	7
1. Objekti iseloomustus	9
1.1. Hoone üldandmed	9
1.2. Hoone asukoht ja paiknemine	10
1.3. Hoone välistarindite kirjeldus	10
1.3.1. Sokkel ja vundament	10
1.3.2. Seinad	11
1.3.3. Katus	11
1.3.4. Avatäited	11
1.4. Hoone tehnosüsteemi kirjeldus	12
1.4.1. Küte	12
1.4.2. Ventilatsioon	12
2. Korterelamu arvutuslik erisoojuskadu renoveerimiseelses olukorras	13
2.1. Hoone soojuskadud läbi välispiirete	13
2.1.1. Välisseinte soojusjuhtivuse arvutamise meetoodika	13
2.1.2. Välisseina soojusjuhtivuse arvutamise tulemus	14
2.1.3. Kolmanda korruse lae soojusjuhtivuse arvutamise tulemus	15
2.1.4. Kütmata keldri kohal paikneva esimese korruse põranda soojusjuhtivuse arvutamise meetoodika	15
2.1.5. Kütmata keldri kohal asuva esimese korruse põranda soojusjuhtivuse arvutuse tulemus	17
2.1.6. Avatäited	18
2.2. Välispiirete erisoojuskao leidmine	18
2.3. Hoone joonkülmasildadest tulenevad soojuskadud	19
2.3.1. Hoone joonkülmasildadest tuleneva soojuskao arvutamise meetoodika	19
2.3.2. Hoone joonkülmasildadest tuleneva erisoojuskao arvutamise tulemus	19

2.4.	Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tulenev soojuskadu	20
2.4.1.	Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva erisoojuskao arvutamise metoodika	21
2.4.2.	Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva erisoojuskao arvutuse tulemus..	21
2.5.	Hoone erisoojuskao arvutamise tulemus	22
2.6.	Hoone vabasoojuskooormuse leidmine	23
2.6.1.	Päikeselt tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise metoodika	24
2.6.2.	Päikeselt tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus	24
2.6.3.	Inimestelt, valgustitest ja elektriseadmetest tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise metoodika.....	26
2.6.4.	Inimestelt, valgustitest ja elektriseadmetest tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus	26
2.6.5.	Hoone kogu vabasoojuse arvutamise metoodika ja arvutuslik tulemus	27
2.7.	Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine	27
3.	Korterelamu kütteenergia erikulu leidmine renoveerimisele olukorrale	29
4.	Korterelamu arvutuslik erisoojuskadu renoveerimisjärgses olukorras	32
4.1.	Välisseinte soojusjuhtivuse arvutamise tulemus	32
4.2.	Hoone kolmanda korruse lae soojuskao arvutuse tulemus	33
4.3.	Kütmata keldri kohal asuva esimese korruse põranda soojusjuhtivuse arvutuse tulemus	33
4.4.	Avatäited.....	35
4.5.	Välispiirete erisoojuskao arvutamise tulemus	35
4.6.	Hoone joonkülmasildadest tuleneva soojuskao arvutamise tulemus.....	36
4.7.	Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva soojuskao arvutamise tulemus	36
4.7.1.	Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva soojuskao arvutamise metoodika ja tulemus.....	37
4.8.	Hoone erisoojuskao arvutamise tulemus	39
4.9.	Vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus.....	41
4.9.1.	Päikesest tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus	41
4.9.2.	Inimestelt, valgustitest, elektriseadmetest tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus	42

4.10. Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine	42
5. Hoone kütteenergia erikulu leidmine hoone renoveerimisjärgsele olukorrale.....	44
6. Hoone saavutatud energiasääst läbi erinevate energiaanalüüside	46
6.1. Kütteenergia tarbimise analüüside tulemused renoveerimiseelses olukorras.....	46
6.2. Kütteenergia tarbimise analüüside tulemused renoveerimisjärgses olukorras	49
6.3. Saavutatud kütteenergia sääst reoveerimistöödelt	49
7. Renoveerimistööde maksumus ja tasuvusaeg	52
7.1. Energiasäästu andvad tööd	52
7.2. Tarvilikud lisatööd.....	53
7.3. Lihttasuvusaeg	53
7.4. Tasuvusaeg arvestatud kütuse lineaarse hinnatõusuga ajas.....	54
7.5. Tasuvusaja arvutuste tulemus	55
Kokkuvõte	57
Summary	59
Viidatud allikad	61
Lisa 1. Energiaaditi lisa.....	63
Lisa 2. Materjalide soojaerijuhtivuse väärtused	64
Lisa 3. Hoone tarbimisandmed	65
Lisa 4. Kortermaja inventariseerimisjoonised.....	66

SISSEJUHATUS

Üha enam süveneva energiasäästlikkuse ajastul suunatakse ja reglementeeritakse säästma energiat, mis kulub hoonete ülalpidamisse. Uusehitiste projekteerimisel nõutakse läbimõeldust hoone energiasäästlikuks toimimiseks. Kuid on väga palju vanu ehitisi, mõeldes seejuures kortermaju, millede energiakulu on väga kõrge. Tihtipeale nende majade elanike suurimaks probleemiks on kodude liiga suured küttearved ja halb sisekliima. Tegu on käsitletava probleemiga, millele on lahenduse leidnud juba mitmed korterelamud. Hoone õige soojustamine ja kaasajastatud tehnosüsteemide kasutamine tagab väiksema kütteenergia vajaduse ja parema sisekliima, mis omakorda tõstab elanike kindlustunnet kallineva kütteenergia hinna eest.

Renoveerimiseks kuluvad ehitustööde maksumused on kõrged, mille tõttu võetakse pangast laenu, mis omakorda suurendab elanike maksukoormust. Tihtipeale pole kõik korterelamu elanikud nõus renoveerimistöödega just maksukoormuse suurenemise tõttu ning ollakse skeptilised renoveerimisest tuleneva tegelikult kokkuhoitava kütteenergia maksumuse pealt. Renoveerimistöödega oldaks rohkem nõus, kui seda toetaksid välisinvestorid. Praegu pakub korterelamute renoveerimise toetust Sihtasutus (SA) KredEx, kelle põhimõtteks on toetada renoveermistööde maksumust, mis tagavad hoonele kütteenergia kokkuhoidu ning parandavad hoone sisekliimat. Ometigi on taotlejaid rohkem kui suudetakse toetada, mis teeb renoveerimistöödega alustamise otsuse paljude elanike ja korteriühistute jaoks raskemaks.

Käesolevas töös on võetud uurimise alla 1985. aastal ehitatud kolmekordne 18 korteriga elamu, millele on 2013. aastal teostatud kompleksne renoveerimine. Kortерelamu on renoveeritud Sihtasutus KredEx toetusega, mis eeldab hoonele energiaanalüüsi koostamist renoveerimise eelsele ja järgnevale olukorrale. Antud objektile on 2010. aastal koostatud energiaaudit [1] ja 2012. aastal on selle järgi väljastatud energiaauditi lisa (Lisa 1), millest on juhitud renoveerimistööde teostamisel.

Lõputöö esimeseks eesmärgiks on analüüsida hoone kütteenergia kulu renoveerimiseelses olukorras. Selleks leiab autor kortermaja mahud, milleks kasutatakse hoone inventarseerimisjooniseid (Lisa 4)

ja renoveerimistööde jaoks koostatud põhiprojekti jooniseid [2], mis tulenevad hoone ehitusprojekti tüübist 113-EKE-11. Leitakse hoone välispiiretest, külmasildadest ja õhuvahetusest tulenevad erisoojuskaod ning vabasoojuskoomus. Saadakse kraadpäevadega korrigeeritud hoone kütteerivajadus, mida kõrvutatakse energiaauditis ja selle järgi koostatud lisas välja toodud väärtusega ning reaalselt 2009. aastal tarbitud kütteenergia eritarbimise suurusega.

Teiseks eesmärgiks on leida hoone arvutuslik küttestarbimine renoveerimisjärgses olukorras, et seda võrrelda tegeliku küttestarbimisega. Selleks koostab lõputöö autor küttebilansi, milles võrreldakse autori arvutuslikult saadud tulemust hoone seitsme kuulise kütteperioodi jooksul tegelikult tarbitud kütteenergiaga.

Lõpptulemusena leitakse arvutuslikult energiasäästu väärtus ning võrreldakse selle erinevust tegelikult saavutatud säästuga. Kokkuvõttena kõrvutatakse reaalselt saavutatud kütteenergia sääst erinevate analüüside tulemustega. Hinnatakse energiaauditi lisas lubatud ja SA KredExi toetusnõudes määratud nõuete täitmist.

Kolmandaks vaadeldakse renoveerimistööde maksumust läbi lihttasuvusaja kui ka ajas lineaarselt kasvava kütuse hinnatõusuga arvestava tasuvusajaga. Võrreldakse kahe erineva arvutusmeetodi arvutuslikke tulemusi ja hinnatakse nende mõju renoveerimisotsuste tegemisel.

1. OBJEKTI ISELOOMUSTUS

Uuritavaks objektiks on kortermaja aadressil Palo tee 22, Lasva vald, Võrumaa. Hoonet haldab Lasva Korterühistu Ants. Viilkatusega 18 korteriga hoone välisseinad on ehitatud gaaskukeroonplokkidest ja vundament monteeritavatest raudbetoonplokkidest. Hoone on ehitatud ehituse tüübi 113-EKE-11 seeria järgi.

1.1. Hoone üldandmed

Hoone on kolmekordne ja kolme trepikojaga korterelamu, mille kõik 18 eraldi korterit kasutatakse elamispindadena. Hoonele on 2013. aastal teostatud kompleksne renoveerimine, mille käigus teostati soojustustöid, tehnosüsteemide renoveerimist ning töid hoone ehitusliku kui ka arhitektuurilise seisukorra parandamiseks.

Hoone üldandmeid, mis pärinevad ehitisregistrist [3]:

- Ehitisregistri kood 113005068,
- Esmase kasutuselevõtu aasta 1985,
- Renoveerimise aasta 2013,
- Ehitisalune pind 576,00 m²,
- Suletud netopind 1590,10 m²,
- Hoone maht 5941 m³,
- Eluruumide pind 1140,60 m².

1.2. Hoone asukoht ja paiknemine

Hoone asub aadressil Palo tee 22, Lasva vald, Võrumaa.

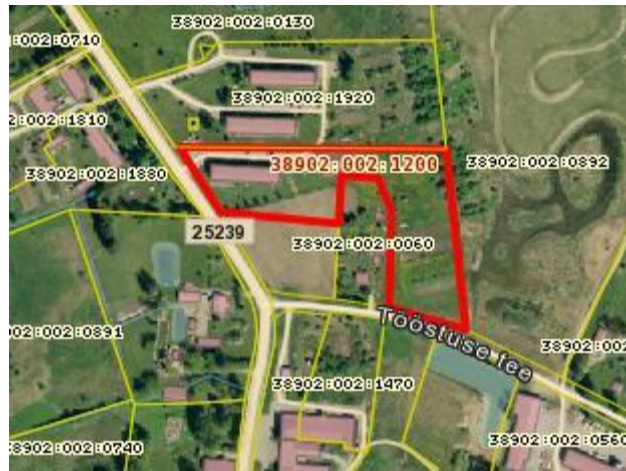


Foto 1. Hoone asukoht [4]

Hoone paikneb pikimast küljest põhja-lõuna suunal. Kortermajal on kuus eraldi sissepääsu.

1.3. Hoone välistarindite kirjeldus

1.3.1. Sokkel ja vundament

Vundamendi ehituseks on kasutatud 400 mm paksuseid monteeritavaid raudbetoonplokke. Renoveerimise käigus on sokli kui ka vundamendi osa kaetud hoone pikisuunas 100 mm ja külgmised seinad 150 mm paksuste polüstüreenplaatidega ning kaetud tsementkiudplaatidega. Renoveerimise käigus on 600 mm sügavuselt maapinnast raudbetoonplokid kaetud võõrhüdroisolatsiooniga ja soojustatud sama paksuse soojustusmaterjaliga nagu sokli osagi. [2: 7-8] [5]

Vundamendi sisemised seinad on täisulatuses mehaaniliselt kui ka keemiliselt puhastatud ning praod ja suuremad avaused täidetud krohviga. [5]

Vundamendi seinas paiknevad plastraamistuses kolmekordse pakettklaasidega mitteavanevad ja kaldavatavad aknad. Aknapinda on pindalaliselt vähendatud. Paigaldatud avatäidete soojajuhtivusarv on projektdokumentatsiooni kohaselt 1,1 W/m²K. Akende välispõsed on soojustatud ning kaetud kompaktplaadiga. [2: 7-8] [5]

1.3.2. Seinad

Gaaskukeroonplokkidest välisseinad on soojustatud polüstüreenist soojustusplaatidega. Tuleohutuse nõuete kohaselt on välisseinad kaetud 2,0 meetri kõrguseni kivivillaga. Tuletõkkeseptsiooni piiridele on paigaldatud 200 mm laiused kivivillaribad, vältimaks tule levikut ühest sektsioonist teise. Viimistluseks on kasutatud armeeritud õhekrohvi ning värvi. [2: 8]

Hoone otsaseinad on soojustatud 200 mm paksuselt vahtpolüstüreeniga ja kõva villaplaadiga, eeldatav seinad soojajuhtivuse väärtus on $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$, hoone pikiseinad on kaetud 150 mm soojaisolatsioonimaterjalidega, pikiseina eeldatav soojajuhtivusarv on $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$. [2: 8]

Hoone kõikide akende kohal on akna laiuselt ja kõrgeimast äärest 600 mm kõrguseni ulatuv ehitusaegselt monteeritud puitkilbid. Renoveerimise käigus kinnitati puitkilpidele termoprofiilidest karkass, mille vahemik on täidetud 100 mm polüstüreeniga ning selle peale puitkarkass, mille vahemik on täidetud 150 mm paksusse vahtpolüstüreeniga. Karkass on väljaspoolt kaetud tsementkiudplaadiga. [2: 8]

Hoone mõlema külje sissepääsuavasid on ehituslikult muudetud, mõlemal pool maja asuvad kuus eraldi sissepääsu, mille seinad on laotud 150 mm paksustest keramsiitplokkidest ning soojustatud 100 mm paksuse kivivillaga. [2: 8] [5]

Hoone rõdude alused on soojustatud 50 mm kõva kivivillaga ja kaetud õhekrohvisüsteemiga. [2: 9]

1.3.3. Katus

Hoonele on paigaldatud uus profiilplekist katusekate. Kortermaja paneelidest pööningu vahelaelt on eemaldatud praht ning pööningupealne on soojustatud 300 mm puistevillaga. Arvatav pööningu soojusjuhtivuse väärtus pärast soojustustöid on $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$. [2: 9-10] [5]

1.3.4. Avatäited

Hoonele on paigaldatud uued kergmetallist välisüksed, mille soojusjuhtivuse arvaks on arvatud $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Välimised uksepaled on soojustatud ja kaetud õhekrohviga. [5]

Korterite ehitusaegsed puitraamil kahekordse klaasinguga aknad on vahetatud plastraamistuses kolmekordsete pakettklaasidega. Paigaldatud aknaploki soojajuhtivusarvaks on arvatud $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Akende välispõsed on soojustatud ja krohvitud õhekrohvisüsteemiga. [2: 8-9] [5]

1.4. Hoone tehnosüsteemi kirjeldus

1.4.1. Küte

Kogu hoone soojakandjaks on vesi ning renoveerimise käigus on hoonele paigaldatud ühtne kahetorusüsteemil baseeruv küttesüsteem. Soojussõlm on varustatud ühe soojusvahetiga. [2: 18-21]

Hoone kõik 24 püstikut on varustatud tasakaalustusventiilidega. Kütte jaotustorustikud on korrektselt isoleeritud koorikisolatsioonimaterjaliga. Korteritesse paigaldatud kõik radiaatorid on varustatud reguleerimisventiilidega ja individuaalsete küttekulujaoturitega. Igasse koridori on paigaldatud kaks küttekeha ja kedrisse on paigaldatud kaks küttekeha, kõik nimetatud radiaatorid on varustatud reguleerimisventiilidega. [2: 18-21]

1.4.2. Ventilatsioon

Hoone on varustatud ventilatsioonisüsteemiga. Eluruumides ja trepikodades on regeneratiivse soojatagastusega paaris töötavad ruumipõhised ventilatsiooni seadmed. Köögis asuvad välisõhuklapid, mis on ühendatud ventilatsioonikorstnaga ja lisaks pliidikubud, kuid viimased mitte igas korteris. [2: 21-23] [5]

Vannitubadesse on paigaldatud sundväljatõmbeseadmed. Kuna valdavalt on vannituba ja WC ruumid eraldi, siis väljatõmme on lahendatud vannitoa ruumist. WC-s eraldi väljatõmme puudub, selleks on kahe ruumivahelise seina sisse tehtud ava, mis tagaks õhu liikumise. Renoveerimise käigus paigaldati vannitubadesse väljatõmbeventilaatorid, mis töötavad õhuniiskuse reguleerimise süsteemi järgi, mida iga elanik saab ise seadistada. Korterites, kus asusid toimivad sundventilaatorid, jäeti alles. Renoveerimise käigus puhastati ja korrastati ventilatsioonikorstnate šahtid. [2: 21-23] [5]

2. KORTERELAMU ARVUTUSLIK ERISOOJUSKADU RENOVEERIMISEELSES OLUKORRAS

Antud peatükis on kirjeldatud korterelamu soojuskaod arvutuslikku meetodit. Arvutustes kasutatud kõik piirdetarindite mõõtmised ja mahud tulenevad hoone inventariseerimisjoonistelt (Lisa 4) ja renoveerimise põhiprojekti joonistelt [2]. Hoone konstruktsiooni erinevate kihtide materjalide andmed on saadud hoonele koostatud energiasertifikaadist [1], hoone renoveerimise põhiprojekti ehituskirjeldusest ja –joonistelt [2] kui ka usutledes hoone korteriühistu liikmega. Arvutustes kasutatakse köetava pinna mahuks 1320,56 m².

