

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINNA KOLLEDŽ**

Kinnisvara haldamine

Mailis Kuresson

**A. H. TAMMSAARE TEE 107 KORTERELAMU
ENERGIATÕHUSUSE HINDAMINE NING
REKONSTRUEERIMISJÄRGSE ENERGIAKULU
KAVANDAMINE**

Lõputöö

Juhendaja: Prof. Roode Liias, *PhD*

Tallinn 2016

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. OBJEKTI ISELOOMUSTUS	6
1.1 Hoone üld- ja tehnilised andmed	7
1.2 Läbi viidud rekonstrueerimis- ja renoveerimistööd	9
1.3 Hoonete energiatõhususe olemus ja nõuded	10
2. HOONE ENERGIAKULU	12
2.1 Kraadpäevad	13
2.2 Hoone soojuskaod	13
2.2.1 Hoone soojuskaod läbi piirdetarindite	14
2.2.2 Ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutuslik soojuskadu	17
2.2.3 Hoone soojuskadude arvutuste tulemused	19
2.3 Hoone vabasoojuskoormus	20
2.4 Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine	22
2.5 Hoone arvutuslik elektrienergiakulu	25
2.6 Hoone soojusbilanss	26
2.7 Hinnang hoone energiatõhususele	27
3. REKONSTRUEERIMISJÄRGSE ENERGIAKULU KAVANDAMINE	29
3.1 Kasutatavad parendusmeetmed	30
3.2 Pakett 1	31
3.2.1 Hoone soojuskaod pärast meetmete rakendamist	31
3.2.2 Tasakaalutemperatuur pärast meetmete rakendamist	34
3.2.3 Säästuväärtuse leidmine	34
3.2.4 Pakett 1 analüüs	36
3.3 Pakett 2	37
3.3.1 Hoone soojuskaod pärast meetmete rakendamist	38
3.3.2 Tasakaalutemperatuur pärast meetmete rakendamist	39

3.3.3	Säästuväärtuse leidmine	39
3.3.4	Pakett 2 analüüs	40
3.4	Pakett 1 ja Pakett 2 analüüs võrreldes olemasoleva olukorraga	42
	KOKKUVÕTE	45
	VIIDATUD KIRJANDUS	47
	LISAD	49
	Lisa 1. Vaade maja eest	50
	Lisa 2. Vaade maja küljelt	51
	Lisa 3. Maja plaan	52
	Lisa 4. 2011 aasta kraadpäevad	53
	Lisa 5. 2012 aasta kraadpäevad	54
	Lisa 6. 2013 aasta kraadpäevad	55
	Lisa 7. 2014 aasta kraadpäevad	56
	Lisa 8. 2015 aasta kraadpäevad	57
	Lisa 9. Normaalaasta kraadpäevade arv	58
	Lisa 10. Ventilatsioonisüsteem.....	59
	Lisa 11. Piirdetarindite koondtabel.....	60
	SUMMARY	61

SISSEJUHATUS

Eestis sai suurpaneel lamute ehitus alguse aastal 1960. Esimeseks tüüpseeriaks olid Mustamäe elamud, ehitatud tüüpprojekti number 1-464 järgi. Paljud magalarajoonide hooned on tänaseks nii moraalselt kui ka füüsiliselt vananenud ning vajaksid rekonstrueerimist. Samuti on probleemiks kõrged küttekulud ning puudulikust ventilatsioonist tingitud halb sisekliima. Tänapäeval pööratakse hoonete juures suurt rõhku energiatõhususele ning sisekliima parandamisele. Projekteeritavatele elamutele esitatakse üha suuremaid nõudeid püüdnemaks liginullenergia hoonete poole ning energiatõhususe miinimumnõuded on kehtestatud ka olemasolevatele hoonetele, mida on kavas rekonstrueerida.

Autor valis antud lõputöö teema, kuna uurimisobjektiks olev suurpaneel lamu, aadressil A. H. Tammsaare tee 107, on 1968. aastal tüüpprojekti järgi ehitatud elamu, mis tänaseks vajab rekonstrueerimist ja mikrokliima parandamist.

Lõputöö uuringu meetodika on kvantitatiivne uuring, mille esimeseks eesmärgiks on analüüsida hoone hetkelist energiatõhusust. Selleks kasutab töö autor hoone energiakasutuse kohta väljastatud arveid ning võrdlemaks neid teoreetilise energiakasutusega, leiab autor hoone energiakulud arvutuslikul teel. Arvutuste jaoks kasutatakse Eesti Rahvusrhiivist saadud tüüpprojekti nr 1-464-14 jooniseid (vt Lisa 1-3) ning 2009. aastal hoonele koostatud energiaauditit.

Uuringu teiseks eesmärgiks on leida majanduslikult mõistlik rekonstrueerimise lahendus parandamiseks hoone energiatõhusust ja mikrokliimat. Selleks esitab autor hoone parendusmeetmete paketid tervikuna koos hinnanguliste energiasäästu väärtuste ja lihttasuvusajaga ning analüüsib neid omavahel. Pakettide koostamisel arvestab autor oluliselt rekonstrueeritavale hoonele kehtivaid energiatõhususe miinimumnõudeid.

Lõputöö esimeses peatükis annab autor ülevaate uuritavast hoonest, mis asub A. H. Tammsaare teel. Esitatud on korterelamu üld- ja tehnilised andmed ning läbi viidud parandustööd. Lisaks

tutvustatakse energiatõhususe olemust ning oluliselt rekonstrueeritavale korterelamule kehtestatud miinimumnõudeid, millest autor lähtub rekonstrueerimisjärgse energiakulu kavandamisel.

Töö teises peatükis on leitud korterelamu arvutuslik energiakulu ning toodud ära normaalaastale taandatud tegelik energiakulu. Kraadpäevade kasutamiseks on leitud hoone hinnangulised soojuskaod, vabasoojuskoormus ning tasakaalutemperatuur. Tulemuste põhjal antakse hinnang hoone energiatõhususele.

Lõputöö kolmandas peatükis pakub autor välja parandusmeetmete paketid hoone energiatõhususe tõstmiseks ning mikrokliima parandamiseks.

1. OBJEKTI ISELOOMUSTUS

Uuritavaks objektiks on valitud Tallinnas, Mustamäe linnaosas asuv korterelamu aadressil A. H. Tammsaare tee 107, katastritunnusega 78405:501:0017 (vt Joonis 1). Tegemist on 1968. aastal tüüpprojekti nr 1-464A-14 järgi valminud viiekorruselise hoonega. Hoonel on kaheksa trepikoda, seitsmes trepikojas on 15 korterit ning ühes 14, mis kokku teeb 119 korterit. Hoone haldajaks on AS ISS Eesti.



Joonis 1. A. H. Tammsaare tee 107 korterelamu asendiplaan

Allikas: Maa-ameti geoportaal [12]

Hoone paikneb pikimast küljest põhja-lõuna suunal. Maja põhja küljel asub hoonesse sissepääs, parkimisala ning Tammsaare tee tänav. Lõuna suunal on aga roheala.

1.1 Hoone üld- ja tehnilised andmed

A. H. Tammsaare tee 107 suurpaneel lamu üldandmed (vt Tabel 1) pärinevad ehitisregistrist. [2]

Tabel 1. Hoone üldandmed

Ehitise liik	Hoone
Ehitisregistri kood	101019996
Esmane kasutuselevõtu aasta	1968
Korruste arv	5
Korterite arv	119
Ehitusalune pind	1423 m ²
Suletud netopind	7433,7 m ²
Hoone maht	22260 m ³
Üldkasutatav pind	1753,9 m ²
Eluruumide pind	5679,8 m ²
Köetav pind	6197,9 m ²
Keldri olemasolu	Jah

Allikas: Ehitisregister [2]

Elamu on madalvundamendiga hoone, millel on 5 korrust, lisaks kelder, mida ei köeta. Keldri seinakonstruktsioon on betoonpaneel. Välisseina materjaliks on 250 mm paksune suurpaneel, mille vuugid on korrastatud. Otsaseinad on soojustatud 100 mm lisasoojustusega õhekorvsüsteemiga.

Hoonel on 2006. aastal soojustatud pööningu vahelagi ning ehitatud välise sadevee äravooluga viilkatus, mis on kaetud profiilplekiga. Vahelaed on tehtud monteeritavast raudbetoonpaneelidest.

Trepikodade ja keldri aknad on PVC raamidega pakettaknad, trepikoja ja keldri välisüksed on metallturvauksed. Enamus korterite aknad ja rõduüksed on PVC raamidega, vähestel korteritel on vanad puitraamidega aknad.

Hoone tehnilised andmed on toodud ära tabelis 2. Andmed pärinevad ehitisregistrist. [2]

Tabel 2. Hoone tehnilised andmed

Elektrisüsteemi liik	Võrk
Veevarustuse liik	võrk
Kanaliseerimise liik	Võrk
Soojusvarustuse liik	Kaugküte
Soojusallikas	Katel
Energiaallikas	Vedelkütus
Võrgu- või mahutigaasi olemasolu	jah

Allikas: Ehitisregister [2]

Hoone keldrikorrusel asub automaatjuhtimisega sõltumatu skeemiga soojussõlm. Soojussõlmes paiknevad küttevee ja sooja tarbevee valmistamiseks mõeldud plaatsoojusvahetid, keskkütte ja soojavee tsirkulatsioonipumbad, keskkütte automaatikakeskus. Viimase ülesanne on hoida süsteemi antava vee temperatuuri vastavalt välisõhu temperatuurile. Sooja tarbevee automaatika hoiab soojussõlmest väljuva vee temperatuuri etteantud tasemel ning selle kasutust mõõdetakse enne soojusvahetit asuva vooluhulga mõõturiga. Soojuse kulu mõõtmiseks on kasutusel soojusmõõtja. Samuti on kõigile korteritele paigaldatud eraldi mõõturid nii külmale kui soojale tarbeveele. [3]

Küttesüsteemina on kasutusel alumise jagamisega ühetoru küttesüsteem, mille püstikutele on paigaldatud tasakaalustusventiilid. Keldris paiknevad keskküttetorud on isoleeritud mineraalvillaga, mis omakorda on kaetud ruberoidiga. [3]

Hoone ventilatsioon on loomuliku ergutusega väljatõmbeventilatsioon köökidest ja sanitaarruumidest seinasiseste lõõride kaudu. Ruumidesse taastub õhk konstruktsiooni ebatiheduste ja avatavate akende kaudu. Osades korterites on paigaldatud omanike poolt kööki, pliidi kohale, mehaanilise ergutusega väljatõmbe kubud.