Eesmärgiks on leida hoone erisoojuskaod läbi välistarindite ja külmasildade ning ventilatsioonist ja infiltratsioonist tulenevast õhuvooluhulgast. Välja selgitatakse ka korterelamu vabasoojuskoormus, mille allikateks on päike, inimesed, elektriseadmed ja valgustus. Saadud arvutuste tulemusena leitakse hoone tasakaalutemperatuur, mida kasutatakse edasistes arvutustes.

2.1. Hoone soojuskaod läbi välispiirete

Hoone välispiirete soojakaod hõlmavad endas hoone konstruktsioonidest väljuvat soojusenergia hulka, mis on sõltuv erinevate materjalide omadustest. Alapeatükkides 2.1.1. kuni 2.1.6. on valemitena kui ka arvutustulemustena välja toodud hoone erinevate piirete soojajuhtivuse arvvaartused. Materjalikihtide arvutuslikud soojusjuhtivuse vaartused tulenevad lisa 2-s (Tabel 36) välja toodud materjalide soojaerijuhtivuse vaartusi kasutades.

2.1.1. Välisseinte soojusjuhtivuse arvutamise metoodika

Soojatakistuse arvutamiseks on kasutatud materjalikihi paksuse ja selle soojaerijuhtivuse jagatist (Valem 1). Soojatakistuse valem tuleneb standardist EVS 908-1:2010 [6: 20].

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (1)$$

kus R [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] – soojustakistus;
 d [m] – materjalikihi paksus;
 λ [W/mK] – materjali soojuseri juhtivus.

Piirdetarindi erinevate materjalide arvutuslike soojatakistuste väärtuste ja piirde sise- ning välispinna soojatakistuste [6: 21] summeerimisel saadakse mitmest erinevast homogeenest materjali kihist koosnev tarindi kogusoojatakistus. Kasutatud valem tuleneb standardist EVS 908-1:2010 [6: 20].

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

kus R_T [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] – piirdetarindi kogusoojatakistus;
 R_{si} [$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$] – piirde sisepinna soojatakistus;
 R_1, R_2 [$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$] – iga materjalikihi soojatakistus;
 R_{se} [$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$] – piirde välispinna soojatakistus.

Soojajuhtivus leitakse erinevate homogeensete materjalikihtide soojatakistuste summa pöördväärtusest. Antud valem tuleneb standardist EVS 908-1:2010 [6: 20].

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad (3)$$

kus U [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] – välispiirde soojusjuhtivus;

2.1.2. Välisseina soojusjuhtivuse arvutamise tulemus

Iga konstruktsiooni materjali kihi kohta on leitud arvutuslikult soojustakistuse (Valem 1) väärtus ja materjalikihtide summeerimisel ning selle pöördväärtusena on saadud sein konstruktsiooni soojusjuhtivuse arv (Valem 3). Hoone pikiseinte keskmine soojusjuhtivus on leitud arvestatuna piirdetarindi erinevatest konstruktsiooni osadest tuleneva soojajuhtivusväärtuse ja tarindi mahulisest osakaalust.

Tabel 1

Välisseinte soojusjuhtivusarvu leidmine				
Välispiirde nimetus	Materjali kihtide nimetus ja paksus	Soojatakistus R, m ² K/W	Välispiirde osa soojusjuhtivus U, W/m ² K	Välispiirde soojusjuhtivus U, W/m ² K
Hoone pikiseinad	gaaskukeroonplokk 300 mm + krohv 30 mm	1,28	0,78	0,79
	puitkilp + ehitusaegne soojustus 100 mm	1,21	0,82	
Hoone otsaseinad	gaaskukeroonplokk 300 mm + krohv 30 mm	1,28	0,78	0,78

2.1.3. Kolmanda korruse lae soojusjuhtivuse arvutamise tulemus

Kolmanda korruse lae soojakadude arvutamisel on kasutatud eelnevalt kirjeldatud välispiirde soojakadude arvutamise meetodikat (Peatükk 2.1.1).

Tabel 2

Kolmanda korruse lae soojusjuhtivusarvu leidmine			
Välispiirde nimetus	Materjali kihtide nimetus ja paksus	Soojatakistus R, m ² K/W	Välispiirde soojusjuhtivus U, W/m ² K
Kolmanda korruse lagi	õõnesbetoonpaneel 220 mm + ehitusaegne soojustus - räbu ja saepuru segu 12 mm	1,13	0,88

2.1.4. Kütmata keldri kohal paikneva esimese korruse põranda soojusjuhtivuse arvutamise meetoodika

Esimese korruse põranda arvutamiseks kasutatakse kütmata keldri kohal asuva põranda soojajuhtivuse arvutamise valemit (Valem 4), mis tuleneb standardist EVS-EN ISO 13370:2008 [7: 18].

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (hPU_w) + (0,33 \times nV)}, \quad (4)$$

- kus U [W/m²K] – keldrilae soojusjuhtivus;
 U_f [W/m²K] – esimese korruse põranda soojusjuhtivus;
 U_w [W/m²K] – keldriseina maapinnas ülevalpool oleva osa soojusjuhtivus;
 U_{bw} [W/m²K] – keldriseina soojusjuhtivus allpool maapinda;
 U_{bf} [W/m²K] – keldri põranda soojusjuhtivus;

$A [m^2]$	– keldri põranda pindala;
$h [m]$	– keldri kõrgus;
$z [m]$	– keldriseina kõrgus allpool maapinda;
$n [1/h]$	– keldri õhuvahetuse kordarv;
$V [m^3]$	– keldri maht;
$P [m]$	– keldri põranda ümbermõõt.

Keldriseina soojusjuhtivus allpool maapinda arvutamise metoodika [7: 17]:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5 \times d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right), \quad (5)$$

kus $\lambda [W/mK]$	– pinnase soojusjuhtivus;
$\pi [3,14159]$	– pii arv;
d_t	– põranda ekvivalent;
d_w	– seina ekvivalent.

Esimese korruse põranda soojusjuhtivuse arvutamise metoodika [7: 16]:

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

kus $R_f [m^2K/W]$	– esimese korruse põranda kihtide soojustakistus;
$w [m]$	– keldri seina paksus.

Vundamendi seina soojusjuhtivuse arvutamise metoodika [7: 17]:

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}), \quad (7)$$

kus $R_w [m^2K/W]$	– keldriseina kihtide soojustakistus.
--------------------	---------------------------------------

Keldri põranda soojusjuhtivuse leidmine [7: 16]:

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right), \quad (8)$$

kus $B' [m]$	– põranda karakteristik.
--------------	--------------------------

Põranda tunnusmõõtme leidmine [7: 11]:

$$B' = \frac{A}{0,5P}, \quad (9)$$

kus $B' [m]$	– põranda karakteristik.
--------------	--------------------------

2.1.5. Kütmata keldri kohal asuva esimese korruse põranda soojusjuhtivuse arvutuse tulemus

Esimese korruse põranda ja sokli seina soojajuhtivuse arvutamisel on tuginetud piirdetarindi soojusjuhtivuse leidmise valemitele (Valem 1; 2; 3).

Tabel 3

Esimese korruse põrandakonstruktsiooni soojajuhtivuse leidmine

Välispiirde nimetus	Materjali kihtide nimetus ja paksus	Soojatakistus R, $\text{m}^2\text{K/W}$	Välispiirde soojusjuhtivus U, $\text{W/m}^2\text{K}$
Esimese korruse põrand	raudbetoonpaneel 300 mm + soojustus 50 mm puitsõrestik puitplaat 25 mm viimistlus	1,67	0,60

Tabel 4

Keldri seina soojusjuhtivuse leidmine üleval pool maapinda

Välispiirde nimetus	Materjali kihtide nimetus ja paksus	Soojatakistus R, $\text{m}^2\text{K/W}$	Välispiirde osa soojusjuhtivus U, $\text{W/m}^2\text{K}$	Välispiirde soojusjuhtivus U, $\text{W/m}^2\text{K}$
Keldri sein	monteeritavad raudbetoonplokid 400 mm + krohv	0,52	1,91	1,94
Aknad	puitraamil kahekordse klaasinguga aknad	0,38	2,60	

Kütmata keldri soojajuhtivuse arvutamiseks on kasutatud Excelis koostatud arvutusmodelit, mis tugineb esimese korruse põranda soojusjuhtivuse arvutamislehemile (Valem 4).

Tabel 5

Kütmata keldri kohal asuva lae soojusjuhtivuse leidmine

Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Keldri kõrgus	h	1,36	m
Keldriseina kõrgus allpool maapinda	z	1,14	m
Pinnase erisoojusjuhtivus	λ	2,0	W/mK
Põranda ekvivalent	d_t	3,75	-
Seina ekvivalent	d_w	1,04	-
Põranda karakteristik	B'	6,87	-
Pii arv	π	3,142	-

Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Keldriseina soojusjuhtivus	U_{bw}	1,48	W/m^2K
Keldri põranda soojusjuhtivus	U_{bf}	0,28	W/m^2K
Keldri põranda pindala	A	479,06	m^2
Esimese korruse põranda soojusjuhtivus	U_f	0,60	W/m^2K
Keldri seina üleval pool maapinda soojusjuhtivus	U_w	1,94	W/m^2K
Õhuvahetuse kordarv keldris	n	0,3	1/h
Keldri maht	V	1199,09	m^3
Keldri põrandapinna ümbermõõt	P	139,47	m
Kütmata keldrilae soojustakistus	$1/U$	2,24	m^2K/W
Kütmata keldrilae soojusjuhtivus	U	0,45	W/m^2K

2.1.6. Avatäited

Avatäidete soojajuhtivusarvud on võetud tuginedes allikale [8].

Tabel 6

Kortermaja avatäidete iseloomustus		
Avatäite nimetus	Iseloomustus	Soojajuhtivus U , W/m^2K
Korterite aknad	ehitusaegsed puitraamil kahekordse klaasinguga	2,6
Korterite aknad	polüvinüülkloriid (PVC) raamiga pakettaknad	1,6
Trepikodade aknad	ehitusaegsed puitraamil kahekordse klaasinguga	2,6
Välisuksed	ehitusaegsed puidust uksed	2,6

2.2. Välispiirete erisoojuskao leidmine

Hoone välispiirete erisoojuskao leidmisel korrutatakse väliskeskkonnaga kokku puutuva köetava piirdepinna pindala sellele vastava soojusjuhtivuse väärtusega (Valem 10).

$$H_{vp} = U \cdot A, \quad (10)$$

kus H_{vp} [W/K] – välispiirde erisoojuskadu;

A [m^2] – piirdepinna pindala.

Välja on arvatud iga piirdepinna erisoojuskao väärtus (Tabel 7), mis summeerituna annab hoone välistarindite erisoojakao. Antud arvutustes ei ole arvestatud hoone külmasildadest tulenevate soojakadudega, need on arvatud eraldi (Tabel 8).

Tabel 7

Hoone välispiiretest tuleneva erisoojuskao leidmine

Piirde nimetus	Soojusjuhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Erisoojuskadu H, W/K
Hoone pikiseinad	0,79	610,79	483
Hoone otsaseinad	0,78	143,12	112
I korruse põrand	0,45	433,28	195
III korruse lagi	0,88	443,64	390
Korterite aknad (PVC raamiga pakettaken)	1,60	102,06	163
Korterite aknad (puitraamil kahekordse klaasiga)	2,60	56,29	146
Trepikoja aknad	2,60	20,13	52
Trepikoja ukсед	2,60	12,40	32
Hoone piirdetarinditest tulenev erisoojakadu			1574

2.3. Hoone joonkülmasildadest tulenevad soojuskadod

2.3.1. Hoone joonkülmasildadest tuleneva soojuskao arvutamise meetoodika

Hoone välispiirete joonkülmasildadest tuleneva erisoojuskao arvutamisel on tuginetud joonkülmasilla arvutamise meetoodikale (Valem 11), mis tuleneb standardist EVS- EN ISO 10211:2008 [9: 8].

$$H_{ks} = \Psi_j \cdot l_j, \quad (11)$$

kus H_{ks} [W/K] – erisoojuskadu külmasildadest;

Ψ_j [W/mK] – joonkülmasilla soojaläbivus;

l_j [m] – joonkülmasilla pikkus.

2.3.2. Hoone joonkülmasildadest tuleneva erisoojuskao arvutamise tulemus

Joonkülmasildade indeksite väärtusteks on kasutatud telliskorterelamute joonkülmasilla lisajuhtivuse suurus, mis tulenevad „Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning

prognoositav eluiga“ uuringu lõppraportist [10: 42]. Alljärgnevalt (Tabel 8) on leitud hoone erinevate joonkülmasildade paiknemisest tulenevad erisoojuskadod (Valem 11) ja nende summa.

Tabel 8

Hoone joonkülmasildadest tuleneva erisoojuskao leidmine			
Nimetus	Külmasilla pikkus l, m	Joonkülmasilla indeks Ψ , W/mK	Erisoojuskadu H, W/K
Viilkatuse ja välisseina liitekoht	149,56	0,30	45
Välisseina välisnurk	181,94	0,30	55
Välisseina ja siseseina liitekoht	105,00	0,00	0,00
Välisseina sisenurgad	173,44	0,00	0,00
Keldri vahelae liitekoht	118,90	0,01	12
Välisseina ja vahelae liitekoht	187,52	0,01	19
Akna liitumine välisseinaga, soojustamata aknapale	481,08	0,35	168
Rõdu liitumine välisseinaga	83,70	0,01	8
Välisüksed	37,20	0,35	13
Hoone joonkülmasildadest tulenev erisoojakadu			320

2.4. Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tulenev soojuskadu

Hoone renoveerimiseelses olukorras oli hoone ventilatsioon lahendatud loomuliku sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi järgi. Kogu hoones paiknevad kuus ventilatsioonišahti, mille kaudu on lahendatud korterelamu väljatõmbeventilatsioon köögis ja vannitoas asuvate väljatõmbeõhu kanalite kaudu. Kuna puuduvad täpsed andmed õhuvooluhulgast hoone renoveerimiseelses olukorras, siis kasutatakse õhuvooluhulga leidmiseks hoone välispiirete õhuleketest tulenevat arvutusvalemit (Valem 12) [11: §13 p 4].