1.2 Läbi viidud rekonstrueerimis- ja renoveerimistööd

A. H. Tammsaare tee 107 korterelamus on hoone eluea pikendamise ning energiatõhususe tõstmise eesmärgil teostatud mitmed renoveerimis- ja rekonstrueerimistööd. All olevas tabelis on ära toodud suuremad renoveerimistööd (vt Tabel 3).

Tabel 3. A. H. Tammsaare tee 107 renoveerimistööd

Aasta	Töö nimetus
Enne 2006	Trepikoja akende vahetus
	Otsaseinte soojustamine 100mm
	Vuukide remont
	Välisuste vahetus
	Üldelektrisüsteemi renoveerimine
	Rõdude remont
2006	Viilkatuse ehitus
	Pööningu vahelae soojustamine
2007	Üldelektrisüsteemi osaline rekonstrueerimine
	Sillutisriba renoveerimine
2008	Varikatuste remont
	Puitraamidega keldriakende asendamine PVC raamidega akendega
	Vuukide remont
2015	Kanaliseerimisitorude vahetamine plastitorude vastu

Allikas: A. H. Tammsaare tee 107 energiaaudit [3]

A. H. Tammsaare tee suurpaneelilamul on 2005. aastal soojustatud otsaseinad 100 mm lisasoojustusega, kasutatud on õhekrohvüsteemi lahendust. Selle tulemusena paranes seina soojapidavus märgatavalt. Teine suurem töö hoone energiatõhususe parendamiseks oli katuse rekonstrueerimine, mille käigus ehitati välja viilkatus ning soojustati pööning. Katus on kaetud profiilplekiga. Elamus on keldri ja trepikoja vanad puitraamidega aknad asendatud kaasaegsete PVC akende vastu, ukсед on metallturvauksed. Enne 2006. aastat on renoveeritud üldelektrisüsteem. 2007. aastal teostati üldelektrisüsteemile osaline rekonstrueerimine. Vuukide parandustööd on teostatud kahel korral - enne 2006. aastat ning 2008. aastal. Enne 2006. aastat on teostatud rõdude remont, 2008. aastal teostati remonttööd sissekäikude varikatustele. Viimane

suurem töö teostati 2015. aastal, mille käigus vahetati välja vanad malmist kanalisatsioonitorud ning asendati tänapäevaste plasttorude vastu. Vaatamata hoone senistele parendustöödele, on vaja teha suuremaid investeeringuid likvideerimaks hoone suuri külmasildu ning tagamaks inimestele mugavama sisekliima.

1.3 Hoonete energiatõhususe olemus ja nõuded

Hoonete energiatõhusus väljendab hoone tavalise kasutusega seotud arvutuslikku või mõõdetud energiahulka, mida tarbitakse hoone kütmiseks, jahutuseks, ventilatsiooniks, vee soojendamiseks ja valgustuseks. [5]

Energiatõhususe miinimumnõuded on olemasolevate ja ehitatavate hoonete summaarse energiakasutuse piirmäärad. Piirmäärad lähtuvad hoonete kasutamise otstarbest ning arvestavad nende tehnilisi näitajaid, või tehnosüsteemidele esitatavad nõuded, et mõõta nende efektiivsuse ja toimimisega seotud näitajaid. Hoone vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele hinnatakse hoone projekteerimisel ehitusprojekti dokumentatsiooni alusel. Energiatõhususe miinimumnõuded on väljendatud energiatõhususarvuna, mis on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel. Energiatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. [4, §3]

03.06.2015 Majandus- ja taristuministri poolt välja antud määrusega nr 55 „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ on kehtestatud järgmised nõuded oluliselt rekonstrueeritava korterelamu kohta: [7]

1. Energiatõhususarvu piirväärtus korterelamul: 180 kWh/m² aastas.
2. Välisseina soojusläbivus 0,12-0,22 W/(m²×K).
3. Katuse ja põranda soojusläbivus 0,1–0,15 W/(m²/K).
4. Akna ja ukse soojusläbivus 0,6–1,1 W/(m²/K).

Akende ja uste lõplikud valikud tuleb teha lähtudes hoone kompaktsusest ning kütte- ja ventilatsioonilahendusest.

Juhul kui ehitatav hoone või oluliselt rekonstrueeritav hoone vastab energiatõhususe nõuetele, loetakse selline hoone kuluoptimaalse energiatõhususega hooneks. Kuluoptimaalne

energiatõhusus on energiatõhususe piirväärtus, mille puhul on tagatud hoone elutsükli minimaalsem kogukulu. [7, §3]

Oluliselt rekonstrueeritaval hoonel on võimalus saada Sihtasutus KredEx-i toetusi. Toetusi saavad taotleda kortereramut haldav korteriühistu või vald või linn, kui korterelamu on tervikuna valla või linna omandis. Toetusi on võimalik saada 15%, 25% ja 40% ulatuses projekti kogumaksumusest sõltuvalt korterelamu rekonstrueerimise kompleksuse tasemele. Toetusi antakse ainult ehitusprojekti väljastatud teostamata renoveerimistöödele, mis moodustavad omavahel terviklahenduse. [15]

Kõik toetuse määrad näevad ette sisekliima parandamist ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimise teel. 15% toetuse saamiseks peab saavutama rekonstrueerimistöödega 20% energiasäästu ning jõudma energiatõhususarvu klassi „E“ ehk energiatõhususarv $ETA \leq 220 \text{ kW}/(\text{m}^2 \times a)$. 15% toetust ei anta välja Tallinna või Tartu linnas asuvale elamule, välja arvatud juhul, kui hoonele seatud piirangud ei võimalda täita kõrgema toetuse määra saamise nõudeid. [8]

25% toetuse saamiseks tuleb rekonstrueerida küttesüsteem vähemalt korteripõhiselt reguleeritavana ja paigaldama radiaatoritele piirajaga varustatud termostaatventiilid, teostada fassaadi soojustamine kaalutud keskmise soojuslähivuse tasemega $U \leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ ja katuse soojustamine tasemele $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$, vahetada välja vanad aknad uute kolmekordse klaaspaketiga energiasäästlike akende vastu, mille $U \leq 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$. Rekonstrueerimistööde tulemusena peab korterelamu saavutama energiatõhususarvu klassi „D“ ehk energiatõhususarv $ETA \leq 180 \text{ kW}/(\text{m}^2 \times a)$. [8]

40% toetuse puhul tuleb lisaks eelnimetatud töödele tõsta külmasildade vältimiseks aknad soojustuse tasapinda või soojustada aknapäled ja paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Rekonstrueerimistööde tulemusena peab korterelamu saavutama energiatõhususarvu klassi „C“ ehk energiatõhususarv $ETA \leq 150 \text{ kW}/(\text{m}^2 \times a)$. [8]

2. HOONE ENERGIAKULU

Hoone energiakulu on energia kogusumma, mis on vajalik hoone kütmiseks, jahutamiseks, ventilatsiooniks, valgustuseks ning sooja tarbevee valmistamiseks ehk sisse ostetavate energialiikide kogusumma. Tabelis 4 on ära toodud 2011-2015 aasta uuritava korterelamu tegelik igakuine energiakulu. Tabelis toodud andmed põhinevad hoone kasutajatele väljastatud arvetel.

Tabel 4. Uuritava korterelamu energiakulu aastatel 2011-2015

Kuu	2011, MWh	2012, MWh	2013, MWh	2014, MWh	2015, MWh
Jaanuar	129,00	138,00	135,00	138,00	129,00
Veebruar	132,00	130,00	99,00	101,00	108,00
Märts	102,89	99,00	114,89	97,00	104,69
Aprill	66,00	84,00	89,00	83,00	70,00
Mai	45,00	46,00	34,00	45,00	49,00
Juuni	24,00	23,00	19,00	23,00	27,00
Juuli	19,00	23,00	22,00	24,00	23,08
August	23,00	20,00	21,00	17,00	21,29
September	21,00	22,00	21,00	29,00	25,37
Oktoober	60,00	7,00	79,00	67,00	84,95
November	81,00	80,00	74,00	99,00	90,85
Detsember	96,00	133,00	94,00	118,00	102,59
Aastane energiatarbimine, Mwh:	798,89	805,00	801,89	841,00	835,82
Aastane energiatarbimine, kWh:	798890	805000	801890	841000	835820
Aastane energiatarbimine, KWh/(m ² × a):	128,90	129,88	129,38	135,69	134,86

Allikas: ISS Eesti; Autori arvutused

2011-2015 aastate energiakulu jääb vahemikku 128,90-135,69 KWh/m², keskmine energiakulu viie aasta arvestuses on 131,74 KWh/m² kohta.

2.1 Kraadpäevad

Suur osa soojuse tarbimisest hoones sõltub väliskliimast, mis on aastate lõikes erinev. Hoone erinevate aastate soojustarbe adekvaatseks hindamiseks on autor võtnud kasutusele kraadpäevade arvu. Üks kraadpäev näitab keskmist ühe kraadi erinevust sisetemperatuuri ja välistemperatuuri vahel ööpäeva jooksul. [9]

Kraadpäevade kasutamisel elimineeritakse välisõhu temperatuuride erinevustest tingitud mõju soojustarbimisele, viies reaalse aasta soojustarbimise üle nn normaalaasta tarbimisele. Normaalaasta soojustarbimine on leitav järgneva seosega: [9]

$$Q_N = (Q_{teg} - C) * \frac{S_N}{S_{teg}} + C \quad (1)$$

- Kus Q_N – normaalaasta soojustarbimine (MWh),
 Q_{teg} – tegeliku aasta soojustarbimine (MWh),
 S_N – normaalaasta kraadpäevade arv,
 S_{teg} – tegeliku aasta kraadpäevade arv,
 C – kraadpäevadest sõltumatu soojustarbimine (MWh).

Osa hoonetes tarbitud soojusest on nõrgalt seotud välisõhutemperatuuriga, seega praktiliselt sõltumatu kraadpäevade arvust. Kraadpäevadest sõltumatuks soojustarbimiseks arvestatakse sooja tarbevee valmistamiseks kulutatud soojust koos sooja tarbevee torustiku soojuskadude ja siugtoru kaudu hoonesse antud soojusega. Samuti võib sinna hulka lugeda mitteköetavates ruumides paiknevate küttetorustike soojuskaod. [9]

2.2 Hoone soojuskaod

Hoone soojuskaod väljendavad hoone konstruktsioonidest väljuvat soojusenergia hulka ning välisõhu soojendamise seotud soojuskadusid (ventilatsioon, infiltratsioon). Soojuskaod sõltuvad eelkõige köetava hoone mõõtmetest, kasutatavate ehitusmaterjalide soojustehnilistest näitajatest, hoone geograafilisest asukohast, arhitektuurist ja kliimasüsteemide tehnilise lahenduse tasemest. [10, lk 40]

Soojuskaod võib jagada kaheks:

- Soojuskaod läbi piirdetarindite ehk soojusjuhtivuskaod
- Välisõhu soojendamisega seotud soojuskaod (ventilatsioon ja infiltratsioon)

Hoone soojuskadude arvutamine on oluline leidmaks hoone kütteenergiavajadust rekonstrueerimiseelses olukorras ning seeläbi saab arvutada pakutavate parendusmeetmete energiasäästu. Arvutustel on kasutatud siseõhutemperatuuri väärtuseks +21°C ning välisõhutemperatuuri väärtuseks -21°C.

Köetava ruumi arvutuslik küttekoormus ehk soojuskadu määratakse järgmise seosega: [10, lk 40]

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} + \phi_{\ddot{u}k,i} \quad (2)$$

- Kus ϕ_i – köetava ruumi (i) arvutuslik küttekoormus (soojuskadu) (W),
 $\phi_{T,i}$ – köetava ruumi (i) arvutuslik soojuskadu läbi piirdetarindite (W),
 $\phi_{V,i}$ – köetava ruumi (i) ventilatsiooni arvutuslik soojuskadu (W),
 $\phi_{\ddot{u}k,i}$ – vajalik üleskütmise võimsus perioodilise kütmise kompenseerimiseks (W).

Soojuskadude määramiseks vajalikud arvutuste meetodid on toodud ära järgnevas alapeakirjades.

2.2.1 Hoone soojuskaod läbi piirdetarindite

Hoone soojuskaod leidmiseks on vajalik arvutada välja soojuskaod läbi piirdetarindite. Hoone soojuskadude leidmiseks on võimalik kasutada järgmist meetodit: [10, lk 40]

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iu} + H_{T,ip\ddot{o}r} + H_{T,ij}) \times (t_{\ddot{o},arv,i} - t_{v\ddot{o},arv}) \quad (3)$$

- Kus $\phi_{T,i}$ – köetava ruumi (i) arvutuslik soojuskadu läbi piirdetarindite (W),
 $H_{T,ie}$ – köetava ruumi (i) soojuserikadu läbi välispiirdetarindite (W/K),
 $H_{T,iu}$ – köetava ruumi (i) soojuserikadu läbi kütmata ruumide (W/K),
 $H_{T,ip\ddot{o}r}$ – põranda soojuserikadu (W/K),
 $H_{T,ij}$ – soojuserikadu madalama temperatuuriga naaberuumidesse (W/K),
 $t_{\ddot{o},arv,i}$ – arvutuslik siseõhu temperatuur köetavas ruumis (i) (°C)
 $t_{v\ddot{o},arv}$ – arvutusliku välisõhu temperatuur (°C)

Kasutades piirete hinnangulisi U-väärtusi ning piirete pindalasiid, on võimalik välja arvutada piirdetarindite erisoojuskaod. Järgnevate valemite abil saab välja arvutada hoone soojuskadude jaoks vajalikud hoone erinevate osade soojuserikaod.

Soojuserikadu läbi välispiirdetarindite arvutatakse välja järgmise seosega: [10, lk 41]

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \times U_k \times e_k + \sum_j \Psi_j \times l_j \times e_j \quad (4)$$

- Kus $H_{T,ie}$ – piirdetarindite erisoojuskaod (W/K)
 A_k – piirdetarindi elemendi (k) pindala (m²),
 U_k – piirdetarindi elemendi (k) soojusjuhtivus (W/m²×K),
 e_k, e_j – parandustegurid, mis arvestavad erinevat soojust, niiskuse neeldumist piirdeelementidesse, välisõhu temperatuuri ja tuulekiirust – suurus, millega ei ole arvestatud U-arvu määramisel,
 Ψ_j – joonkülmsilla (j) lisakonduktants (W/m×K).
 l_j – joonkülmasilla (j) pikkus sise- ja väliskeskonna vahel (m).

Soojuserikadu läbi kütmata ruumide arvutamise meetoodika: [10, lk 42]

$$H_{T,iu} = \sum_k A_k \times U_k \times b_u + \sum_j \Psi_j \times l_j \times b_u \quad (5)$$

- Kus $H_{T,iu}$ – arvutuslik soojuserikadu läbi piirdetarindite väliskeskonda (W/K),
 b_u – temperatuuri vähendustegur, mis võtab arvesse kütmata ruumi ja välisõhu arvutusliku temperatuuri erinevused.

Põranda soojuserikadude arvutamise meetoodika: [10, lk 42]

$$H_{põr} = A \times U_0 + P \times (\Psi_{põr} \times \Psi_{põr, serv}) \quad (6)$$

- Kus $H_{põr}$ - põranda soojuserikadu (W/K)
 U_0 – põranda baassoojusjuhtivus [W/(m²×K)]
 P – keldri põranda perimeeter (m)
 $\Psi_{põr}$ - põranda ja seinä ühenduskoha joonkülmasilla lisakonduktants [W/(m²×K)]
 $\Psi_{põr, serv}$ – põranda serva lisakonduktants [W/(m²×K)]

Soojuserikadu madalama temperatuuriga naaberruumidesse arvutamise meetoodika: [10, lk 46]

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \times A_k \times U_k \quad (7)$$

Kus $H_{T,ij}$ – soojuserikadu madalama temperatuuriga naaberruumidesse (W/K)

f_{ij} – temperatuurialandustegur, mis arvestab külgnevate ruumide ja välisõhu arvutuslike temperatuuride vahega,

A_k – hoone elemendi (k) pindala (m²),

U_k – hoone elemendi (k) soojusjuhtivus [W/(m²×K)].

Hoone arvutuslikud soojuserikaod on toodud ära tabelis 5 ja tabelis 6. Arvutustes kasutatud piirdetarindite U-arvud, mõõtmed ja mahud on võetud A. H. Tammsaare tee 107 suurpaneelilamule koostatud energiaauditist [3]. Joonkülmasildade pikkuste mõõtmisel on kasutatud tüüpprojekt nr 1-464A-14 jooniseid (vt Lisa 1-3). Joonkülmasilla soojuslähivuse väärtused on võetud „Energiatõhususe miinimumnõuded“ §-st 12 [7, §12].

Tabel 5. Hoone soojuserikaod läbi välispiirete

Piirdetarind	Soojusjuhtivus U, W/m ² ×K	Piirde pindala A _k , m ²	Erisoojuskadu H, W/K
Välissein	0,83	2200,20	1826,20
Otsasein	0,27	278,20	75,10
Sokkel	1,17	228,20	267,00
Katus	0,31	1420,70	440,40
Keldri lagi	0,50	1382,60	691,30
Välisuks	1,70	29,90	50,80
Koridori aknad PVC	1,40	106,00	148,40
Korterite puitaknad	3,00	70,00	210,00
Korterite PVC aknad	1,40	891,60	1248,20
Keldri aknad	1,40	19,30	27,00
Välispiirete summaarne erisoojuskadu:			4984,50

Allikas: A. H. Tammsaare tee 107 energiaaudit [3]; Autori arvutused

Välispiirete summaarne erisoojuskadu on kokku 4984,50 K/W (vt Tabel 5).