2.4.1. Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva erisoojuskao arvutamise meetoodika

Infiltratsiooni õhuhulga arvutamisel on kasutatud valemit (Valem 12), mis tuleneb „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetoodika“ [11: §13 p 4] juhendist:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot x \cdot 10^{-3}} A, \quad (12)$$

kus q_i [m ³ /s]	– infiltratsiooni õhuhulk;
q_{50} [m ³ /(hm ²)]	– hoone välispiirete keskmine õhulekkearv;
A [m ²]	– hoone välispiirete pindala;
x	– korruselisuse tegur, kolme- ja neljakorruselistele hoonete 20;
3,6	– tegur, mis teisendab õhuvooluhulga m ³ /h ühikust l/s ühikuks.

Ventilatsioonist ja infiltratsioonist tulenev hoone erisoojuskao arvutusel kasutatakse infiltratsioonist tulenevat õhuvooluhulka, mida korrutatakse õhu erisoojuse ja õhu tiheduse arväärtusega (Valem 13). [12: 16]

$$H_{vent+inf} = q_i \cdot c \cdot \varphi, \quad (13)$$

kus $H_{vent+inf}$ [W/K]	– erisoojakadu ventilatsioonist ja infiltratsioonist;
c [1005 J/kg·°C]	– õhu erisoojus;
φ [1,2 kg/m ³]	– õhu tihedus.

Õhuvahetuse kordarv leitakse kogu köetava pinna ruumala jagades õhuvooluhulgaga (Valem 14):

$$n = \frac{V}{q_i}, \quad (14)$$

kus n	– õhuvahetuse kordarv;
V [m ³]	– köetava pinna ruumala;
q_i [m ³ /h]	– õhuvooluhulk.

2.4.2. Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva erisoojuskao arvutuse tulemus

Antud lõigus on välja toodud infiltratsiooni õhuvoolu hulga arvutamiseks vajalikud arväärtused (Tabel 9), mille suurused tulenevad „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetoodika“ [11: §13 p 4] juhendist. Hoone välispiirde pindala ja hoone köetava pinna ruumala on leitud kasutades hoone inventariseerimisjooniseid (Lisa 4) ja renoveerimise põhiprojekti jooniseid [2].

Tabel 9

Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva erisoojakao leidmine		
Nimetus	Arvväärtus	Ühik
Välispiirde keskmine õhulekkearv	9	m ³ /(hm ²)
Korruselisuse tegur	20	-
Teisendustegur õhuvooluhulga m ³ /h teisendamiseks l/s ühikuks	3,6	-
Hoone välispiirete pindala	1821,80	m ²
Õhuvooluhulk	819,81	m ³ /h
Hoone kõetava pinna ruumala	3301,40	m ³
Õhuvahtuse kordarv	0,25	1/h
Infiltratsiooni õhuvooluhulk q _i	227,72	l/s
Ventilatsioonist ja infiltratsioonist tulenev hoone erisoojuskadu, H_{vent+inf}	275	W/K

2.5. Hoone erisoojuskao arvutamise tulemus

Hoone erisoojuskadude leidmiseks summeeritakse eelnevalt leitud erisoojuskao suurused välispiiretest, külmasildadest ja ventilatsioonist (Valem 15):

$$H = H_{vp} + H_{ks} + H_{vent+inf}, \quad (15)$$

kus H [W/K] – kogu hoone erisoojuskadu kokku.

Tabel 10

Kogu hoone erisoojuskao leidmine			
Piirde nimetus	Soojusjuhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Erisoojuskadu H, W/K
Hoone pikiseinad	0,79	610,79	483
Hoone otsaseinad	0,78	143,12	112
I korruse põrand	0,45	433,28	195
III korruse lagi	0,88	443,64	390
Korterite aknad (PVC raamiga pakettaken)	1,60	102,06	163
Korterite aknad (puitraamil kahekordse klaasiga)	2,60	56,29	146

Piirde nimetus	Soojusjuhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Erisoojuskadu H, W/K
Trepikoja aknad (puitraamil kahekordse klaasiga)	2,60	20,13	52
Trepikoja ukсед (puituksed)	2,60	12,40	32
Välispiiretest tulenev erisoojuskadu			1573
Külmasilla nimetus	Külmasilla pikkus l, m	Joonkülmasilla indeks Ψ , W/mK	Erisoojakadu H, W/K
Viilkatuse ja välisseina liitekoht	149,56	0,30	45
Välisseina välisnurk	181,94	0,30	55
Välisseina ja siseseina liitekoht	105,00	0,00	-
Välisseina sisenurgad	173,44	0,00	-
Keldri vahelae liitekoht	118,90	0,10	12
Välisseina ja vahelae liitekoht	187,52	0,10	19
Akna liitumine välisseinaga, soojustamata aknapale	481,08	0,35	168
Rõdu liitumine välisseinaga	83,70	0,10	8
Välisüksed	37,20	0,35	13
Külmasildadest tulenev erisoojuskadu			320
Ventilatsioonist ja infiltratsioonist tulenev erisoojuskadu			275
Hoone erisoojuskadu kokku, kW/K			2,17

2.6. Hoone vabasoojuskooormuse leidmine

Hoone vabasoojuskooormus on elamusse tulenev energiahulk, mis ei ole saadud kütteenergiast. See tuleneb päikeselt, hoones kasutatavatest elektriseadmetest, valgustitest ning inimkehast kiirgavast soojusest. Vabasoojuskooormust arvutatakse hoone tasakaalutemperatuuri korrigeerimiseks.

2.6.1. Päikeselt tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise metoodika

Akende efektiivse pindala leidmise valem [13]:

$$A_f = A_w \cdot F_f \cdot F_s \cdot F_c \cdot F_w \cdot SHGC, \quad (16)$$

kus A_f [m ²]	– akende efektiivne pindala;
A_w [m ²]	– akna ava pindala;
F_f	– akna raami mitteläbipaistvat osa arvestav varjetegur;
F_s	– päikese kiirguse summaarne püsiv varjetegur;
F_c	– sisemisi aknakatteid arvestav varjetegur;
F_w	– klaasile läbilaske parandustegur;
$SHGC$	– klaaspaneeli päikese läbilasketegur.

Kütteperioodil päikeselt tuleneva vabasoojuskooormuse leidmise valem [13]:

$$Q_p = A_f \cdot (N90^\circ) + A_f \cdot (S90^\circ), \quad (17)$$

kus Q_p [kWh/m ² a]	– kütteperioodil päikesest tulenev vabasoojuskooormus;
$N90^\circ$ [kWh/m ²]	– põhjakülje akendele langev päikeseenergia hulk;
$S90^\circ$ [kWh/m ²]	– lõunakülje akendele langev päikeseenergia hulk.

2.6.2. Päikeselt tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus

Korterelamu esifassaad on ilmakaare järgi orienteeritud põhja ning hoone tagafassaad lõuna suunas. Selle järgi on arvutuses kasutatud akende pindala vastavalt akna paiknemise ja päikese faktori teguri järgi.

Antud arvutustes on puitraamil kahe klaasiga akna päiksefaktori teguriks kasutatud suurus 0,67 ning PVC raamil pakettakende puhul 0,60. [12: 28]

Päikeselt tuleneva vabasoojuse väärtuse saamiseks leitakse akende efektiivne pindala (Tabel 11). Selleks korrutatakse akna paiknemisest sõltuvalt akna pindala akende päikese läbilaskvusteguri, päikese läbilaske parandusteguri, püsiva varjeteguri fassaadile, sisemistest aknakatetest tuleneva parandusteguri ja akna raami arvestava varjeteguriga (Valem 16) ning saadakse akna efektiivne pindala. Arvutustes kasutatud tegurite väärtused tulevad Jõgioja Ehitusfüüsika KB loodud Exceli arvutusmudelist [13] ning EN ISO 13790:2008 standardist [14].

Tabel 11

Akende efektiivse pindala leidmine							
Akna paiknemine	Akna pindala A_w , m^2	F_F	F_S	F_C	F_W	SHGC	A_f , m^2
Põhi 90°	39,37	0,80	0,95	0,95	0,90	0,67	17,14
Põhi 90°	46,05	0,80	0,95	0,95	0,90	0,60	17,95
Lõuna 90°	37,14	0,80	0,95	0,95	0,90	0,67	16,17
Lõuna 90°	55,73	0,80	0,95	0,95	0,90	0,60	21,73

Edasistes arvutustes on kasutatud Exceli arvutustabelit, kus on välja toodud päikese otsekiirguse mõju erinevates ilmakaartes asuvatele fassaadidele (Tabel 12) [15].

Tabel 12

Päikese otsekiirguse mõju erinevates ilmakaartes asuvatele fassaadidele [15]

Päikese- kiirgus	Jaauar	Veebruar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Oktoober	November	Detsember	$kWh/m^2 \cdot a$
N-90	10	23	45	44	60	71	66	49	30	15	7	6	426
S-90	28	49	106	93	101	106	101	94	76	47	21	16	838

Kiirguskliima andmete põhjal leitakse kuude kaupa hoonesse tulenev vabasoojuskooormus päikesest. Alljärgnev tabel (Tabel 13) annab arvutuste kohaselt (Valem 17) päikeselt tuleneva vabasoojuskooormuse hulgaks $Q_p = 17,31 \text{ kWh}/m^2 \cdot a$. Arvutustes on kasutatud kaheksa kuu kütteperioodi andmed.

Tabel 13

Päikeselt tuleneva vabasoojuskooormuse leidmine kütteperioodil

Nimetus	Q_p , kWh
Jaauar	1413
Veebruar	2667
Märts	5601
Aprill	5073
Mai	0
Juuni	0
Juuli	0
August	0

Nimetus	Q _p , kWh
September	3936
Oktoober	2309
November	1042
Detsember	818
Kütteperioodi vabasoojushulk	22859

2.6.3. Inimestelt, valgustitest ja elektriseadmetest tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise meetoodika

Vabasoojuse osa arvutamisel on lähtutud „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetoodika“ määrusest [11: § 6 p 3]:

$$Q_{vsi} = kP \frac{\tau_d}{24} \cdot \frac{\tau_w}{7} \cdot \frac{8760}{1000}, \quad (18)$$

kus Q_{vsi} [kWh/m²a] – valgustuse või seadmete, või inimeste aastane soojuseraldus;
 k – kasutusaste;
 P [W/m²] – soojuseraldus;
 τ_d [h] – kasutustundide arv ööpäevas;
 τ_w [d] – kasutuspäevade arv nädalas;
 8760 – tundide arv aastas.

2.6.4. Inimestelt, valgustitest ja elektriseadmetest tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus

Vabasoojuskooormus tulenevalt seadmetest, valgustitest ja inimestelt (Valem 18), on arvutatud „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetoodika“ [11: § 6 p 3] juhendis esitatud hoone soojuseralduse väärtuste, lähtuvalt kasutusotstarbest, ja nende kasutusastme tegurite järgi. Antud valemis (Valem 19) on kasutatud kaheksa kuu tundide arvu, leidmaks vabasoojuskooormust ainult kütteperioodi jooksul.

$$Q_{vsi} = (0,1 \cdot 8 + 0,6 \cdot 3 + 0,6 \cdot 3) \frac{24}{24} \cdot \frac{7}{7} \cdot \frac{5808}{1000} = 25,56 \text{ kWh/m}^2\text{a}. \quad (19)$$

2.6.5. Hoone kogu vabasoojuse arvutamise metoodika ja arvutuslik tulemus

Arvutamaks kogu hoone vabasoojuskooormust, tuleb summeerida soojuseraldus päikeselt (Tabel 13), elektriseadmetelt, valgustitelt ja inimestelt (Valem 19). Vabasoojuskooormuste liitmisel (Valem 20) saadakse tulemuseks $Q_{vs} = 17,31 \text{ kWh/m}^2\text{a} + 25,56 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 42,87 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

$$Q_{vs} = Q_{vsi} + Q_p, \quad (20)$$

kus Q_{vs} [kWh/m²a] – hoone vabasoojuskooormus.

2.7. Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine

Alljärgnevalt kirjeldatakse hoone arvutusliku tasakaalutemperatuuri leidmise käiku (Tabel 14). Esmalt korrigeeritakse hoone vabasoojuse väärtust. Vabasoojuskooormust ei saa kasutada 100%, seega tuleb seda korrigeerida küttesüsteemi automatiseeritusest tuleneva utilisatsiooniteguriga 0,60 (Valem 21) [16: 73].

$$Q_{vs2} = Q_{vs} \cdot k_{ut}, \quad (21)$$

kus Q_{vs2} [kWh/m²a] – korrigeeritud vabasoojuskooormus;

k_{ut} – vabasoojuse utilisatsiooni tegur.

Seejärel leitakse kogu vabasoojuskooormuse väärtus, mis jagatakse kütteperioodi tundide arvuga. Antud juhul on hoone vabasoojuskooormust jagatud kaheksa kuu tundidega ehk 5808-ga. Tulemuseks saadakse keskmine vabasoojuse koormus kütteperioodil, mida kasutatakse vabasoojuse arvelt tõusnud temperatuuri leidmiseks (Valem 22). [17: 31]

$$\Delta t_{vs} = \frac{\Phi_{vs}}{H}, \quad (22)$$

Kus Δt_{vs} [°C] – temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt;

Φ_{vs} [W] – keskmine vabasoojuseraldus ruumis;

H [W/K] – hoone erisoojuskadu.

Hoone tasakaalutemperatuuri leidmiseks tuleb teada hoone keskmist siseõhutemperatuuri, antud arvutustes on kortermaja keskmiseks sisetemperatuuriks arvatud 19 °C, mis baseerub elanike küsitlusel. Keskmist temperatuuri korrigeeritakse hoone vabasoojusest tuleneva temperatuuri tõusuga (Valem 23) [17: 31]:

$$t_B = t_s - \Delta t_{vs}, \quad (23)$$

kus t_B [°C] – tasakaalutemperatuur;
 t_s [°C] – hoone keskmine siseõhutemperatuur.

Tabel 14

Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine		
Nimetus	Ühik	Arvväärtus
Vabasoojus hoones 1 m ² kohta	kWh/m ² a	42,87
Utilisatsiooni tegur renoveerimata soojussõlmes	%	60,00
Arvutuslik vabasoojus köetava pinna 1m ² kohta	kWh/m ² a	25,72
Kogu hoone arvestuslik vabasoojus, 8 kuud	kWh/a	33964
Keskmine vabasoojuse koormus kütteperioodil	kW	5,85
Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt, Δt_{vs}	°C	3,04
Hoone eluruumide kaalutud keskmine sisetemperatuur, t_s	°C	19,00
Hoone tasakaalutemperatuur, t_B	°C	15,96

3. KORTERELAMU KÜTTEENERGIA ERIKULU LEIDMINE RENOVEERIMISEELSELE OLUKORRALE

Selleks, et leida arvutuslikku kütteenergia erikulu, tuleb hoone erisoojuskao väärtused korrigeerida normaalaasta kraapäevadega (KRP), mis tuleneb hoone tasakaalutemperatuuri suurusest.