Tabel 6. Hoone soojuserikaod läbi joonkülmasildade

Külmasild	Ψ_i , W/m×K	l_j , m	$H_{külmasild}$, W/K
Välissein-välissein liitekoht	1,00	54,6	54,6
Katuse ja välisseina liitekoht	0,80	263,1	210,4
Rõdude liitekoht	0,80	960,0	768,0
Keldri lagi	0,40	263,1	105,2
Akna seinakinnitus	0,50	2135,2	1067,6
Ukse seinakinnitus	0,50	66,4	33,2
$H_{külmasild}$, W/K			2239,1

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 6 on toodud välja soojuserikaod läbi joonkülmasildade. Hoone külmasildade summaarne erisoojuskadu on 2239,1 W/K.

Arvutuste tulemusel sai autor hoone erisoojuskaoks läbi piirdetarindite 7223,6 W/K. Hoone arvutuslik soojuskadu läbi piirdetarindite: $7223,6 \times (21 - (-21)) = 303391,2$ W ehk 303,4 kW.

2.2.2 Ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutuslik soojuskadu

Hoone ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutusliku soojuskao leidmise meetoodika: [10, lk 47]

$$\phi_v = H_{v,inf} \times (t_{\bar{o},arv,i} - t_{v\bar{o},arv}) \quad (8)$$

Kus $\phi_{v,i}$ – ventilatsiooni arvutuslik soojuskadu (W),

$H_{v,inf}$ – ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutuslik soojuserikadu (W/K).

Ventilatsioonist ja infiltratsioonist tuleneva hoone erisoojuskao leidmisel kasutatakse infiltratsioonist tulenevat õhuvooluhulka, mis korrutatakse õhu erisoojuse ja õhu tiheduse arvvaartusega.

$$H_{v,inf} = q_i \times c \times \rho \quad (9)$$

Kus $H_{v,inf}$ – ventilatsiooni arvutuslik soojuserikadu (W/K)

q_i – infiltratsiooni õhuhulk (m^3/s),

c – õhu masserisoojus temperatuuril $t_{\bar{o},arv,i}$ [$kJ/(kg \times K)$],

ρ – õhutihedus temperatuuril $t_{\bar{o},arv,i}$ (kg/m^3).

Hoone infiltratsiooni arvutusliku soojuserikao leidmiseks kasutab autor valemit: [6, §13]

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

- Kus q_i – infiltratsiooni õhuhulk (m^3/s),
 q_{50} – hoone välispiirete keskmine õhulekkearv ($\text{m}^3/(\text{h} \times \text{m}^2)$)
 3,6 – tegur, mis teisendab õhuvooluhula m^3/h ühikust l/s ühikuks,
 x – korruselisuse tegur, üle neljakorruselistele hoonetele 15
 A – hoone välispiirete pindala

Teades õhuvooluhulka ja köetava pinna ruumala, saame leida õhuvahetuse kordarvu kasutades järgmist valemit:

$$n = \frac{V}{q_i} \quad (11)$$

- Kus n – õhuvahetuse kordarv
 V – köetava pinna ruumala (m^3)
 q_i – õhuvooluhulk (m^3/h)

Hoone arvutuslikud soojuserikad läbi infiltratsiooni on toodud ära tabelis 7. Hoone õhulekkearvu baasväärtus on saadud vastavalt „Energiaõhususe arvutamise meetodika“ määruse §-le 9 ja korruselisuse tegur x väärtused on toodud ära samas määruses § 13 [7, §9, §13].

Tabel 7. Hoone soojuserikad läbi ventilatsiooni ja infiltratsiooni

Omadus	Suurus	Ühik
Õhulekke arv q_{50}	6	$\text{m}^3/(\text{h} \times \text{m}^2)$
Õhuvooluhulga teisendamise tegur m^3/h ühikust l/s ühikuks	3,6	-
Korruselisuse tegur	15	-
Välispiirde pindala A	6626,7	m^2
Infiltreeruv õhuhulk q_i	0,74	m^3/s
Õhu erisoojus	1005	
Õhu tihedus	1,2	
Hoone köetava pinna ruumala V	22260	m^3
Õhuvahetuse kordarv n	0,25	l/h
Infiltratsioonist ja ventilatsioonist tulenev hoone erisoojuskadu $H_{v,inf}$	888	W/K

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 7 on arvatud A. H. Tammsaare tee 107 korterelamu infiltreeruv õhuhulk q_i , mis on 0,74 m³/s ning sellest tulenevalt hoone erisoojuskaod $H_{v,inf}$ väärtuseks on 888 W/K.

Ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutuslik soojuskadu $\phi_{v,i}=37296$ W ehk 37,3 kW

2.2.3 Hoone soojuskadude arvutuste tulemused

Teades hoone soojuskadusid läbi piirdetarindite ja õhuvahetuse, saab leida hoone arvutuslikud soojuskaod kokku (vt Tabel 8). Hoone arvutusliku soojuskadude määramise valem on toodud ära peatükis 2.2.

Tabel 8. Hoone arvutuslikud soojuskaod

Nimetus	Erisoojuskaod W/K	Soojuskaod, kW
Piirdetarind $\phi_{T,i}$	7223,6	303,4
Ventilatsioon ja infiltratsioon $\phi_{V,i}$	888	37,3
$\phi_{ük,i}$	0	0
Kokku:	8111,6	340,7

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 8 on toodud välja soojuskaod läbi piirdetarindite ja õhuvahetuse. Nende arvude summa moodustab terve hoone soojuskaod, mis antud juhul on 340,7 kW.

Leidmaks säästu tarindite renoveerimist on koostatud tabel piirdetarindite esialgse olukorra kohta, kus on eraldi välja toodud soojuskadu iga piirdetarindi kohta (vt Tabel 9).

Hinnangulised soojuskaod läbi piirdetarindi on arvatud valemiga: [10, lk 63]

$$Q = \sum (A_i \times U_{piirdetarind,i}) \times S \times 24 \times 10^{-3} \quad (12)$$

- Kus Q – Hoone soojuskaod (MWh),
 A_i – sama ehitusega seina pindala (m²),
 $U_{piirdetarind,i}$ – piirdetarindi U-väärtus [W/(m²×K)],
 S – Hoone tasakaalutemperatuurile vastav kraadpäevade arv.

Arvutustel kasutatud normaalaasta kraadpäevade arv on toodud ära peatükis 2.4.

Tabel 9. Piirdetarindite hinnangulised soojuskaod arvestades normaalaasta kraadpäevade hulka Tallinna piirkonnas tasakaalutemperatuuril +18°C

Piirdetarind	Olukorra kirjeldus, puudused	Piirde pindala A_i , m ²	Erisoojuskaod H, W/K	Hinnangulised soojuskaod MW/h
Välissein	Ebapiisav soojustus	2200,2	1826,2	199,9
Otsasein	Soojustatud	278,2	75,1	8,2
Sokkel	Ebapiisav soojustus	228,2	267,0	29,2
Katus	Soojustatud	1420,7	440,4	48,2
Keldri lagi	Soojustamata	1382,6	691,3	75,7
Välisuks	Metalluks	29,9	50,8	5,6
Koridori aknad PVC	Korras	106,0	148,4	16,3
Korterite puitaknad	Ebatihedad	70,0	210,0	22,9
Korterite aknad PVC	Korras	891,60	1248,20	136,7
Keldri aknad PVC	Korras	19,30	27,00	2,9

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 9 on toodud eraldi välja kõigi piirdetarindite hinnangulised soojuskaod. Soojuskadude leidmisel on arvestatud normaalaasta kraadpäevade hulka, mis Tallinna piirkonnas on hoone arvutusliku tasakaalutemperatuuri +18°C juures 4562 kraadpäeva.

Arvutuste tulemusi saab kasutada energiasäästu leidmisel parendusmeetmete rakendamisel peatükis 3.

2.3 Hoone vabasoojuskoormus

Hoone vabasoojuseks nimetatakse soojushulka, mis pärineb inimestelt, elektriseadmetest, elektrivalgustusest ja päikesekiirguselt. Vabasoojusega kaetakse soojuskaod tasakaalutemperatuurist kuni ruumi siseõhu temperatuurini. Vabasoojuskoormuse määramisega saab välja arvutada hoone arvutusliku tasakaalutemperatuuri.

Vabasoojuskooormuse arvutamise meetodika: [10, lk 62]

$$\phi_{vs} = \phi_{in} + \phi_{el.v} + \phi_{sead} + \phi_p \quad (13)$$

Kus ϕ_{vs} – vabasoojuskooormus (kW)

ϕ_{in} – inimeste keskmine vabasoojuskooormus (kW)

$\phi_{el.v}$ – elektrivalgustuse keskmine vabasoojuskooormus (kW)

ϕ_{sead} – seadmete keskmine vabasoojuskooormus (kW)

ϕ_p – päikese kiirgusest tingitud keskmine vabasoojuskooormus (kW)

Vabasoojus inimestelt elamus arvutatakse järgmise valemiga: [10, lk 62]

$$\phi_{in} = n_{in} \times 30/1000 \quad (14)$$

Kus n_{in} – keskmine elanike arv hoones

Keskmine vabasoojuskooormus elamus valgustusest ja seadmetest leitakse järgmiselt: [10, lk 62]

$$\phi_{el.v} + \phi_{sead} = Q_{el} \times 8,5 \times 10^{-5} \quad (15)$$

Kus Q_{el} – korterite aastane elektriarve (kWh/a)

85 – tegur, mis arvestab vabasoojuse osakaalu elektritarbes ja kasutustunde.

Päikese kiirgusest tingitud keskmine vabasoojuskooormus leitakse järgmise seosega: [10, lk 62]

$$\phi_p = \sum \phi_{ilmak} \times e \times K_{kl.osakaal} \times K_{kard} \times g \times A_a/1000 \quad (16)$$

Kus e – varjutegur, mis on täpsema info puudumisel arvestatud 0,75,

$K_{kl.osakaal}$ – klaaspinna osakaal kogu akna pinnast,

K_{kard} – tegur, mis võtab arvesse ette tõmmatud kardinade mõju. Täpsema info puudumisel kasutatakse tegurit 0,9,

ϕ_{ilmak} – keskmine päikese kiirgusvoog akna välispinnale olenevalt ilmakaarest (W/m²),

g – klaasi päikese kiirguse läbivustegur,

A_a – akna pindala koos raamiga (m²).

Hoone vabasoojuskooormuse arvutamise tulemused on toodud ära tabelis 10.

Tabel 10. Hoone vabasoojuskooormus

Nimetus	Väärtus	Ühik
Vabasoojus inimestelt	7,50	kW
Vabasoojus valgustusest ja elektriseadmetest	19,31	kW
Vabasoojus päikese kiirgusest	17,93	kW
Vabasoojuskooormus kokku:	44,74	kW

Allikas: Autori arvutused

Hoone arvutuslik vabasoojus on 44,74 kW.

2.4 Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine

Hoone siseõhu temperatuur kujuneb kütte- ja vabasoojuse tulemusel. Vabasoojuse allikateks on inimesed, elektriseadmed, elektrivalgustus, päikeseenergia. Piltlikult öeldes kaetakse küttega soojuskaod välisõhu temperatuurist kuni tasakaalutemperatuurini t_b . Soojuskaod tasakaalutemperatuurist kuni ruumi siseõhu temperatuurini t_s kaetakse vabasoojusega. Tallinna Tehnikaülikooli poolt on läbi viidud uuring [11], mille tulemusena määrati olulisemate hoonete tasakaalutemperatuurid erinevat tüüpi hoonetele, mida on kraadpäevade määramisel soovituslik kasutada. Tallinna Tehnikaülikooli uuringute tulemusel on aastase kütte soojusvajaduse määramiseks saadud vana tüüpi renoveerimata kortermaja, milles on loomulik ventilatsioon, ligikaudseks tasakaalutemperatuuriks 17°C. [9] Antud töös kasutab autor arvutuslikult leitud tasakaalutemperatuuri.

Hoone tasakaalutemperatuuri on võimalik leida järgmise seose abil: [1, lk 137]

$$t_B = t_s - \Delta t_{vs} \quad (17)$$

Kus t_B – tasakaalutemperatuur (°C),
 t_s – hoone keskmine siseõhutemperatuur (°C),
 Δt_{vs} – temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt (°C).

Arvutustes on keskmiseks siseõhutemperatuuriks kasutatud 21°C.

Vabasoojuse arvelt temperatuuri tõusu leidmiseks tuleb esmalt korrigeerida vabasoojuse väärtust küttesüsteemi automatiseeritusest tuleneva utilisatsiooniteguriga, mis on ilma radiaatorite termostaatventiilideta küttesüsteemi korral 0,55. Kui radiaatoritele on paigaldatud automaatsed termostaatventiilid ning küttekulude individuaalne arvestus, kasutatakse vabasoojuse tegurina väärtust 0,7. [10, lk 73]

$$\phi_{vs2} = \phi_{vs} \times \eta \quad (18)$$

Kus ϕ_{vs2} – korrigeeritud vabasoojuskooormus (kWh/m²a),
 η – vabasoojuse kasutegur.

Vabasoojuse arvelt tõusnud temperatuuri leidmiseks kasutatakse järgmist seost: [1, lk 136]

$$\Delta t_{vs} = \frac{\phi_{vs2}}{H} \quad (19)$$

Kus Δt_{vs} – temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt (°C),
 ϕ_{vs} – keskmine vabasoojuseraldus ruumis (W),
 H – hoone erisoojuskadu (W/K).

Antud peatükis esitatud valemeid on kasutatud Tabel 11 väärtuste välja arvutamiseks.

Tabel 11. Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine

Nimetus	Väärtus	Ühik
Vabasoojuskooormus ϕ_{vs2}	44,74	kW
Vabasoojuse kasutegur η	0,55	
Korrigeeritud vabasoojuskooormus ϕ_{vs2}	24,61	kW
Hoone erisoojuskadu	8089	kW/K
Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt Δt_{vs}	3	°C
Hoone keskmine siseõhu temperatuur t_s	21	°C
Tasakaalutemperatuur t_B	18	°C

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 11 on toodud välja tasakaalutemperatuuri leidmiseks vajalikud arvvaartused. Kasutades eelnevaid valemeid sai autor A. H. Tammsaare tee 107 arvutuslikuks tasakaalutemperatuuriks

18°C. Teades tasakaalutemperatuuri on võimalik kraadpäevade abil taandada tegelikud energiakulud normaalaastale. Kraadpäevade arvud aastatel 2011-2015 on toodud ära Lisa 4, Lisa 5, Lisa 6, Lisa 7 ja Lisa 8.

Tabel 12. Aastatel 2011-2015 kraadpäevade arv Tallinnas tasakaalutemperatuuril +18°C

Aasta	Kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuril +18 C
2011	4121
2012	4669
2013	4182
2014	4229
2015	3838

Allikas: KredEx kraadpäevad [9]

Tabelis 12 on ära toodud 2011-2015 aastate kraadpäevade arv Tallinnas tasakaalutemperatuuril +18°C. Kasutades tabelis 12 toodud kraadpäevade arve, saame hoone mõõdetud energiakulud (vt Tabel 4), taandada normaalaastale kasutades valemit (1). Tallinna piirkonna normaalaasta kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuril +18°C on 4562 kraadpäeva (vt. Lisa 9) [11].

Tabel 13. Normaalaastale taandatud mõõdetud energiakulud

Aasta	Tulemus (kWh/a)
2011	858 698
2012	792 051
2013	852 946
2014	888 323
2015	948 215

Allikas: Autori arvutused

Tabel 13 järgi saame arvutada viie aasta keskmise normaalaastale taandatud energiakulu:

$$(858698+792051+852946+888323+948215)/5=868\,047,22 \text{ kWh/a ehk } 868 \text{ MWh/a.}$$

Hoone aastase normaalaastale taandatud keskmise energiakasutuse m^2 kohta leidmiseks jagame viie aasta keskmise energiakulu köetava pinnaga:

$$868\,047,22/6197,9=140,06 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$$

Hoone viie aasta keskmine normaalaastale taandatud energiakasutus m^2 kohta aastas on 140,06 kWh, mis on ainult m onev orra suurem hoone viie aasta tegelikust keskmisest energiakasutusest 131,74 kWh/($\text{m}^2 \times \text{a}$).

2.5 Hoone arvutuslik elektrienergiakulu

Korterimaja arvutuslik elektrienergiakulu on toodud ära tabelis 14.

Tabel 14. Hoone arvutuslik elektrienergiakulu

Nimetus	V�artus	�hik
Korterite kogu pind	5680	m^2
Elektri erikasutus	40	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$
Aastane elektrikulu	227192	kWh/a
�hiku hind	0,0442	$\text{�}/\text{kWh}$
Aastane maksumus	10041,9	$\text{�}/\text{a}$

Allikas: Autori arvutused

Elektri erikasutusena on võetud $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$, mis on korterimaja elektrienergia kasutus, kui toidu valmistamiseks kasutatakse elektripliiti. Aastane elektrikulu on saadud korterite kogupinna ja elektri erikasutuse korrutisena.  hiku hind 0,0442 on võetud Elektrilevi koduleheküljelt [13]. Aastase maksumuse saamiseks on omavahel korrutatud aastane elektrikulu ja ühiku hind. Hoone arvutuslik elektrienergiakulu Hoone elektrienergiakasutus köetava pinna m^2 kohta on 36,64 kWh/($\text{m}^2 \times \text{a}$).

2.6 Hoone soojusbilanss

Hoone soojusbilanss on hoone tegeliku mõõdetud soojuskasutuse ja hinnatud vabasoojuse, koos kõigi põhiliselt arvutuslikult määratletud soojuskadudega, võrdlus. Analüüsimeks hoone energiakasutust, peab olema soojusbilanss tasakaalus ehk hoonesse mis tahes viisil antav soojushulk peab võrduma kõigi soojuskadude summaga. Soojusbilansi kaudu on võimalik korrigeerida ja kontrollida tõepäraste soojuskadude arvutuste ja hinnangute täpsust. Kortermajades vajab korrigeerimist eelkõige õhuvahetuse kordarv, kuna loomuliku ventilatsiooni toimimist terves hoones on keeruline hinnata. Samuti piirdetarindite U-arv.

Ligikaudse soojuskasutuse määramiseks on kasutatud kraadpäevade arvu ning peatükis 2.2 leitud arvutuslike soojuskadusid. Kraadpäevade kasutamine arvestab hoone vabasoojusega, mille tulemusena on normaalaasta soojuskasutus tegelikkusele ligilähedane. Soojuskasutuse määramiseks on kasutatud järgmist seost: [10, lk 63]

$$Q_k = \phi_k \times S \times 24 \times 10^{-3} \div \Delta t \quad (20)$$

- Kus
- Q_k – Soojuskasutus (MWh),
 - ϕ_k – hoone arvutuslikud sojuskaod (kW)
 - S – hoone tasakaalutemperatuurile vastav kraadpäevade arv
 - 24 – tundide arv ööpäevas
 - Δt – sise- ja välisõhu temperatuuride vahe

Soojuskasutuse määramise tulemusi on kasutatud hoone soojusbilansi koostamisel järgmises tabelis (vt Tabel 15).