Antud kortermaja asub kraadpäevade võtmepiirkonna mõistes IV ehk Valga tsoonis. Sellest lähtuvalt kasutatakse arvutustes antud piirkonna kraadpäevi. [18]

Hoone erisoojuskao korrigeerimine normaalaasta kraadpäevadega arvutamise meetoodika [16: 33]:

$$Q_k = H \cdot S \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (24)$$

kus Q_k [MWh/a]	– kütteenergia kulu;
H [W/K]	– hoone erisoojuskadu;
S [°Cd]	– aasta kraadpäevade arv sõltuvalt tasakaalutemperatuurist;
24 [h]	– tundi ööpäevas teisendamaks kraadpäevad kraadtundideks.

Kütteenergia vajaduse erikulu arvutustulemused on esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 15). Hoonele leitud tasakaalutemperatuur ei ole täisarv, mille tõttu leitakse kraadpäevade arv interpoleerimise teel. Hoone konstruktsiooni täpsemad kirjeldused on välja toodud erinevate piirdepindade soojuskao arvutamise juures.

Tabel 15

Hoone kütteenergia erikulu arvutus

Tasakaalutemperatuur, t_B	15,96 °C			
Kraadpäevade arv	3648,40 KRP			
Piire või selle osa	Materjali tüüp	Pindala A, m^2	Soojusjuhtivus U, W/m^2K	Kütteenergia erikulu, MWh/a
Hoone pikiseinad	gaaskukeroonplokk / puitkilbid	610,79	0,79	42
Hoone otsaseinad	gaaskukeroonplokk	143,12	0,78	10
III korruse lagi	raudbetoonõõnes-planeel + soojustus	443,64	0,88	34
I korruse põrand	raudbetoonpaneel + soojustus	433,28	0,45	17
Korterite aknad	ehitusaegsed kahekordse klassiga puitaknad	56,38	2,60	13
Korterite aknad	PVC raamis pakettaknad	102,06	1,60	14
Trepikoja aknad	ehitusaegsed kahekordse klassiga puitaknad	20,13	2,60	5
Välisüksed	ehitusaegsed puitüksed	12,40	2,60	3
Välispiiretest				138
			Erisoojuskadu H, W/K	Kütteenergia erikulu, MWh/a
Külmasildadest			320	28
		Õhuvoolu-hulk, l/s	Erisoojuskadu H, W/K	Kütteenergia erikulu, MWh/a
Ventilatsioonist ja infiltratsioonist		227,72	275	24
Kütteenergia eritarve kogu hoone kohta				190

Antud töö autori poolt arvatud kütteenergia eritarbimise kogust võrreldakse hoones 2009. aastal ostetud kaugkütteenergia kogusega. Selleks, et tarbimissuurused oleksid võrreldavad, korrigeeritakse 2009. aasta tarbimiskogust kraadpäevadega (Valem 25) [17: 29]. Kraadpäevadega korrigeeritud soojustarbimine viib kütetarbimise väärtuse normaalaasta tarbimisele ehk kõrvaldab erinevatest aastatest tuleneva välisõhu temperatuuride mõju [18].

Kraadpäevadega korrigeeritud küttekoguse arvutamise meetoodika.

$$Q_N = \frac{Q_{tegelik} \cdot S_N}{S_{tegelik}}, \quad (25)$$

kus Q_N	– normaalaasta soojustarbimine;
$Q_{tegelik}$	– tegeliku aasta soojustarbimine;
S_N	– normaalaasta kraadpäevade arv (lihtsalt kraadpäevad);
$S_{tegelik}$	– tegeliku aasta kraadpäevade arv.

Toetudes kraadpäevadega korrigeeritud küttekoguse arvutamise meetoodikale (Valem 25), saadakse 2009. aastal ostetud 175 MWh kaugkütteenergia koguse kraadpäevadega korrigeerimisel soojusenergia koguseks 184 MWh. Tasakaalutemperatuuri 15,96 °C järgi on 2009. aasta kraadpäevade arv 3466,43 ja normaalaasta oma 3648,40 kraadpäeva. Normaalaastale korrigeeritud arvutatud kütetarbimise kogus samal tasakaalutemperatuuril saadi 190 MWh/a kogu hoone kohta (Tabel 15). Kaks võrreldavat kütteenergia kogust erinevad 3% võrra, mille järgi võib oletada, et arvutustes on erinevusi tegeliku olukorraga.

Erinevus võib olla tingitud ruumisisese keskmise õhutemperatuuri erinevusest, piirdetarindite ülehinnatud soojuslähivusest või tegelikust õhuvahetusest. Erinevuse vahe on küllalt väike ning seetõttu hinnatud suhteliselt täpseks saadud tulemuseks.

4. KORTERELAMU ARVUTUSLIK ERISOOJUSKADU RENOVEERIMISJÄRGSES OLUKORRAS

Alljärgnevat alapeatükkides on kirjeldatud soojuskadude ja vabasoojuskoormuse arvutuse meetodeid kui ka arvutuste tulemusi hoone renoveerimisjärgses olukorras. Peatükk 4 eesmärgiks on leida korterelamu tasakaalutemperatuur, millest lähtuvalt saadakse arvutuslik kütteenergia erivajadus. Arvutustes kasutatud kõik piirdetarindite mõõtmed ja mahud tulenevad hoone inventariseerimisjoonistelt (Lisa 4) ja renoveerimise põhiprojekti joonistelt [2]. Materjalikihtide arvutuslikud soojusjuhtivuse väärtused tulenevad lisa 2-s (Tabel 36) välja toodud materjalide soojaerijuhtivuse väärtusi kasutades. Arvutustes kasutatakse köetava pinna mahuks 1320,56 m².

4.1. Välisseinte soojusjuhtivuse arvutamise tulemus

Välisseinte soojusjuhtivuse arvutamiseks on kasutatud juba eelnevalt (Peatükk 2) välja toodud arvutusmetoodikat (Valem 1; 2; 3).

Tabel 16

Välisseinte soojusjuhtivusarvu leidmine				
Välispiirde nimetus	Materjali kihtide nimetus ja paksus	Sooja- takistus R, m ² K/W	Välispiirde osa soojusjuhtivus U, W/m ² K	Välispiirde soojusjuhtivus U, W/m ² K
Hoone pikiseinad	gaaskukeroonplokk 300 mm + soojustus kõva villaplaat 150 mm ja vahtpolüstüreenplaat 150 mm + õhekrohv + värv	5,00	0,20	0,19
	keramsiitplokk 150 mm + kõva villaplaat 100 mm + õhekrohv + värv	3,57	0,28	
	metallkarkass, täiteks vahtpolüstüreenplaat 100 mm + vahtpolüstüreenplaat 150 mm + tsementkiudplaat + värv	6,76	0,15	

Välispiirde nimetus	Materjali kihtide nimetus ja paksus	Soojatakistus R, $\text{m}^2\text{K/W}$	Välispiirde osa soojusjuhtivus U, $\text{W/m}^2\text{K}$	Välispiirde soojusjuhtivus U, $\text{W/m}^2\text{K}$
Hoone otsaseinad	gaaskukeroonplokk 300 mm + kõva villaplaat 150 mm ja vahtpolüstüreenplaat 150 mm + õhekrohv + värv	6,25	0,16	0,16

4.2. Hoone kolmanda korruse lae soojuskao arvutuse tulemus

Antud juhul on arvutustes tuginetud tarindi homogeensele soojusjuhtivuse arvutuse meetodile (Valem 1; 2; 3).

Tabel 17

Kolmanda korruse lae soojusjuhtivusarvu leidmine

Välispiirde nimetus	Materjali kihtide nimetus ja paksus	Soojatakistus R, $\text{m}^2\text{K/W}$	Välispiirde soojusjuhtivus U, $\text{W/m}^2\text{K}$
Kolmanda korruse lagi	õðnesbetoonpaneel 220 mm + soojustus puistevill 300 mm	7,69	0,13

4.3. Kütmata keldri kohal asuva esimese korruse põranda soojusjuhtivuse arvutuse tulemus

Arvutustes tuginetakse EVS-EN ISO 13370:2008 [7: 18] välja toodud meetodikale. Peatükis 3 on välja toodud kütmata keldri kohal asuva esimese korruse põranda soojusjuhtivuse väärtuse leidmise meetodika (Valem 4; 5; 6; 7; 8; 9). Arvutustes kasutatav esimese korruse põrandakonstruktsiooni soojusjuhtivuse arv on $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Tabel 3). Keldri seina soojusjuhtivuse arv üleval pool maapinda on leitud piirdetarindi erinevate osade soojusjuhtivuste väärtuste keskmise leidmisel, arvestades sealjuures nende mahtusid.

Keldri seina soojusjuhtivus üleval pool maapinda arvutuse tulemus.

Tabel 18

Keldri seina soojusjuhtivuse leidmine üleval pool maapinda

Välispiirde nimetus	Materjali kihtide nimetus ja paksus	Soojatakistus R, $\text{m}^2\text{K/W}$	Välispiirde osa soojusjuhtivus U, $\text{W/m}^2\text{K}$
Sein	monteeritavad raudbetoonplokid 400 mm + sokli osal soojustus EPS 100/150 mm +	1,55	0,64

Välispiirde nimetus	Materjali kihtide nimetus ja paksus	Soojatakistus R, $\text{m}^2\text{K/W}$	Välispiirde osa soojusjuhtivus U, $\text{W/m}^2\text{K}$
	tuulutusroovitus 16 mm + tsementkiudplaat + värv + aknad (U-arv 1,1 $\text{W/m}^2\text{K}$)		

Kütmata keldri kohal asuva lae soojusjuhtivuse leidmine, kasutades alapeatükis 2.1.5 välja toodud arvutusmetoodikat.

Tabel 19

Kütmata keldri kohal asuva lae soojusjuhtivuse leidmine			
Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Keldri kõrgus	h	1,36	m
Keldriseina kõrgus allpool maapinda	z	1,14	m
Pinnase erisoojusjuhtivus	λ	2,0	W/mK
Põranda ekvivalent	d_t	3,75	-
Seina ekvivalent	d_w	3,11	-
Põranda karakteristik	B'	6,87	-
Pii arv	π	3,142	-
Keldriseina soojusjuhtivus	U_{bw}	0,63	$\text{W/m}^2\text{K}$
Keldri põranda soojusjuhtivus	U_{bf}	0,28	$\text{W/m}^2\text{K}$
Keldri põranda pindala	A	479,06	m^2
Esimese korruse põranda soojusjuhtivus	U_f	0,60	$\text{W/m}^2\text{K}$
Keldri seina üleval pool maapinda soojusjuhtivus	U_w	0,64	$\text{W/m}^2\text{K}$
Õhuvahetuse kordarv keldris	n	0,30	1/h
Keldri maht	V	1199,09	m^3
Keldri põrandapinna ümbermõõt	P	139,47	m
Kütmata keldrilae soojustakistus	$1/U$	2,69	$\text{m}^2\text{K/W}$
Kütmata keldrilae soojusjuhtivus	U	0,37	$\text{W/m}^2\text{K}$

4.4. Avatäited

Avatäidete soojajuhtivusarvud on võetud tuginedes hoone teostusdokumentatsioonis välja toodud vahetatavate avatäidete iseloomustusest [5]. Vahetamata PVC raamiga pakettakende soojusjuhtivuse arv on võetud tuginedes viitele [8].

Tabel 20

Kortermaja avatäidete iseloomustus		
Avatäite nimetus	Iseloomustus	Soojajuhtivus U, W/m ² K
Korterite aknad	PVC raamistuses kolmekordse klaaspaketiga	1,1
Korterite aknad	PVC raamiga pakettaknad	1,6
Trepikodade aknad	PVC raamistuses kolmekordse klaaspaketiga	1,1
Välisüksed	Soojustatud kergmetallist	1,6

4.5. Välispiirete erisoojuskao arvutamise tulemus

Antud alapeatükis tuuakse välja korterelamu erisoojakaod renoveerimisjärgses olukorras.

Tabel 21

Hoone välispiiretest tuleneva erisoojuskao leidmine			
Piirde nimetus	Soojusjuhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Erisoojuskadu H, W/K
Hoone pikiseinad	0,19	617,55	117
Hoone otsaseinad	0,16	143,12	23
I korruse põrand	0,37	433,28	160
III korruse lagi	0,13	443,64	58
Korterite aknad (PVC raamil pakettaknad)	1,60	102,06	163
Korterite aknad (PVC raamil kolmekordse pakettklaasiga)	1,10	56,38	62
Trepikoja aknad	1,10	8,91	10
Trepikoja uksed	1,60	16,86	27
Välispiiretest tulenev erisoojuskadu kokku			620

4.6. Hoone joonkülmasildadest tuleneva soojuskao arvutamise tulemus

Piirdetarindite pindalad on leitud kasutades hoone inventariseerimisjooniseid (Lisa 4) ning hoone renoveerimise põhiprojekti jooniseid [2]. Joonkülmasilla indekse väärtused tulenevad „Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ uuringu raportist [10: 42].

Tabel 22

Hoone joonkülmasildadest tuleneva erisoojuskao leidmine

Nimetus	Külmasilla pikkus l, m	Joonkülmasilla indeks Ψ , W/mK	Erisoojuskadu H, W/K
Viilkatuse ja välisseina liitekoht	149,56	0,42	63
Välisseina välisnurk	181,94	0,17	31
Välisseina ja siseseina liitekoht	105,00	0,00	-
Välisseina sisenurgad	173,44	0,00	-
Keldri vahelae liitekoht	118,90	0,00	-
Välisseina ja vahelae liitekoht	187,52	0,00	-
Akna liitumine välisseinaga, soojustamata aknapale	481,08	0,35	168
Rõdu liitumine välisseinaga	83,70	0,11	9
Välisüksed	41,40	0,11	5
Külmasildadest tulenev erisoojuskadu kokku			276

4.7. Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva soojuskao arvutamise tulemus

Renoveerimise käigus paigaldati hoonele soojatagastusega paaris töötavad ruumipõhised ventilatsiooni seadmed, sellest lähtuvalt arvutatakse ventilatsiooni ja infiltratsiooni õhust tulenev erisoojakadu eraldi.

4.7.1. Hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva soojuskao arvutamise meetodika ja tulemus

Renoveerimise käigus muudeti korterelamu ventilatsioonisüsteemi. Hoone välispiirded muudeti õhutihedamaks, mis muutis loomuliku ventilatsiooni toimimist. Õhuvooluhulga intensiivistamiseks paigaldati hoonesse soojatagastusega sundventilatsiooni sissepuhkeklapid ja vannitubadesse väljatõmbe ventilaatorid. Köögist toimub õhu väljatõmme läbi väljatõmbeõhu restide või pliidikubu, mis on ühendatud hoone sisese ventilatsioonikorstnaga.

Regeneratiivse soojatagastusega ruumipõhise ventilatsiooni seadme soojatagastusarvuks on arvatud 60%, mis tuleneb hoone teostusdokumentatsioonis [5] välja toodud paigaldatud ventilatsiooniseadmete kirjeldusest. Antud töös on kasutatud ventilatsiooniõhu hulga soojatagastuse mahuks 2/3 kogu mahust. Antud suurus on võetud tuginedes uuringule „Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiasertifikaatidele“ [19: 53], kus selgus, et tegelikkuses jääb soojatagastuse väärtus oluliselt alla lubatule.

Faktiliselt on teada, et hoones kasutatavad ruumipõhiste ventilatsiooniseadmete õhuvooluhulka on võimalik elanike poolt reguleerida. Hoone välisvaatlusel ilmnis olukordi, kus ventilatsiooniõhu ava oli täielikult suletud asendis. Põhjuseks toodi ebamugavustunne, mis tuleneb külma õhuvoolu liikumisest ruumis. Tuginedes nähtule ja „Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiasertifikaatidele“ uuringule [19: 53], kus selgus, et õhuhulk uuritud hoonetes, kus antud ventilatsioonisüsteemi kasutatakse, on ligi kaks korda madalam kui oleks minimaalselt vajalik. Sellest tulenevalt on antud arvutustes soojatagastusega ventilatsioonist tuleneva õhuvahetuse kordarvuks võetud 0,35 1/h, mis teeb õhuvooluhulgaks 0,32 m³/s. Lisaks on arvutatud infiltratsioonist tulenev õhuvooluhulk (Valem 12) (Tabel 23).