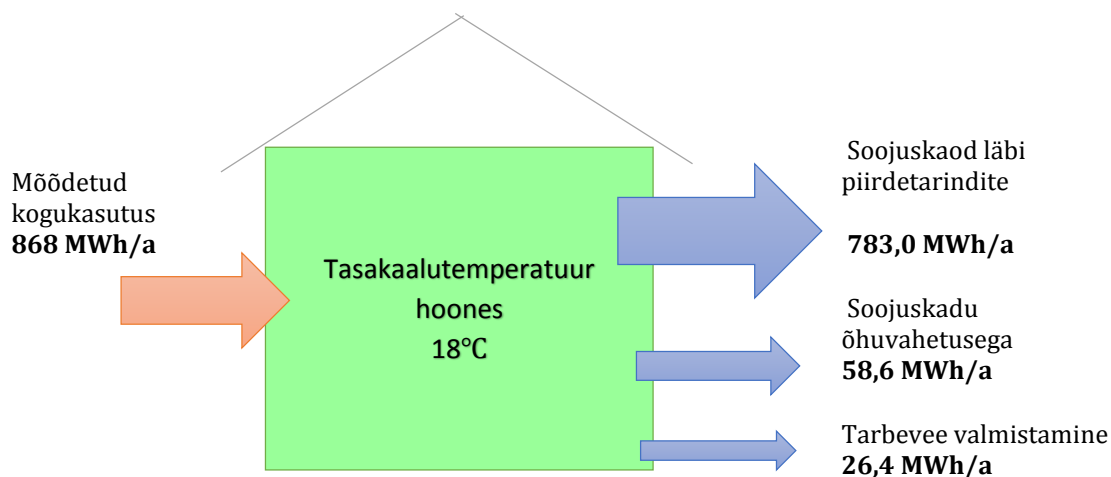
Tabel 15. Hoone soojusbilanss

	Soojuskadu läbi piirdetarindite	Energiakulu õhuvahetusest ja infiltratsioonist	Sooja vee valmistamine	Arvutatud kogukulu	Normaalaastale taandatud mõõdetud kogukulu
Ühik	MWh/a			MWh/a	
Kokku	783	58,6	26,4	868	868
Osakaal	90,2%	6,7%	3%		

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 15 on toodud ära hoone soojuskaod läbi piirdetarindite, õhuvahetuse ja sooja vee valmistamise, mis kokku peavad võrduma normaalaastale taandatud kogukuluga. Soojuskadudest parema ülevaate saamiseks on lisatud tabelisse ka protsendilised väärtused.

Hoone soojusbilansi visualiseerimiseks on koostatud järgnev joonis (vt. Joonis 2).



Joonis 2. Hoone soojusbilanss

Allikas: Autori koostatud

Piirdetarindite ja õhuvahetusega soojuskaod on leitud arvutuslikul teel. Tarbevee valmistamiseks kulunud soojus on saadud A. H. Tammsaare tee 107 2009 aasta koostatud energiaauditi tarbevee keskmisest tarbimisest, mis on 240,7 MWh/a [3].

2.7 Hinnang hoone energiatõhususele

A. H. Tammsaare tee 107 korterelamule on antud 11.11.2009 aastal välja energiamärgis, mis on koostatud 2006-2008 aasta soojusenergia tarbimise põhjal. Märgis kehtib kuni 10.11.2019 ning selle järgi on hoone kaalutud energiakasutus 197 kWh/(m²×a), energiaerikasutuse klass „D“. Alates 2015. aasta kehtestatud normide järgi kuulub hoone kaalutud energiakasutus 197 kWh/(m²×a) energiaerikasutuse klassi „F“. Kaalutud energiakasutus on arvatud energiamuundamise seadmetesse sisse antava energiakoguse ja kaalumisteguri järgi.

Tuginedes autori arvutustele 2011-2015 aasta normaalaastale taandatud energiavajadusest, on hoone soojusenergiakasutus 140,06 kWh/(m²×a) ning elektrienergiakasutus 36,64 kWh/(m²×a). Kokku on hoone energiakasutus 176,7 kWh/(m²×a), mis tänapäevaste normide kohaselt kuulub

energiaeriklassi „D“. Energiakasutus 176,7 kWh/(m²×a) jääb oluliselt rekonstrueeritava korterelamu energiatõhususe piinormidesse.

3. REKONSTRUEERIMISJÄRGSE ENERGIAKULU KAVANDAMINE

Saavutamaks suuremat energiatõhusust ning parandamaks hoone mikrokliimat koostas töö autor kaks erinevat rekonstrueerimise paketti. Pakettide koostamiseks uuris autor erinevaid korterelamute rekonstrueerimise võimalusi ning nende lahendusi. Samuti arvestati pakettide koostamisel KredExi toetuse nõudeid, kuna hoone rekonstrueerimine on kulukas ning KredExi toetused annavad hea võimaluse hoone terviklikuks rekonstrueerimiseks väiksema omafinantseeringuga.

Esimese paketi eesmärk on täita oluliselt rekonstrueeritavale hoonele esitatavaid miinimumnõuded, mis on toodud ära peatükis 1.3. Rakendamaks pakettis toodud parendusmeetmeid on korteriühistul võimalik taotleda KredExi 25% toetust rekonstrueerimise kogumaksumusele.

Teise paketiga saavutab hoone suurema energiatõhususe kui miinimumnõuetes kirjas ning parandab oluliselt hoone energiatõhusust ning sisekliima kvaliteeti. Selle paketiga on võimalik taotleda KredExi 40% toetust. Toetuste saamisega väheneb oluliselt paketi kogumaksumus korteriühistule, mis omakorda vähendab lihttasuvusaega.

Elamute renoveerimisel on oluline analüüsida pakette tervikuna. Selleks esitab autor iga tervikpaketi energiasäästu suuruse, säästu väärtuse ning lihttasuvusaja, mis aitab adekvaatselt hinnata säästu suurust ja annab tervikpakettide kohta parema ülevaate. Tuleb arvestada, et säästuväärtused on leitud paketi kohta ning saavutatakse juhul, kui teostatakse kõik parendusmeetmed.

Säästuväärtuse leidmisel on võetud 1 MWh hinnaks 63,48 €/MWh, mis on Konkurentsiameti poolt kinnitatud piirhind alates 1. oktoober 2015. [16]. Töös toodud hinnad sisaldavad käibemaksu.

3.1 Kasutatavad parendusmeetmed

Tabelis 16 on toodud eraldi välja pakettide koostamisel kasutatavad parendusmeetmed koos kirjelduse ja hinnangulise maksumusega. Investeeringute maksumused on saadud küsides A. H. Tammsaare tee 107 korterelamule hinnapakumisi, samuti on kasutatud erinevate firmade näidispakumisi.

Tabel 16. Kasutatavad parendusmeetmed

Nr	Parandusmeede	Kirjeldus	Investeering €
1	Fassaadi soojustamine	Küljefassaadide lisasoojustamine õhekrohvüsteemiga, lisasoojustus 100 mm. Hinnanguline U-arv pärast renoveerimist on $U=0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$	220 100
2	Fassaadi soojustamine	Küljefassaadide lisasoojustamine õhekrohvüsteemiga, lisasoojustus 150 mm. Hinnanguline U-arv pärast renoveerimist on $U=0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$	245 000
3	Sokli soojustamine	Sokli lisasoojustamine õhekrohvüsteemiga, lisasoojustus 150 mm. Hinnanguline U-arv pärast renoveerimist $U=0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$	22 900
4	Akende vahetus	Puidust akende demonteerimine, uute akende paigaldus. Uute avatäidete $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$	17 500
5	Ventilatsioonisüsteemi paigaldus	Soojustagastiga mehaanilise sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi ehitamine, tsentraalse pumbaga katusel, torud fassaadi peal kaetakse fassaadi lisasoojustusega. Energiatagastuse suhtarv 0,85.	238 000
6	Olemasoleva küttesüsteemi parandus	Küttesüsteemi torude kontroll ja parandus, termostaatventiilide paigaldus, süsteemi tasakaalustamine.	25 400
7	Küttesüsteemi ümberehitamine uueks kahetoru küttesüsteemiks	Vana küttesüsteemi demonteerimine, uue torustiku paigaldus kahetoru süsteemile, uute küttekehade paigaldus, termostaatventiilid küttekehadele, individuaalse mõõtesüsteemi paigaldamine.	120 000

Allikas: Autori koostatud

Parendusmeetmete koostamisel on arvestatud hoone soojuskadusid. Suurim soojuskadu on läbi piirdetarindite, mis näitab fassaadi ja sokli lisasoojustamise vajadust. Hoone loomulikust ventilatsioonist tingitud puudulik õhuvahetus vajab uue ventilatsioonisüsteemi ehitamist. Soojustagastusega ventilatsioon aitab energiat kokku hoida soojendades väljapuhke õhuga sissepuhke õhku. Küttesüsteemi rekonstrueerimisega kaasneb hoones ühtlasem soojakasutus ning aitab vältida nii üle- kui ka alakütmist.

3.2 Pakett 1

Pakett 1 eesmärk on täita oluliselt rekonstrueeritavale hoonele esitatavaid miinimumnõudeid, mis on ära toodud töö esimeses osas ning võimaldab taotleda KredEx 25% toetust rekonstrueerimisele.