Soojatagastusega ventilatsioonist tuleneva erisoojuskao arvutusmeetod [12: 16]:

$$H_{vent} = L \cdot c \cdot \rho(1 - \varphi), \quad (26)$$

kus H_{vent} [W/K]	– infiltratsiooni õhuhulk;
L [m ³ /s]	– infiltratsiooni õhuhulk;
φ	– soojatagastus.

Soojatagastusega ventilatsioonist tulenev erisoojuskao arvutamise tulemus (Tabel 23).

Tabel 23

Soojatagastusega ventilatsiooni erisoojakao leidmine				
Nimetus	Arvväärtus	Ühik	Arvväärtus	Ühik
Hoone köetava pinna ruumala	3301,38	m ³		
Hoone õhuvahetuse kordarv, 0,35 1/h	1155,48	m ³ /h	0,32	m ³ /s
Soojatagastusega õhuvooluhulk, 2/3	770,32	m ³ /h	0,21	m ³ /s
Soojustagastuseta õhuvooluhulk, 1/3	385,16	m ³ /h	0,11	m ³ /s
Erisoojuskadu 60% soojust tagastava 2/3-st õhu hulgast	101	W/K		

Infiltratsioonist tuleneva õhuvoolu hulga arvutamiseks (Valem 12) kasutatakse „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ määrust [11: § 13 p 4].

Tabel 24

Infiltratsioonist ja ventilatsioonist erisoojuskao leidmine		
Nimetus	Arvväärtus	Ühik
Välispiirde keskmine õhulekkearv	2,00	m ³ /(hm ²)
Korruselisuse tegur	20,00	-
Teisendustegur õhuvooluhulga m ³ /h teisendamiseks l/s ühikuks	3,60	-
Hoone välispiirete pindala	1821,80	m ²
Infiltratsiooni õhuvooluhulk, q _i	50,61	l/s
Infiltratsiooni õhuvooluhulk, q _i	182,18	m ³ /h
Infiltratsiooni õhuvooluhulk, q _i	0,05	m ³ /s
Soojatagastuseta ventilatsioonist tulev õhuvooluhulk, 1/3 kogu mahust	0,11	m ³ /s
Ventilatsioonist ja infiltratsioonist tulenev eelnevalt soojendamata õhuvooluhulk kokku	0,16	m³/s
Ventilatsioonist ja infiltratsioonist tingitud erisoojuskadu	193	W/K

Kogu soojuskao väärtus on saadud infiltratsioonist tulenevast õhuvooluhulga ja ventilatsioonist tuleneva soojust tagastamata õhuvooluhulga erisoojuskadude summeerimisel (Valem 27).
 $H_{\text{kogu vent}} = 101 \text{ W/K} + 193 \text{ W/K} = 294 \text{ W/K}$.

$$H_{\text{kogu vent}} = H_{\text{vent}} + H_{\text{vent + inf}}, \quad (27)$$

kus $H_{\text{kogu vent}}$ – soojuskadu kogu õhuvooluhulgast;
 H_{vent} – soojatagastusega ventilatsiooniõhu erisoojuskadu.

Sihtasutus KredExi poolt nõutav õhuvahetuse kordarv 0,5 1/h tuleneb standardist EVS- EN 15251:2007 [20: 30]. Ventilatsiooni eesmärgiks on hoida ruumisisene süsihappegaasi sisaldus ja niiskuslik kliima normipiires. Madalam õhuvahetus eluruumides ei taga sisekliima parandamise nõuet. Individuaalselt reguleeritavate ventilatsiooniseadmete kasutamisel elanikud ise alandavad sissepuhke õhuvoolu hulka ruumidesse, mis tuleneb teadmatusest õigesti töötava ventilatsiooni kasulikkusest ja ebamugavustundest, mis tekib külma õhuvoolu ringlusest eluruumides.

Kui arvata hoone ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva õhuvahetuse kordarvuks 0,5 1/h, siis õhuvahetusest tulenev erisoojuskao väärtus oleks kokku 359 W/K. Selles arvutuses on arvestatud ventilatsiooniseadmete nõrgema soojatagastusega. Alapeatükis 6.3 tuuakse välja hoone kütteenergia eritarbimise suurus, kui ventilatsiooni kasutusnõue oleks täidetud.

4.8. Hoone erisoojuskao arvutamise tulemus

Hoone erisoojuskao leidmiseks summeeritakse eelnevalt leitud erisoojuskao suurused välispiiretest, külmasildadest ja ventilatsioonist (valem 15).

Tabel 25

Hoone erisoojuskao leidmine			
Piirde nimetus	Soojusjuhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Erisoojuskadu H, W/K
Hoone pikiseinad	0,19	617,55	117
Hoone otsaseinad	0,16	143,12	23
I korruse põrand	0,37	433,28	160
III korruse lagi	0,13	443,64	58
Korterite aknad (PVC raamiga pakettaken)	1,60	102,06	163

Piirde nimetus	Soojusjuhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Erisoojuskadu H, W/K
Korterite aknad (PVC raamil kolmekordse pakettklaasiga)	1,10	56,38	62
Trepikoja aknad (PVC raamil kolmekordse pakettklaasiga)	1,10	8,91	10
Trepikoja ukсед	1,60	16,86	27
Välispiiretest tulenev erisoojakadu			620
Külmasilla nimetus	Külmasilla pikkus l, m	Joonkülmasilla indeks Ψ, W/mK	Erisoojakadu H, W/K
Viilkatuse ja välisseina liitekoht	149,56	0,42	63
Välisseina välisnurk	181,94	0,17	31
Välisseina ja siseseina liitekoht	105,00	0,00	-
Välisseina sisenurgad	173,44	0,00	-
Keldri vahelae liitekoht	118,90	0,00	-
Välisseina ja vahelae liitekoht	187,52	0,00	-
Akna liitumine välisseinaga, soojustamata aknapale	481,08	0,35	168
Rõdu liitumine välisseinaga	83,70	0,11	9
Välisüksed	41,40	0,11	5
Külmasildadest tulenev erisoojakadu			276
	Õhuvoolu- hulk	Ühik	Erisoojakadu H, W/K
Soojatagastusega ventilatsioonist tulenev erisoojuskadu	0,21	m ³ /s	101
Soojatagastuseta ventilatsioonist tulenev erisoojuskadu	0,16	m ³ /s	193
Ventilatsioonist ja infiltratsioonist tulenev erisoojakadu			294
Hoone erisoojuskadu kokku, kW/K			1,19

4.9. Vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus

4.9.1. Päikesest tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus

Akende efektiivse pindala arvutamisel (Valem 16) kasutatakse akende päiksefaktori (SHGC) arvuks PVC raamil kahe klaasiga pakettakende puhul 0,60 [12: 28] ja PVC raamil kolme kaasiga pakettakende puhul 0,50 [5].

Vabasoojuse arvutamisel on järgitud sama arvutusmeetodit, mis on esitatud renoveerimise eelses olukorras (Valem 16; 17).

Tabel 26

Akende efektiivse pindala leidmine							
Akna painemine	Akna pindala A_w, m^2	F_F	F_S	F_C	F_W	SHGC	A_f, m^2
Põhi 90°	46,33	0,80	0,95	0,95	0,90	0,60	18,06
Põhi 90°	39,37	0,80	0,95	0,95	0,90	0,50	12,79
Lõuna 90°	55,73	0,80	0,95	0,95	0,90	0,60	21,73
Lõuna 90°	25,92	0,80	0,95	0,95	0,90	0,50	8,42

Edasistes arvutustes on kasutatud Exceli arvutustabelit, kus on välja toodud päikese otsekiirguse mõju erinevates ilmakaartes asuvatele fassaadidele (Tabel 12) [15]. Kiirguskliima andmete põhjal leitakse kuude kaupa hoonesse tulenev vabasoojuskooormus päikesest. Alljärgnev tabel (Tabel 27) annab arvutuste kohaselt (Valem 17) päikeselt tuleneva vabasoojuse hulgaks $Q_p = 11,72 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Vabasoojuskooormuse Q_p leidmiseks on kasutatud seitsme kuu andmeid, mis tuleneb kütteperioodi pikkusest.

Tabel 27

Päikeselt tuleneva vabasoojuskooormuse leidmine	
Nimetus	Q_p, kWh
Jaanuar	1153
Veebruar	2187
Märts	4584
Aprill	4161
Mai	0
Juuni	0
Juuli	0

Nimetus	Q _p , kWh
August	0
September	0
Oktoober	1880
November	849
Detsember	668
Kütteperioodi vabasoojushulk	15482

4.9.2. Inimestelt, valgustitest, elektriseadmetest tuleneva vabasoojuskooormuse arvutamise tulemus

Vabasoojuse osa arvutamisel on lähtutud „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“ määrusest (Valem 18) [11: § 6 p 6]:

$$Q_{vsi} = (0,1 \cdot 8 + 0,6 \cdot 3 + 0,6 \cdot 3) \frac{24}{24} \cdot \frac{7}{7} \cdot \frac{5088}{1000} = 22,39 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \quad (28)$$

Vabasoojus päikeselt ja hoone sisemise soojuseralduse summeerimisel saadakse korterelamu vabasoojuskooormuseks renoveerimisjärgses olukorras 34,11 kWh/m²a (Valem 20).

4.10. Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine

Alljärgnevalt kirjeldatakse hoone arvutuslikku tasakaalutemperatuuri leidmise käiku (Tabel 28). Arvutustes on kasutatud eelnevalt (Alapeatükk 2.7) välja toodud arvutusmetoodikat (Valem 21; 22; 23). Antud arvutustes on vabasoojuskooormuse väärtust korrigeeritud küttesüsteemi automatiseeritusest tuleneva utilisatsiooniteguriga 0,70 (Valem 21) [16: 73]. Korterelamu keskmine vabasoojuskooormus on saavutatud kogu hoone vabasoojuse jagamisel seitsme kuu tundidega ehk 5088-ga. Keskmiseks õhutemperatuuriks eluruumides on saadud 22°C, mis tuleneb korterelamus läbi viidud siseõhutemperatuuri kontrollmõõtmisest. Õhutemperatuuri mõõdistustöödeks kasutati HOBO data logereid. Seadme mõõtetäpsus temperatuuril on ±0,35 °C.

Tabel 28

Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine		
Nimetus	Ühik	Arvväärtus
Vabasoojus hoones 1 m ² kohta	kWh/m ² a	34,11
Utilisatsiooni tegur renoveerimata soojussõlmes	%	70,00
Arvutuslik vabasoojus kõetava pinna 1m ² kohta	kWh/m ² ·a	23,88

Nimetus	Ühik	Arvväärtus
Kogu hoone arvestuslik vabasoojus, 7 kuud	kWh/a	31532
Keskmine vabasoojuse koormus kütteperioodil	kW	6,20
Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt, Δt_{vs}	°C	5,21
Hoone eluruumide kaalutud keskmine sisetemperatuur, t_s	°C	22,00
Hoone tasakaalutemperatuur, t_b	°C	16,79

5. HOONE KÜTTEENERGIA ERIKULU LEIDMINE HOONE RENOVEERIMISJÄRGSELE OLUKORRALE

Lähtudes hoone renoveerimisjärgsele arvutuslikult leitud tasakaalutemperatuurile 16,79 °C, saadakse interpoleeritud teel normaalaasta kraadpäevade arvuks 3661,48 KPR.

Hoone kütteenergia erikulu arvutamisel on lähtutud eelnevalt (Peatükk 3) välja toodud arvutusmetoodikast (Valem 24).

Tabel 29

Hoone kütteenergia erikulu arvutus

Tasakaalutemperatuur, t_B	16,79 °C			
Kraadpäevade arv	3661,48 KRP			
Piire või selle osa	Materjali tüüp	Pindala A, m ²	Soojusjuhtivus U, W/m ² K	Kütteenergia erikulu, MWh/a
Hoone pikiseinad	gaaskukeroonplokk / puitkilbid	617,55	0,19	11
Hoone otsaseinad	gaaskukeroonplokk	143,12	0,16	2
III korruse lagi	raudbetoonõõnespaneel + soojustus	443,64	0,13	5
I korruse põrand	raudbetoonpaneel + soojustus	433,28	0,37	14
Korterite aknad	PVC raamistuses kolmekordse pakettklaasidega	56,38	1,10	5
Korterite aknad	PVC raamil pakettaknad	102,06	1,60	14
Trepikoja aknad	PVC raamistuses kolmekordse pakettklaasidega	8,91	1,10	1

Piire või selle osa	Materjali tüüp	Pindala A, m ²	Soojusjuhtivus U, W/m ² K	Kütteenergia erikulu, MWh/a
Välisüksed	metalluksed	16,86	1,60	2
Välipiiretest				54
		Erisoojuskadu H _{ks} , W/K		
Külmasildadest		276		24
	Õhuvooluhulk, m ³ /s	Õhuvooluhulga erisoojakadu, W/K		Kütteenergia erikulu, MWh/a
Soojatagastusega ventilatsioonist	0,21	101		9
Infiltratsioonist ja ventilatsioonist	0,16	193		17
Ventilatsioonist ja infiltratsioonist				26
Kütteenergia erisoojuskadu kokku				104

Kortermaja on 1. oktoobrist kuni 30. aprillini ehk seitsme kuulise kütteperioodi jooksul ostanud 89 MWh kütteenergiat [21]. Tarnitud kütteenergia kogus normaalaastale taandatuna on 106 MWh. Töö autori poolt koostatud hoone kütteenergia vajadus on arvutulikult 104 MWh. Arvutusliku ja tegeliku kütteeritarbimise suuruste vahe on väike, selle põhjal saab väita, et arvutuslik tarbimine vastab reaalsele olukorrale.

6. HOONE SAAVUTATUD ENERGIASÄÄST LÄBI ERINEVATE ENERGIAAANALÜÜSIDE

Peatükis võrreldakse antud töö autori saadud hoone kütteeritarbimise väärtusi energiaauditis [1] ja sellele koostatud lisas (Lisa 1) välja toodud kütteeritarbimisega nii renoveerimiseelses kui ka - järgses olukorras.

6.1. Kütteenergia tarbimise analüüside tulemused renoveerimiseelses olukorras

Antud kortermajale on 2010. aastal koostatud energiaaudit. Alljärgnevas tabelis (Tabel 30) esitatakse energiaaudis välja toodud väärtusi [1: 10-12] ning kõrvutatakse neid antud töö autori saadud arvutustulemustega.