Pakett koosneb tabelis 16 toodud hoone parendusmeetmetest nr 1, 3, 4, 5 ja 6 ehk sisaldab küljefassaadide ja sokli lisasoojustust õhekroovsüsteemiga, vanade puitraamidega akende välja vahetamist tänapäevaste PVC raamidega akende vastu, mille $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$. Lisaks piirdetarindi soojapidavuse parendamisele sisaldab pakett soojustagastusega mehaanilise sissepuhke ja väljatõmbega ventilatsioonisüsteemi ehitamist, mille raames paigaldatakse hoone katusel tsentraalne sissepuhke-väljatõmbe pump. Saamaks toetust kortermaja rekonstrueerimiseks on vajalik rekonstrueerida olemasolev küttesüsteem ning paigaldada küttekehadele termostaatventiilid, mille abil saavad elanikud reguleerida oma siseõhutemperatuuri ning soojust kasutamine hoones ühtlustub.

3.2.1 Hoone soojuskaod pärast meetmete rakendamist

Hoone soojuskadude leidmise meetodika on toodud ära peatükis 2.2 Piirdetarindite arvutuslikud erisoojuskaod pärast Pakett 1 toodud meetmete rakendamist on toodud ära tabelis 17.

Tabel 17. Hoone soojuskaod pärast parendusmeetmete rakendamist

Piirdetarind	Hinnanguline $U, \text{ W}/\text{m}^2 \times \text{K}$	Piirde pindala $A_k, \text{ m}^2$	Erisoojuskadu $H, \text{ W/K}$
Välissein	0,25	2200,2	550,0
Otsasein	0,27	278,2	75,1
Sokkel	0,22	228,2	50,2
Katus	0,29	1420,7	412,0
Keldri lagi	0,50	1382,6	691,3
Välisuks	1,70	29,9	50,8
Koridori aknad PVC	1,40	106,0	148,4
Korterite puitaknad	1,1	70,0	77,0
Korterite PVC aknad	1,40	891,6	1248,2
Keldri aknad	1,40	19,3	27,0
Välispiirete summaarne erisoojuskadu:			3358,6

Allikas: A. H. Tammsaare tee 107 energiaaudit [3]; Autori arvutused

Välispiirete summaarne arvutuslik erisoojuskadu pärast meetmete rakendamist on 3358,6 W/K. Arvutuslikud erisoojuskaod läbi joonkülmasildade on toodud ära tabelis 18.

Tabel 18. Erisoojuskadu külmasildadest pärast parendusmeetmete rakendamist

Külmasild	$\Psi_i, \text{W/m}\times\text{K}$	l_j, m	$H_{\text{külmasild}}, \text{W/K}$
Välissein-välissein liitekoht	0,50	54,6	27,3
Katuse ja välisseina liitekoht	0,40	263,1	105,2
Rõdude liitekoht	0,60	960,0	576,0
Keldri lagi	0,40	263,1	105,2
Akna seinakinnitus	0,20	2135,2	427,0
Ukse seinakinnitus	0,20	66,4	13,3
H külmasild W/K			1254,1

Allikas: Hoone energiatõhususe arutamise meetodika [6]; Autori arvutused

Külmasildadest tulenevad erisoojuskaod on arvutuslikult 1254,1 W/K. Erisoojuskaod läbi piirdetarindite pärast hoone rekonstrueerimist on kokku 4612,7 W/K.

Kuna pakett sisaldab soojustagastuse ventilatsiooni paigaldamist, tuleb ventilatsiooni erisoojuskadu arvutada infiltratsiooni erisoojuskaost eraldi. Soojuserikadu õhuvahetusest on ventilatsiooni ja infiltratsiooni erisoojuskadude summa. Soojustagastusega ventilatsioonist tulenev erisoojuskadu on leitav järgmise valemiga: [10, lk 75]

$$H_v = L \times c \times \rho(1 - \eta_Q) \quad (21)$$

Kus H_v – õhuvahetuse soojuserikadu (kW/K)

L – Õhuvahetuse keskmine suurus (m^3/s)

η_Q – energiatagastuse suhtarv

Õhuvahetuse keskmine suurus on leitav järgmise valemiga: [10, lk 75]

$$L = n \times V/3600 \quad (22)$$

Kus L – Õhuvahetuse keskmine suurus (m^3/s)

n – õhuvahetuse kordarv l/h

Infiltreruva ja ventilatsioonist tuleneva õhuvooluhulga leidmise vajalikud suurused on toodud ära tabelis 19.

Tabel 19. Õhuvahetuse erisoojuskaod pärast parendusmeetmete rakendamist

Omadus	Suurus	Ühik
Õhulekke arv q_{50}	3	$m^3/(h \times m^2)$
Õhuvooluhulga teisendamise tegur m^3/h ühikust l/s ühikuks	3,6	-
Korruselisuse tegur	15	-
Välispiirde pindala A	6626,7	m^2
Infiltreruv õhuhulk q_i	0,37	m^3/s
Õhu erisoojus	1005	-
Õhu tihedus	1,2	-
Hoone köetava pinna ruumala V	22260	m^3
Õhuvahetuse kordarv n	0,5	$1/h$
Õhuvahetuse keskmine suurus L	3	m^3/s
Infiltratsioonist tulenev hoone erisoojuskadu H_{inf}	444	W/K
Soojustagastusega ventilatsiooni erisoojuskadu H_v	745,7	W/K

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 19 on näha erisoojuskaod infiltratsioonist ja soojustagastusega ventilatsioonist. Erisoojuskadu on kokku 1189,7 W/K. Hoone soojuskadude leidmise meetodit on kirjeldatud peatükis 2.2.

Tabel 20. Hoone arvutuslikud soojuskaod pärast meetme rakendamist

Nimetus	Erisoojuskadu W/K	Soojuskadu kW
Piirdetarind $\phi_{T,i}$	4612,7	193,7
Ventilatsioon ja infiltratsioon $\phi_{V,i}$	1189,7	49,9
$\phi_{\ddot{u}k,i}$	0	0
Kokku	5802,4	243,7

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 20 näeme, et hoone soojuskaod pärast Pakett 1 toodud parendusmeetmete rakendamist on kokku 243,7 kW.

3.2.2 Tasakaalutemperatuur pärast meetmete rakendamist

Teades erisoojuskadu ja peatükis 2.3 välja arvatud vabasoojuskooormust, arvutatakse järgmisena välja uus tasakaalutemperatuur. Korrigeeritud vabasoojuskooormuse leidmiseks on võetud kasutusele vabasoojuse kasutegurina 0,6. Tehtud renoveerimistöode käigus on lisatud küttekehadele termostaatventiilid, mille abil saavad hoone elanikud reguleerida korterite siseõhutemperatuuri, kuid siiski jäävad soojakaod vanadest radiaatoritest ja torudest tingituna alles.

Hoone tasakaalutemperatuur pärast meetmete rakendamist on toodud ära tabelis 21.

Tabel 21. Hoone tasakaalutemperatuuri leidmine

Nimetus	Väärtus	Ühik
Vabasoojuskooormus ϕ_{vs2}	44,74	kW
Vabasoojuse kasutegur η	0,6	
Korrigeeritud vabasoojuskooormus ϕ_{vs2}	26,8	kW
Hoone erisoojuskadu	5802,4	kW/K
Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt Δt_{vs}	4,6	°C
Hoone keskmine siseõhutemperatuur t_s	21	°C
Tasakaalutemperatuur t_B	16,4	°C

Allikas: Autori arvutused

Pärast rekonstrueerimist on hoone uus tasakaalutemperatuur 16,4 °C (vt Tabel 21). Normaalaasta kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuril 16,4 °C on 3990 kraadpäeva.

3.2.3 Säätuväärtuse leidmine

Säätuväärtuse leidmiseks renoveeritud piirdetarinditest tuleb kõigepealt leida piirdetarindite erisoojuskaost nende normaalaastale viidud soojuskadu. Piirdetarindite soojuskaod valem on toodud ära peatükis 2.4 (Valem 12).

Piirdetarindite energiasääst on esialgse ja Pakett 1 saavutatud soojuskaod vahe. Säätuväärtuse arvutamisel on võetud 1 MWh hinnaks 63,48 € [16].

Tabel 22. Säästuväärtus piirdetarindite renoveerimisest

Piirdetarind	Esiagne soojuskadu H MWh/a	Pakett 1 Erisoojuskadu H, W/K	Pakett 1 soojuskadu H MWh/a	Energia- sääst MWh/a	Säästu- väärtus €/a
Välissein	199,94	550,0	52,3	147,7	9375,5
Sokkel	29,23	50,2	4,8	24,5	1551
Kortermaja puitaknad	22,99	77,0	7,3	15,7	996
Kokku	254,12	677,2	64,4	187,8	11 924

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 22 on näha, et piirdetarindite lisasoojustamisest tulenev energiasääst on kokku 187,8 MWh/a, mis teeb säästuväärtuseks 11 924 €/aastas.

Energiasääst ventilatsioonist saadakse välja ehitatud ventilatsioonisüsteemi soojustagastusest, kus hoonest väljuv õhk soojendab hoonesse sisenevat õhku. Võrreldes rekonstrueerimiseelse olukorraga on energiasääst 97,9 MWh/a, mis teeb säästuväärtuseks 4455 €/a. Säästuväärtuse arvutamisel on võetud arvesse ventilatsiooni seadmest tulenevat suuremat elektrikulu. Ventilatsioonisüsteemi elektritarbimine on ära toodud järgnevas tabelis (vt Tabel 23).