Tabel 30

Energiaauditi ja koostatud kütteeritarbimise võrdlus						
Nimetus	Energiaaudit			Antud töö autori tulemus		
Kõetav pind, m ²	1176,30			1320,56		
Piirde nimetus	Soojus-juhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Kütte-eritarbimine, MWh	Soojus-juhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Kütte-eritarbimine, MWh
Hoone pikiseinad	0,90	702,00	64,00	0,79	610,79	42,25
Hoone otsaseinad	0,90	286,00	26,10	0,78	143,12	9,77
I korruse põrand	-	-	-	0,45	433,28	17,07
Sokkel	0,90	95,00	8,70	-	-	-
Vundament	0,80	228,00	18,50	-	-	-
Keldri aknad	1,30	7,20	0,40	-	-	-
III korruse lagi	0,90	684,00	62,30	0,88	443,64	34,18

Nimetus	Energiaaudit			Antud töö autori tulemus		
Köetav pind, m ²	1176,30			1320,56		
Piirde nimetus	Soojus-juhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Kütte-eritarbimine, MWh	Soojus-juhtivus U, W/m ² K	Piirde pindala A, m ²	Kütte-eritarbimine, MWh
Korterite aknad (PVC raamil pakettaknad)	1,30	123,00	16,20	1,60	102,06	14,30
Korterite aknad (Puitraamil kahekordse klaasiga)	2,80	52,00	14,70	2,60	56,29	12,81
Trepikoja aknad (Puitraamil kahekordse klaasiga)	2,80	22,10	6,30	2,60	20,13	4,58
Trepikoja uksed	2,80	11,60	3,30	2,60	12,40	2,82
Külmasillad, MWh	Arvutatud välispiirete hulka, pole eraldi välja toodud			28		
Soojuskaod välispiiretest kokku, MWh	194			166		
Ventilatsioonist ja infiltratsioonist, MWh	16			24		
	Õhuvahetuse kordarv 0,3 1/h			Õhuvahetuse kordarv 0,25 1/h		
Vabasoojuskoormus, MWh	Inimestelt, valgustitest, elektriseadmetest			Inimestelt, valgustitest, elektriseadmetest, päikeselt arvestatud tasakaalutemperatuuri leidmisel		
	37					
Hoone kütteenergia erisoojakadu, MWh	173			190		

Koostatud energiaauditis välja toodud välispiirde pindalad ja nende soojusjuhtivuse arvud ei ole antud töö autori poolt mõõdetud ja arvutatud väärtustega võrreldavad, kuna energiaauditis on välispiirete soojuskadude arvutamisel arvestatud korraga ka külmasildadest tuleneva soojuskaoga. Hoone kütteenergia erisoojuskao arvutamisel on antud töö autor kasutanud hoonele leitud

tasakaalutemperatuuri 15,96 °C ja erisoojuskadude korrigeerimisel normaalaasta kraadpäevade arvu 3648,40 KRP. Energiaauditis on tasakaalutemperatuuriks arvatud 17 °C, millest tulenevalt on kraadpäevade arv 4242 KRP. Energiaauditi saadud tulemus taandatakse 1320,56 m² köetava pinna mahule, seejärel on hoone kütteenergia erisoojuskao hulk, kuhu on liidetud ka vabasoojusest tulenev energiahulk 194 MWh. Energiaauditist välja toodud soojuskao summa läbi piirdetarindite tuleb hoonele koostatud soojusbilansist. [1: 12].

Vabasoojuskooormuse arvutustes ei ole arvestatud päikeselt tuleneva vabasoojusega, hoonesse tulev vabasoojuskooormus energiaauditi järgi on 37 MWh/a. Taandatuna 1320,56 m² pinnale on suuruseks 42 MWh/a. Päikeselt tuleneva vabasoojusega peaks hoone kütteerisoojuskao arvutamisel arvestama, leidmaks hoone täpsemat tasakaalutemperatuuri.

Töös on välja toodud kokkuvõtlik tabel (Tabel 31), mis näitab erinevate energiaanalüüside tulemusi kütteenergia eritarbimise kohta.

Tabel 31

Kütteenergia tarbimise võrdlus renoveerimiseelses olukorras

Nimetus	Arvutuslik kütteenergia eritarbimine 1 m ² kohta, kWh/m ² a	Kütteenergia eritarbimine köetava pinna 1320,56 m ² kohta, MWh/a
Energiaauditi arvutuslik kütteenergia eritarbimine	147	194
Energiaauditi lisa arvutuslik kütteenergia eritarbimine	144	190
Antud töö autori poolt arvutatud kütteenergia eritarbimine	144	190
	Normaalaastale taandatud tarbitud kütteenergia 1 m ² kohta, kWh/m ² a	Normaalaastale taandatud tarbitud kütteenergia, tasakaalutemperatuuril 15,96°C, MWh
Energiaatarve 2009. a	139	184

Energiaauditi lisas on välja toodud hoone arvutuslikuks energiatarbimise väärtuseks ühe ruutmeetri kohta enne planeeritavaid töid 144,00 kWh/m²a, mis teeks 1320,56 m² suuruse köetava pinna energiahulgaks 190 MWh. Energiaauditi lisas on öeldud, et 144 kWh/m²a tuleneb energiaauditist, kuid puuduvad andmed ja arvutuslik pool antud väärtuse saamise kohta. Kõrvutuseks on toodud

2009. aastal tarbitud ja normaalaastale korrigeeritud kütteenergia kogus. Võib väita, et erinevate analüüside arvutuslikud energiatarbed on leitud hoone tegelikule olukorrale vastavates vääringus.

6.2. Kütteenergia tarbimise analüüside tulemused renoveerimisjärgses olukorras

Energiaauditi lisa (Lisa 1) soovitatud tööde kompleksel teostamisel hinnatakse energiakuluks pärast renoveerimistöid 52,00 kWh/m²a. Aastane kütteenergia vajadus 1320,56 m² köetava pinna kohta oleks 69 MWh/a. Antud töö autori poolt koostatud arvutusliku seitsme kuu kütte eritarbimise kogus saadi 104 MWh/a. Ostetud 89 MWh kaugkütteenergia hulk kraadpäevadega korrigeerituna on 106 MWh/a.

Energiaauditi lisa välja toodud hinnangulisel kütteenergia tarbimise suurusel puuduvad arvutuslikud andmed, mis tõttu ei saa välja tuua ka erinevusi võrreldes antud töö autori tulemusega.

Tabel 32

Kütteenergia energiatarbimise võrdlus		
Nimetus	Arvutuslik kütteenergia eritarbimine 1 m ² kohta, kWh/m ² a	Kütteenergia eritarbimine köetava pinna 1320,56 m ² kohta, MWh/a
Energiaauditi lisa toodud arvutuslik kütteenergia eritarbimine	52	69
Antud töö autori poolt arvutatud kütteenergia eritarbimine 7 kuu jooksul. Õhuvahetuse kordarv 0,41 1/h	80	104
Antud töö autori poolt arvutatud kütteenergia eritarbimine 7 kuu jooksul. Õhuvahetuse kordarv 0,5 1/h	88	113
Nimetus	Normaalaastale taandatud tarbitud kütteenergia tarbimine 1 m ² kohta, kWh/m ² a	Normaalaastale taandatud tarbitud kütteenergia, MWh
Energiatarve 7 kuu jooksul	80	106

6.3. Saavutatud kütteenergia sääst reoveerimistöödelt

Antud alapeatükis on välja toodud töö autori koostatud energiaarvutused ning hoonele koostatud energiaanalüüsides esitatud korterelamu kütteeritarbimise väärtused (Tabel 33). Kütteenergia

arvväärtused on arvatud 1320,56 m² köetava pinna kohta. Lisaks on välja toodud elamu tegelik kütteenergia sääst ning selle mõjurid.

Tabel 33

Hinnangulised ja tegelikud kütteenergia säästuväärtused

Nimetus	Kütteenergia erisoojuskadu enne renoveerimist, MWh/a	Kütteenergia erisoojuskadu pärast renoveerimist, MWh/a	Säästuväärtus, %
Energiaauditi arvutuslik kütteenergia eritarbimine	194	-	-
Energiaauditi lisa arvutuslik kütteenergia eritarbimine	190	69	63
Antud töö autori poolt arvatud kütteenergia eritarbimine	190	104	45
Kütteenergia eritarbimine, kui õhuvahetuskord oleks 0,5 1/h	190	113	41
Hoone tegelik kütteeritarbimine	184	106	42

Energiaauditi lisas on välja toodud, et hoone kompleksel renoveerimistööde teostamisel saavutatakse 63% energiasääst kütteenergia arvelt. Säästuprotsendi sisse on arvestatud ka eelnevalt tehtud töödega, mis hõlmab endas mõningate akende vahetust. Energiaauditi lisas on hoone välisfassaadi külgsainte katmiseks mõeldud 150 mm ja otsaseinte 200 mm paksust isolatsioonimaterjali, kuigi tegelikkuses on need vastavalt 100 mm ja 150 mm. Energiasäästu arvutamisel on kõrvutatud kahte arvutuslikult saadud kütteenergia tarbimise kogust, mis enne renoveerimist oli 190 MWh/a ja pärast renoveerimist peaks hinnanguliselt olema 69 MWh/a.

Antud töö autori poolt oleks sama võrdlus arvutuslikult leitud kütteeritarbimise väärtustest enne renoveerimist 190 MWh/a kogu hoone kohta ja pärast renoveerimist 104 MWh/a, mis teeb kütteenergia säästuks 45%. Kuid siinkohal peab mainima, et kütteenergia sääst ei saa tuleneda sisekliima arvelt. Antud võrdluses on renoveerimisjärgse olukorra õhuvahetuse kordarv ventilatsioonist 0,35 1/h ja infiltratsioonist 0,06 1/h ehk kokku 0,41 1/h. Tulevikus võib juhtuda, et ventilatsiooni õhuvahetuskord langeb veelgi, kuna elanikud ei näe ventilatsiooni nõuetekohases töötamises kasu ja on julgemad seadmeid reguleerima. Õhuvahetuse kordarvu suurus on tuginetud autori arvamusel ja juhendaja poolsetele tähelepanekutele ning juhendaja kogemusele seoses uuringuga “Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele”, [19: 53]. Uuringus selgus, et regeneratiivse

soojatagastusega ruumipõhise ventilatsiooni seadme soojatagastus jääb orienteeruvalt 40% juurde ning õhuhulk uuritud hoonetes, kus antud ventilatsioonisüsteemi kasutatakse, on ligi kaks korda madalam kui oleks minimaalselt vajalik.

Kuna antud renoveerimistöid rahastab SA KredEx, mille üheks 35% renoveerimistööde toetamise kriteeriumiks on hoone kütteenergia säästmine pärast renoveerimist vähemalt 50% ulatuses, parandades seejuures ka hoone sisekliimat [22]. Olenevalt olukorrast arvestatakse kütteenergia sisse ka sooja tarbevee soojendamiseks kuluvat kütteenergiat. Antud juhul on arvestatud ainult hoone kütteks kuluva energiahulgaga. Kui ventilatsiooni õhuvahetuse kordarv tõsta 0,5 1/h, oleks säästu väärtuseks 41%.

Mõõdetud kütteenergia eritarbimise kogus 2009. aastal oli 184 MWh/a, renoveerimisjärgselt on seitsme kuulise kütteperioodi jooksul selleks suuruseks 106 MWh/a. Arvutuste kohaselt on sääst 42%, kuid seda tulemust ei saa pidada energiasäästuks küttekuludelt, kuna see sisaldab energiasäästu sisekliima arvelt.

Arvutuste ja kasutatud kütteenergia mõõtmise tulemusena ei ole saavutatud energიაuiditi lisas 63% kütteenergia säästu ega järgitud sisekliima parandamise nõuet. Selle üks mõjutavaimaks põhjuseks on ruumipõhiste regeneratiivsete soojatagastusega paaris töötavate ventilatsiooniseadmete madal soojatagastusväärtus ja mitte projekteerimiskohaselt nõutav kasutamine, mis omakorda mõjutab ka sisekliima olukorda. Teine põhjus on ebatäpsed arvutuslikud kütteeritarbimise analüüsi tulemused. Antud juhul on arvutuslikult energიაuiditi lisas esitatud renoveerimisjärgne kütteerivajadus liiga madal, mis tõstabki säästuprotsenti. Selle põhjuseks võib olla piirdetarindite tegeliku soojuslabilaskvuse alahindamine. Mõjuvaks põhjuseks võib arvata ka ehituslikke vigu, kus soojustustöödel on jäetud külmasillad korrektselt katmata.

Autori leitud tulemus ühtib ka Sihtasutus KredEx uuringus „Kortermajade energiatõhususe meetmete senine mõju ja kogemus“, kus 50% energiasäästu saavutamine on ettenähtud õhuvahetuse juures raske saavutada ning kasutusolukorras on tegelik õhuvahetus projekteeritavast õhuvahetusest oluliselt väiksem. Samuti on välja toodud, et audiitorite poolt ollakse säästu arvutamisel liiga optimistlikud. [23]

7. RENOVEERIMISTÖÖDE MAKSUMUS JA TASUVUSAEG

Hoone renoveerimise maksumuse analüüsiks kasutatakse renoveerimistöode peatöövõtja poolt koostatud teostatud tööde õiendit, kus on detailselt välja toodud erinevate tööde ja materjalide hinnad [24]. Kõik antud peatükis välja toodud summad sisaldavad käibemaksu.

Kortermaja taotles enne renoveerimistöode sooritamist renoveerimistoetust SA KredExilt, mis võimaldaks energiaauditi lisas välja toodud planeeritaval 63% soojusenergia säästul taotleda 35% toetust soojust säästvate rekonstrueerimistöode pealt. Sihtasutus KredExi poolt on hoonele eraldatud 112 023,18 euro (€) suurune toetussumma [25].

Renoveerimistöode teostamiseks on korteriühistu võtnud pangast laenu 188 000,00 €. Mille tagastamistähtajaks on planeeritud 20 aastat fikseeritud intressimääraga 3,500%. Laenu tagasimakse koos intressiga on 261 676,80 € [26].

Korteriühistu omafinantseeringu summa on 20 043,05 €, mis on kogutud remondifondi raames. [26]

Kortermaja komplekseks renoveerimiseks kujunenud rahaline lõplik maksumus on 320 066,22 €. Koos pangalaenu fikseeritud intressiga on kogusummaks 393 743,03 €. Kogu summa on kaetud kortermaja omafinantseeringu, välisfinantseeringu ja pangalaenuga.

7.1. Energiasäästu andvad tööd

Antud töö autori poolt arvatud soojust andvate tööde maksumuseks kujuneb 239 410,21 € [24], hind sisaldab hoone välistarindi soojustamistööd koos vajalike ettevalmistus- ja viimistlustöödega. Välistarindite väljavahetamist soojapidavamate tarindite vastu, kogu hoone küttesüsteemi ja ventilatsiooni renoveerimist ja väljaehitamist.

7.2. Tarvilikud lisatööd

Hoone ehitusliku püsivuse säilitamiseks ja pikendamiseks on mõttekas koos soojustustöödega teostada ka lisatöid, mis parandavad hoone ehituslikku kui ka arhitektuurilist olukorda.

Antud töö autori poolt arvatatud lisatööde maksumus on 80 656,01 € [24]. Võimalikud on veel hoone ehituslikku seisundit parandavad tööd, kuna renoveermise käigus ei paigaldatud drenaaži süsteemi. Mis oli tingitud vähestest rahalistest vahenditest ja SA KredExi toetusnimistusse mitte kuuluvast tööst. Hoone asub kõrge pinnasevee tasemega kohas, samuti on teada, et hoone all asuvad veeallikad, mis põhjustavad keldris vee teket. Hoone ehituslikust seisukorrast lähtudes tuleks liigvee probleem hoonest kõrvaldada.

7.3. Lihttasuvusaeg

Lihttasuvusarvutuses on lähtutud 2014. aasta kehtivale kütte 1 MWh hinnale ning 2009. aastal tarbitud kütteeenergia eritarbimise koguse ning hoone viimase seitsme kuu kütteeenergia eritarbimise koguse vahele.

Lihttasuvusaja arvutamiseks on loodud Exceli arvutusmudel. Arvutuslikult teostatakse tehe tarbitud renoveerimise eelse ja järgse kütteeenergia vahe korrutisel kütte hinnaga ja renoveerimismaksumuse jagamisel saadud korrutise säästuväärtusega.

Alljärgnevas tabelis on välja toodud erinevate olukordade lihttasuvusarvutuse tulemused.

Tabel 34

Lihttasuvusaja leidmine					
Nimetus		Väärtus	Ühik		
Kütteeenergia tarbimine enne renoveermist		184	MWh/a		
Kütteeenergia tarbimine pärast renoveerimist		106	MWh/a		
Kütteeenergia 1 MWh kehtiv hind		62,71	€		
Nimetus	Väärtus	Ühik	Nimetus	Lihttasuvuse aeg	Ühik
Kogu renoveerimise maksumus	393 743,03	€	Lihttasuvusaeg kogu renoveerimisele	81	a

Nimetus		Väärtus	Ühik		
Kütteenergia tarbimine enne renoveermist		184	MWh/a		
Kütteenergia tarbimine pärast renoveerimist		106	MWh/a		
Kütteenergia 1 MWh kehtiv hind		62,71	€		
Nimetus	Väärtus	Ühik	Nimetus	Lihttasuvuse aeg	Ühik
Kogu renoveerimise maksumus, kui energiasääst oleks 63%	393 743,03	€	Lihttasuvusaeg kogu renoveerimisele	52	a
Soojusenergia säästu andvate tööde maksumus	239 410,21	€	Lihttasuvusaeg soojustustöödele	49	a
Kogu renoveerimise maksumus SA KredEx toetusega	281 719,85	€	Lihttasuvusaeg kogu renoveerimisele koos toetusega	58	a

Energiaauditi hinnangul kulub soojustustöödele 101 484,03 eurot, mis sisaldab endas nii soojustustöid koos lisatöödega, küttessteemi vahetust kui ka värskeõhuklappide paigaldamist [1: 17]. Arvestades, et tegu on 2010. aasta hindadega, siis sellegi poolest on reaalne ja hinnanguline renoveerimise maksumus väga erinev. [1]

7.4. Tasuvusaeg arvestatud kütuse lineaarse hinnatõusuga ajas

Antud tasuvusaeg on sõltuvuses kütte hinna tõusuga. Soojusenergia protsentuaalne hinna tõus on määratud 2010. aasta ja 2014. aasta aprilli kuu küttehinna muutusest aastate kohta. 2010. aastal maksis 1 MWh kaugkütte soojusenergiat 45,38 €, 2014. aasta aprilli kuu soojusenergia kehtivaks hinnaks oli 62,71 €. See teeb 5,53% hinnatõusu iga aasta kohta. Kasutatud küttehinnad tulenevad kohteriühistu liikme antud andmetest ja kütteenergia arvestaja esitatud arvest [21].

Tasuvusaja arvutamiseks on loodud Exceli arvutusmudel. Arvutuslikult teostatakse tehe renoveerimise eelse ja järgse tarbitud kütteenergiate vahe korrutisel kütuse hinna ja ajas lineaarselt kasvava hinnangulise hinnatõusu protsendiga.

Alljärgnevas tabelis on välja toodud erinevaid tasuvusaja arvutuse tulemusi.

Tabel 35

Tasuvusaja leidmine					
Nimetus		Väärtus	Ühik		
Kütteenergia tarbimine enne renoveermist		184	MWh/a		
Kütteenergia tarbimine pärast renoveerimist		106	MWh/a		
Kütteenergia 1 MWh kehtiv hind		62,71	€		
Kütteenergia 1 MWh kütteenergia hinnatõus aastas		5,53	%		
Nimetus	Väärtus	Ühik	Nimetus	Lihttasuvuse aeg	Ühik
Kogu renoveerimise maksumus	393 743,03	€	Tasuvusaeg kogu renoveerimisele	32	a
Kogu renoveerimise maksumus, kui energiasääst oleks 63%	393 743,03	€	Tasuvusaeg kogu renoveerimisele	26	a
Soojusenergia säästu andvate tööde maksumus	239 410,21	€	Tasuvusaeg soojustustöödele	25	a
Kogu renoveerimise maksumus SA KredEx toetusega	281 719,85	€	Tasuvusaeg kogu renoveerimisele koos toetusega	27	a

7.5. Tasuvusaja arvutuste tulemus

Energiaaditi lisa järgi, energiasäästul 63%, tehtud tasuvusarvutuste tulemuseks kogu renoveerimise maksumusele saadi lihttasuvusaja järgi 52 aastat ning 26 aastat arvestades küttehinna tõusuga. Tegelikult saavutatud 42% küttesääst annab tasuvusaja tulemuseks vastavalt lihttasuvusarvutuse järgi 81 aastat ja hinnangulise hinnatõusuga arvestava tasuvusaja arvutuse kujul 32 aastat. Saavutatud tasuvusajad erinevad sõltumata arvutusmeetodist suurel määral, mille põhjuseks on hinnatava ja tegeliku energiasäästu erinevus.

Soojust andvate tööde tulemuseks saadi kütuse hinnatõusu arvutusmeetodit kasutades 25 aastat, lihttasuvusaja arvutusmeetodi puhul on see aga 49 aastat. Võttes aluseks lihttasuvusaja aega, siis

renoveerimise otsust vastu võttes võib see pigem mõjuda negatiivselt. Siinkohal on mõjutajaks ka ehitusmaterjalidele ning tööle antav eluiga, mis ei tohiks olla lühem kui tasuvusaeg.

Tabelites (Tabel 34, Tabel 35) välja toodud renoveerimise kogumaksumuse võrdluses SA KredEx toetusega on näha, kui palju suudab renoveerimistööde toetamine mõjutada ehitustöödega alustamise otsust, kütuse hinnatõusuga arvestatud meetodi järgi on vahe 5 aastat. Toetus ei vähenda renoveerimise maksumust ega tegelikku tasuvusaega, kuid mõjutab just elanike maksukoormust.

Laialt kasutatav lihttsauvusarvutus ei anna täpset vastet tegelikust tasuvusajast, pigem tuleks kasutada tasuvusaega, mis võtab arvesse ka küttehinna tõusu. Saadud tulemused kahe arvutusliku meetodi vahel erinevad kaks ja enam korda. Hinnanguline tasuvusaja arvutus rõhub energiaanalüüside võimalikule täpsele teostamisele, kuna sellest sõltub hinnatav tasuvusaeg, mis on otseseks mõjuriks renoveerimistööde teostamise mõttekusest.

KOKKUVÕTE

Antud töö algmaterjaliks olid inventariseerimisjoonised (Lisa 4) ja renoveerimistööde jaoks koostatud põhiprojekti jooniseid [2], mida kasutati hoone mahtude arvutamiseks ja edaspidi hoone kütteeritarbimise vajaduse määramiseks. Analüüsis võrreldi hoonele leitud mahtude ja nende soojusjuhtivusest tulenevat kütteenergia eritarbimist energiaauditis välja toodud arvutuslike väärtustega. Täpsemad välispiirde mahud ja nende soojusjuhtivuse väärtused tagavad tarindite erisoojuskadude hindamiseks ja võimalikeks parendustöödeks paremad tingimused.

Arvutuslikult koostati töö autori poolt hoonele energiabilanss renoveerimiseelses olukorras, kus kõrvutati arvutuslikult saadud elamu kütteenergia tarbimise suurus tegelikult tarbitud kütteenergia kogusega. Arvutuslik kütteenergia eritarbimise vajadus leiti võrdlemaks energiaauditis [1] ja sellele koostatud lisas (Lisa 1) välja toodud samaväärse väärtusega. Tulemusena selgus, et arvutuslikud kütteeritarbimise väärtused erinevates analüüsides olid sarnased ning ühtisid tegeliku kütteeritarbimise suurusga.

Sarnaselt renoveerimiseelsele olukorrale leiti soojusbilanss ka renoveerimisjärsele hoone olukorrale. Siinkohal arvestati hoone välispiirete arvutamisel reaalselt renoveerimise käigus kasutatud materjalide soojuserijuhtivuste väärtuste ning üldise sisekliima oludega. Tulemusena erinesid energiaauditi lisas ja antud töö autori poolt leitud arvutuslikud kütteeritarbimise väärtused. Tegelik kütteeritarbimise väärtus ühtis antud töö autori poolt leitud tulemusega.

Lõpptulemusena kõrvutati erinevad energiaanalüüside tulemused ja tegelik kütetarbimine. Antud töö autori poolt koostatud arvutusliku kütteenergia eritarbimiste väärtuste leidmisel selgus, et hoonele renoveerimisest tulenev eeldatav energiasääst küttekuludelt jääb saavutamata. Sama fakti tõestas ka 2009. aasta ja pärast renoveerimist seitsme kuulise kütteperioodi vältel tarnitud kütteenergia koguse võrdlus.

Hoone renoveerimisjärsele olukorrale küttebilansi koostamisel selgus, et kogu hoone energiasääst saavutatakse sisekliima arvelt. Kuna Sihtasutus KredExi üheks renoveerimise kriteeriumiks on tagada

hoones vähemalt 0,5 kordne õhuvaetus ühe tunni jooksul [22]. Hoones ei ole tagatud 0,5 1/h õhuvaetuse kordarv, mis tuleneb ventilatsiooniseadmete mittesihotstarbelises kasutamisest. Sellest tulenevalt ei kajasta ka mõõdetud kütteenergia võrdlus tegelikkuses saavutatud kütteenergia säästu.

Eeldatava energiasäästu mittesaavutamise argumendiks on ventilatsiooniseadmete tegelikult väiksem soojatagastuse väärtus, mis suurendab õhu soojendamiseks kuluvat energia hulka. Lisaks ebatäpne arvutuslik energiaanalüüs, milles alahinnatakse hoone tegelikke soojuskadusid. Energiatarbimist mõjutavad ka ehituslikud vead, mis võivad tuleneda soojustuse ebakorrektsel paigaldamisel.

Lisaks koostati hoonele säästetud energiahulga ja ehitusmaksumuse põhjal tasuvusarvutusi. Omavahel võrreldi lihttasuvusaja arvutamise meetodi tulemusi tasuvusajaga, mis võtab arvesse lineaarselt kasvava kütuse hinnatõusu ajas. Kasutades tasuvusaja arvutamisel küttehinna tõusu, tagab see täpsema tulemuse, mis on eriti vajalik renoveerimistöödega alustamise otsuste tegemiseks. Kuigi siinkohal peab mainima, et ehitustööde hinnanguline maksumus võib erineda ehitustööde tegelikust lõppmaksumusest, millest erineb ka tasuvusaeg.

Energiaanalüüsi täpsus nii oletatava energiasäästu saavutamises kui renoveerimistööde hinna kalkulatsioonis mõjutab tööga alustamise otsust, mis tõttu peaksid arvutused olema täpsemad.

SUMMARY

This final paper gives a review of an apartment house built in the year of 1985 and renovated in 2013 with the aim of saving thermal power. The purpose of the research was to analyse a necessity of calculating energy of heating and to compare it with actually bought amount of heating energy. The house was renovated using a renovation loan received from a financial institution KredEx. KredEx regulates preparation of apartment buildings energy consumption analyses. According to the analyses, the best solutions are chosen for renovation works, thus achieving sustainable energy efficiency.

According to a supplement (Supplement 1) as of the year 2012 to the energy audit report [1] made for the building in 2010, the allowable value of energy efficiency should be not less than 63%. Analytical calculation of heating power consumption, made by the author of this final paper, showed that comparison of the situation before and after renovation would not guarantee a required percentage of energy efficiency. The correct initial data of the building was taken as a basis for the more exact energy efficiency assessment – i.e., volumes of the external fence spaces and values of the thermal conductivity of the construction.

Renovation requirements by KredEx plan to improve the indoor environment in accommodation spaces, which intends to increase the indoor air flow rate at least by 0.5 in one hour. The author calculated that the attainable heating power efficiency would come from the indoor environment. Tenants of the house may affect work of the ventilation equipment installed indoors and working together with mechanically regenerative heat recovery, which will reduce the power consumption for heating of fresh air indoors. Achieving sustainable energy efficiency, specified for the building, is affected by the ventilation equipment in use whose efficiency is lower than the allowable level. Another reason of insufficient energy efficiency lies in differences of the calculated energy assessments in comparison with the true state of affairs, which affects the actual necessity in renovation works. Achieving sustainable energy efficiency can be also affected by building flaws made during heat insulation works.

Price of building renovation is high, it often requires bank financing, which results in higher bills for residents. The work reviews payback time of the building renovation works using both simple payback and adjusted payback time methods. Finally, differences arising from use of these two calculation methods and impact of renovation works are compared.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] PriiEnergia OÜ, Hoone energiaaudit, 2010.
- [2] AS Pärnu EKE Projekt, Kortere lamu renoveerimine. Põhiprojekt. Ehituskirjeldus ja joonised, Pärnu, 2012.
- [3] „Ehitisregister,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ehr.ee/v12.aspx?loc=0197&pageNr=1>. [Kasutatud 15. aprill, 2014].
- [4] Maanteeamet, „X-Gis,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://xgis.maaamet.ee/ky/FindKYByT.asp>. [Kasutatud 15. aprill, 2014].
- [5] Balti Vara Fassaadid OÜ, Lasva KÜ Ants Teostusdokumentatsioon. Fassaad, sokkel, lodžad, katus, avatäited, küttesüsteem ja ventilatsioon, 2012.
- [6] EVS 908-1:2010. Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire. Eesti Standardikeskus, 2010.
- [7] EVS-EN ISO 13370:2008. Hoone soojuslik toimivus. Soojusülekanne pinnasesse. Arvutusmeetodid. Eesti Standardikeskus, 2008.
- [8] Viking Window AS, „Ära viska raha aknast välja!“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.viking.ee/et/component/content/article?id=125>. [Kasutatud 07. aprill, 2014].
- [9] EVS-EN ISO 10211:2008. Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid, 2008.
- [10] T. Kalamees, T.-A. Kõiv, R. Liias, K. Õiger, U. Kallavus, L. Mikli, S. Ilomets, K. Kuusk, M. Maivel, A. Mikola, P. Klõšeiko, T. Agasild, E. Arumägi, E. Liho, T. Ojang, T. Tuisk ja L.-M. Raado, Eesti eluasemefondi telliskortere lamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool ehitusteaduskond, 2010.
- [11] Riigiteataja, „Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001>. [Kasutatud 12. aprill, 2014].
- [12] A. Hamburg, Energiatõhususe arvutuse analüüs viiekorruselise suurpaneel-kortere lamu tüübi 212 näitel. Magistritöö, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2011.
- [13] Jõgioja Ehitusfüüsika KB loodud päikeseenergia arvutamise mudel.
- [14] EVS-EN ISO 13790:2008. Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling. Eesti Standardikeskus, 2008.

- [15] L. Pahapill ja L. Jõgioja, Eesti kliima teadmik ehitajale, Tallinn: Eesti Ehitusteave, 2000.
- [16] T.-A. Kõiv ja A. Rant, Hoonete küte, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2013.
- [17] T.-A. Kõiv, Eesti kraadpäevad, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli keskkonnatehnika instituut, 2006.
- [18] Sihtasutus KredEx, „Kraadpäevad,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/>. [Kasutatud 20. aprill, 2014].
- [19] T.-A. Kõiv, A. Hamburg, A. Mikola, M. Kiil, A. Tukia, T. Rohula ja Ü. P. Gert Silm, Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2014.
- [20] EVS-EN 15251:2007. Sisekeskkonna lähteparametrid hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast. Eesti Standardikeskus, 2007.
- [21] Mesa Eesti OÜ, Ülevaade kommunaalkuludest.
- [22] Sihtasutus KredEx, „Toetuse tingimused,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.kredex.ee/korteriuhistu/korteriuhistu-toetused/rekonstrueerimise-toetus/toetuse-tingimused/>. [Kasutatud 07. aprill, 2014].
- [23] Sihtasutus Kredex, „Kortermajade energiatõhususe meetmete senine mõju ja kogemusi,“ 26.03.2014. [Võrgumaterjal]. Available: http://f.ell.ee/failid/LVP/2014/07/10_Mikk_Maivel.pdf. [Kasutatud 21. aprill, 2014].
- [24] Balti Vara Fassaad OÜ, Õiend teostatud tööde osade kohta, 2013.
- [25] Lasva Korteriühistu Ants, Korterelamu rekonstrueerimise toetuse taotlus.
- [26] AS SEB Pank, Laenuleping NR 2013016692, Tallinn, 2013.
- [27] E. Jõgioja, H. Lindmaa, R. Huik, U. Vana ja J. Oidermaa, Seinte soojatehnilised ja majanduslikud näitajad, Tallinn: ENSV Riiklik Ehituskomitee, 1986.

Lisa 1. Energiaauditi lisa

Lisa olemasolevale energiaauditile

Auditeeritud hoone

Aadress:

Maja **Ants**
Küla **Lasva**
Vald **Lasva**
Maakond **Võru maakond**

Auditi tellija:

Juriidiline nimi **KÜ Lasva Ants**
Esindaja **Jaanus Paloveer**

Energiaauditi koostamise aeg:

aprill 2010

Energiaauditi koostaja:

Juriidiline nimi **OÜ PriiEnergia**
Koostaja isik **Meelis Resev**

Planeeritav energiasäästu andev tööde pakett

Nimetus	Tööde kirjeldus
fassaad	Hoone välisseinte lisasoojustus (otsaseinad +200 mm polüstürool, pikiseinad +150 mm polüstürool), sokliseina lisasoojustus (+100 mm polüstürool)
katus	-
aknad/välisuksed	Vanade akende (41 tk) väljavahetamine uute pakettlahenduste vastu, kolmekordse klaasiga pakettaknad ($U=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Vanade välisuste (9 tk) väljavahetamine uute soojapidavamate vastu ($U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$).
keldrilagi	-
katuslagi	Lisasoojustus +300 mm villsoojustus
küttesüsteem	Uue soojussõlme väljaehitamine. Uute kütetorustike paigaldus, küttekehadele termostaatventiilide paigaldamine. Püstikutele tasakaalustusventiilide paigaldus ning küttesüsteemi seadistamine. Küttesüsteemile individuaalsete soojuskulu mõõturite paigaldus.
ventilatsiooni süsteem	Soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi paigaldamine

Eelnevalt teostatud rekonstrueerimistööd*

--	--	--

*- välja tuua teostatud töö nimetus, aeg ja saavutatud energiasäästu määr (%)

Energiakulu enne planeeritavaid töid (auditi järgi):

144 kWh/m²a

Energiakulu peale planeeritavate tööde tegemist (arvutatud):

52 kWh/m²a

Kinnitan, et planeeritav tööde pakett on ette nähtud osutatud energiaauditiga ja et pärast nende kompleksset teostamist on oodatav energiasääst 63 % (sh. eelnevalt tehtud töödega saavutatud energiasääst) ja saavutatav energiamärgise klass on C. Tööde teostamise tulemusena tagatakse hoone sisekliima vastavus standardile EVS-EN 15251:2007.

Kuupäev: **22.05.2012**

Nimi: **Toomas Rähmonen**

Allkiri: 

Foto 2. Energiaauditi lisa

Lisa 2. Materjalide soojaerijuhtivuse väärtused

Tabel 36

Arvutustes kasutatud materjalide soojuserijuhtivuse väärtused. [5] [6: 16-17] [7: 9] [27: 26]

Materjali nimetus	Soojajuhtuvusarv U , W/m^2K
Gaaskukeroonplokk	0,78
Materjali nimetus	Soojaerijuhtivus λ , W/mK
Monteeritavad raudbetoonplokid	2,20
Raudbetoonpaneel	2,20
Õõnesraudbetoonpaneel	1,60
Keramsiitplokk	0,20
Ehitusaegne soojustus	0,14
Lae soojustus. šlakk	0,14
Kivivillaplaat	0,042
EPS 60	0,04
EPS 120 Perimeter	0,034
Puistevill	0,04
Tsementkiudplaat	0,035
Parkett	0,16
Kipskartongplaat	0,22
Puitlaudis	0,12
Pinnas	2,00

Lisa 3. Hoone tarbimisandmed

Kortermaja ostetud kagükütteenergia väärtused, mis tulenevad küttekulude arvestusfirmalt [21].

Tabel 37

Ostetud kaugkütte kogused ja hind kuude kaupa							
Kuu	Oktoober	November	Detsember	Jaauuar	Veebruar	Märts	Aprill
Ostetud kaugkütte kogus, MWh	13	11	14	20	14	10	7
1 MWh hind, €	52,26	62,71	62,71	62,71	62,71	62,71	62,71

Lisa 4. Kortermaja inventariseerimisjoonised

LEHT NR. 3
VÕRU RAJ. LASVA
KOLM. OKTOOBRI LIPP*

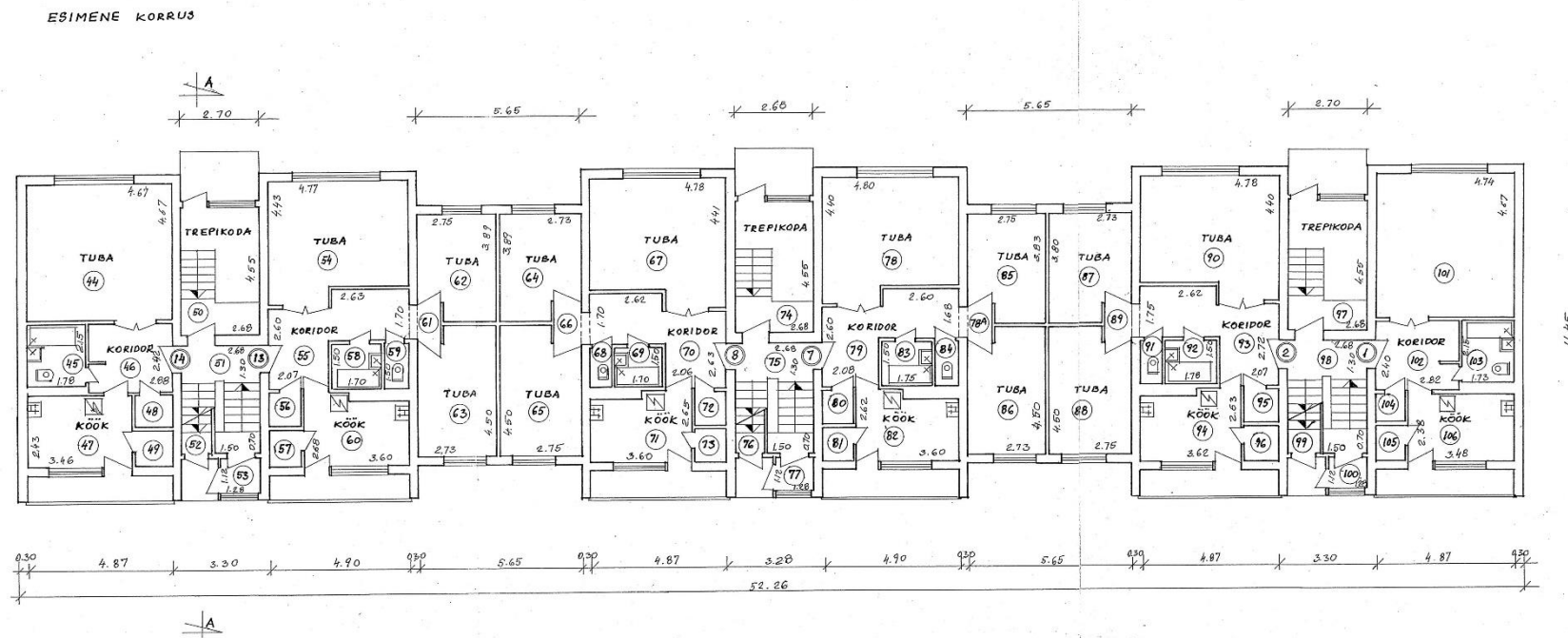


Foto 3. Kortermaja keldrikorruse plaan

ESIMENE KORRUS

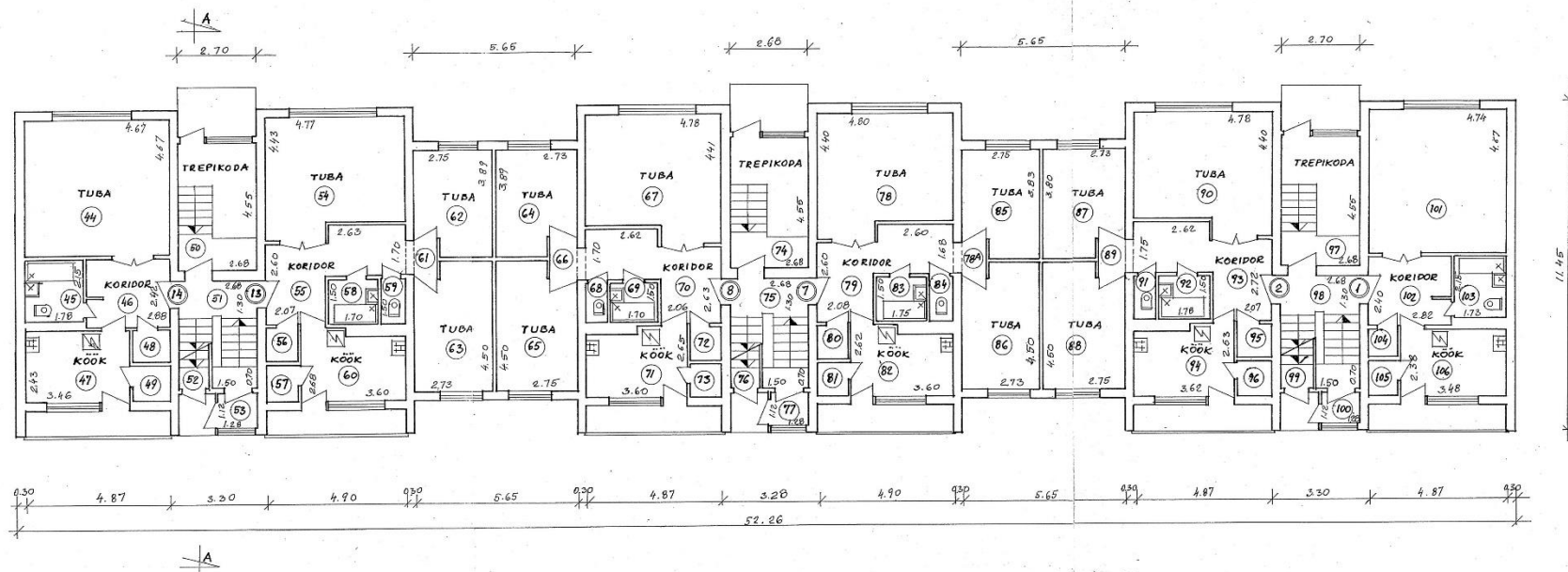


Foto 4. Hoone esimese korruse plaan

LEHT NR. 4
TÖRÜ RAJ. LASVA
JULH. „OKTOOBRI LIPP“

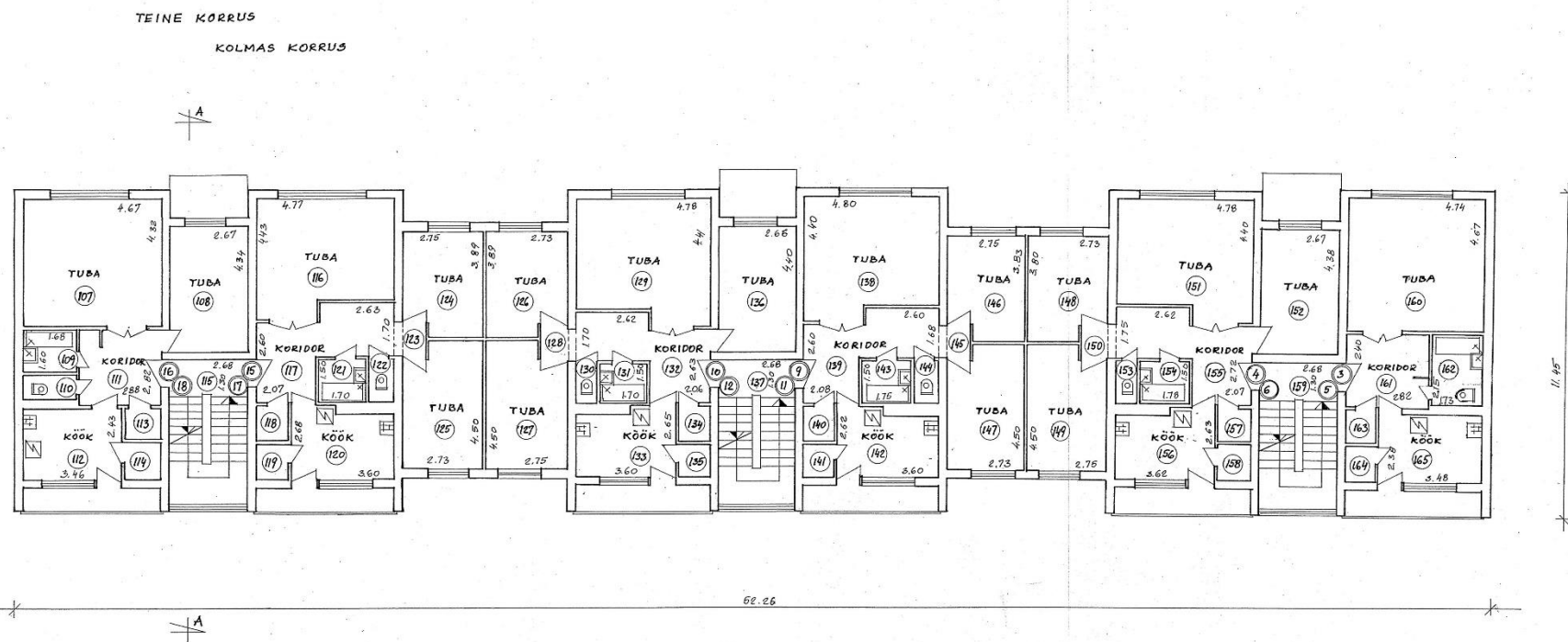
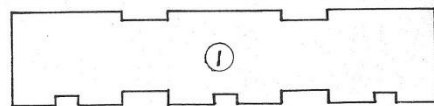


Foto 5. Hoone teise ja kolmanda korruse plaan

LEHT NR. 1
VÕRU RAJ. LASVA
KÕLH. "OKTOOBRI LIPP"

ASENDIPLAAN



LÕIGE A-A

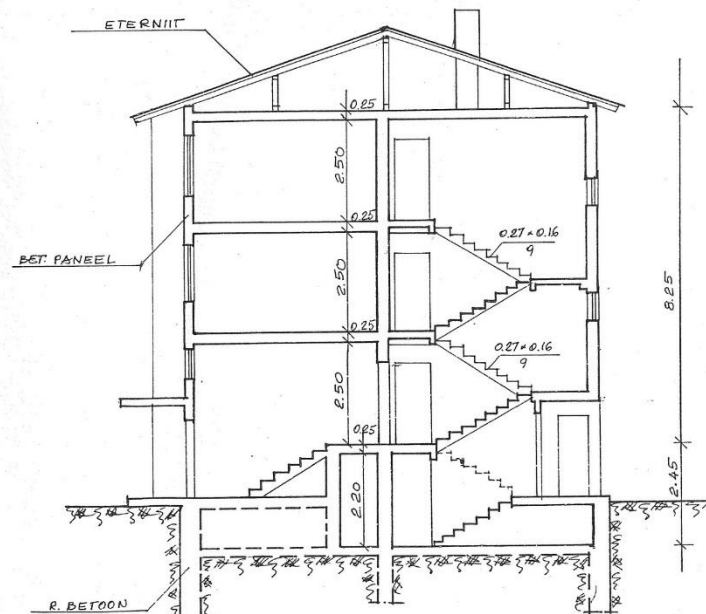


Foto 6. Hoone asendiplaan ja lõige