Tabel 23. Ventilatsioonisüsteemi elektritarbimine

	Väärtus	Ühik
Erivõimsus SPF	1,53	kW/(m ³ /s)
Vooluhulk	0,025	m ³ /s
Võimsus	0,0383	kW
Terve aasta	8766	h/a
Tarbimine	335,3	kWh/a
Maksumus	14,82	€/a
Kogu maksumus	1763,6	€/a

Allikas: Ventilatsioonisüsteem [17] (Lisa 10); Autori arvutused

Ventilaatori võimsus tuleb erivõimsuse ja vooluhulga korrutisena. Tabelis olev tarbimine ning maksumus on toodud ära ühe korteri peale. 1 kWh hinnaks maksumuse leidmisel on arvestatud 0,0442 € [13]. Kogu maksumuse saamiseks on maksumus korrutatud korterite koguarvuga, mis

teeb aastaseks energiamaksumuseks 1763,6 €. Sääst ventilatsioonist on võrreldes alginvesteeringuga väike ning tasuvusaeg pikk, kuid korralik õhuvahetus tagab hoones meeldiva mikrokliima eemaldades hoonest saastunud õhu ning andes hoonesse puhta õhu.

Küttesüsteemi renoveerimisest tulenev energiasääst on arvestatud piirdetarindite ja ventilatsioonist tuleneva säästu sisse. Küttesüsteemi renoveerimisega suureneb vabasoojuse kasutegur, mis omakorda mõjutab tasakaalutemperatuuri. Mida väiksem on renoveerimisjärgne tasakaalutemperatuur, seda suurem tuleb rekonstrueerimise sääst.

3.2.4 Pakett 1 analüüs

Pakett 1 analüüsimiseks koostas autor kokkuvõtva tabeli (vt Tabel 24), kus on ära toodud parandusmeede, meetme maksumus, energiasääst pärast hoone rekonstrueerimist, säästuväärtus, lihttasuvusaeg ning meetmete eluiga.

Tabel 24. Sisekliima parandamise ja energiasäästu meetmete pakett 1

Hoone osad	Parandusmeede	Meetme maksumus €	Energiasääst MWh/a	Säästuväärtus €/a	Lihttasuvusaeg a	Meetme eluiga a
Küljefassaadid	Fassaadi renoveerimine õhekroovsüsteemiga, soojustus 100mm.	220 100	285,2			30
Sokkel	Sokli renoveerimine õhekroovsüsteemiga, soojustus 100mm.	22 900				30
Aknad	Korterite vanade puitakende väljavahetamine	17 500				30
Ventilatsioon	Soojustagastusega mehhaanilise ventilatsioonisüsteemi ehitamine	238 000				20
Küttesüsteem	Küttesüsteemi rekonstrueerimine, küttekehad varustatakse termostaatventiilidega	35 000				10
Kokku:		533 500	285,2	16 341	32,6	
KredEx toetus 25%		400 125		16 341	24,5	

Allikas: Autori arvutused

Paketi tasuvusaja saab välja arvutada teades rekonstrueerimisest saadavat energiasäästu väärtust ning tööde hinnangulist maksumust. Tööde hinnangulised maksumused on saadud A.H Tammsaare tee 107 korterelamule küsitud hinnapakkumistest.

Töös on kasutatud lihttasuvusaega, mis näitab, kui kiiresti teenitakse säästudega algselt rekonstrueerimisse investeeritud raha tagasi. Tervikpaketi tasuvusaja leidmiseks liideti kokku meetmete maksumused ning jagati meetmete säästuväärtuste summaga.

Pakett 1 alginvesteering on 533 500 €, säästuväärtuseks 16 341 €/aastas. Meetmete rakendamisel paraneb märgatavalt hoone mikrokliima ning selle läbi tõuseb inimeste elukvaliteet. Tänu ventilatsioonile toimib ruumides normaalne õhuvahetus, mis tagab ruumidesse puhta õhu, viib välja saastunud õhu ning liigse niiskuse. Tasuvusajaks tuleb 32,6 aastat, mis meetmete eluiga vaadates ei ole majanduslikult mõistlik, kuna tööde eluiga on tasuvusajast väiksem ning uusi parendustöid peaks tegema enne, kui vana rekonstrueerimise tasuvus on saavutatud. KredExi 25% toetusega oleks korteriühistu alginvesteering 400 125€ ning tasuvusajaks tuleks 24,5 aastat, mis on majanduslikult mõistlikum, kuid 10 aasta pärast tuleb hakata tegema täiendavaid kulutusi küttesüsteemi korrastamiseks või uue küttesüsteemi ehitamiseks.

3.3 Pakett 2

Pakett 2 koosneb tabelis 16 välja toodud parendusmeetmetest number 2, 3, 4, 5 ja 6. Pakett sisaldab küljefassaadide ja sokli lisasoojustust õhekrohvüsteemiga, vanade puitraamidega akende välja vahetamist tänapäevaste PVC raamidega akende vastu, soojustagastusega mehaanilise sissepuhke ja väljatõmbega ventilatsioonisüsteemi ehitamist ning ühetorulise küttesüsteemi ümberehitamist kahetorusüsteemile koos individuaalsete mõõtesüsteemidega. Kahetorulise küttesüsteemi korral on iga küttekeha ühendatud eraldi nii pealevoolu kui tagasivooluga, ehk soojasõlmest tulev kuum vesi jookseb mööda toru radiaatorisse ning mööda teist toru voolab jahtunud vesi tagasi soojasõlme. Selline süsteem tagab küttekehadele samasuguse temperatuuri ning tasakaaluventiilide kaudu saavad hoone elanikud reguleerida eraldi iga radiaatori temperatuuri. Varem üle köetud korterites saab keerata soojust maha ning jahedamates korterites on võimalik saavutada kõrgem siseõhutemperatuur. Radiaatorite termostaatventiilid tuleb paigaldada piiranguga 18-23°C, et vältida ruumides üle- ja alakütmist.

3.3.1 Hoone soojuskaod pärast meetmete rakendamist

Hoone soojuskaod pärast Pakett 2 meetmete rakendamist on arvatud peatükis 2.2 toodud metoodika järgi. Erisoojuskaod läbi piirdetarindite on tabelis 25.

Tabel 25. Hoone soojuskaod pärast Pakett 2 meetmete rakendamist

Piirdetarind	Hinnanguline U, W/m ² ×K	Piirde pindala A _k , m ²	Erisoojuskadu H, W/K
Välissein	0,20	2200,2	440,0
Otsasein	0,27	278,2	75,1
Sokkel	0,22	228,2	50,2
Katus	0,29	1420,7	412,0
Keldri lagi	0,50	1382,6	691,3
Välisuks	1,70	29,9	50,8
Koridori aknad PVC	1,40	106,0	148,4
Korterite puitaknad	1,1	70,0	77,0
Korterite PVC aknad	1,40	891,6	1248,2
Keldri aknad	1,40	19,3	27,0
Välispiirete summaarne erisoojuskadu:			3220,15

Allikas: Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika [6]; Autori arvutused

Soojuskadude leidmiseks vajalik hoone erisoojuskadu külmasildadest, ventilatsioonist ja infiltratsioonist on võetud peatükist 3.2.1, kuna mõlemal paketil on need samaväärsed.

Tabel 26. Hoone arvutuslikud soojuskaod pärast meetme rakendamist

Nimetus	Erisoojuskadu W/K	Soojuskadu kW
Piirdetarind $\phi_{T,i}$	4474,3	187,9
Ventilatsioon ja infiltratsioon $\phi_{V,i}$	1189,7	49,9
$\phi_{\ddot{u}k,i}$	0	0
Kokku:	5664	237,8

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 26 näeme, et hoone soojuskaod pärast Pakett 2 toodud parendusmeetmete rakendamist on kokku 237,8 kW ning erisoojuskaod 5664 W/K.

3.3.2 Tasakaalutemperatuur pärast meetmete rakendamist

Peatükis 3.3.1 välja arvatud erisoojuse ja peatükis 2.3 välja arvatud vabasoojuskoormuse järgi arvutatakse järgmisena välja Pakett 2 tasakaalutemperatuur (vt Tabel 27).

Tabel 27. Pakett 2 tasakaalutemperatuur

Nimetus	Väärtus	Ühik
Vabasoojuskoormus ϕ_{vs2}	44,74	kW
Vabasoojuse kasutegur η	0,7	
Korrigeeritud vabasoojuskoormus ϕ_{vs2}	31,3	kW
Hoone erisoojuskadu	5664	kW/K
Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt Δt_{vs}	5,5	°C
Hoone keskmine siseõhutemperatuur t_s	21	°C
Tasakaalutemperatuur t_B	15,5	°C

Allikas: Autori arvutused

Pärast hoone rekonstrueerimist Pakett 2 pakutud meetmetega on hoone tasakaalutemperatuuriks 15,5°C, mis on algsest tasakaalutemperatuurist 2,5°C väiksem. Tasakaalutemperatuuri vähenemine võrreldes eelmise ja esialgse olukorraga on suuresti tingitud küttesüsteemi rekonstrueerimist, tänu millele oli võimalik kasutada vabasoojuse kasutegurina väärtust 0,7 vana väärtuse 0,55 ja esimeses pakettis toodud 0,6 asemel. Normaalaasta kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuril 15,5°C on 3703 kraadpäeva. Normaalaasta kraadpäevade arvu kasutades on võimalik leida rekonstrueerimise säästuväärtus.

3.3.3 Säästuväärtuse leidmine

Säästuväärtuse leidmiseks piirdetarinditest kasutab autor soojuskaod leidmise valemit (12) peatükis 2.2. Kõigepealt on leitud piirdetarindite erisoojuskaod ning nendest välja arvatud soojuskaod kasutades normaalaasta kraadpäevade arvu tasakaalutemperatuuril 15,5°C. Energiasäästu piirdetarinditest väljendab esialgse ja Pakett 2 saavutatud soojuskaod vahe. Säästuväärtuse leidmiseks tuleb korrutada saadud energiasääst MWh hinnaga, milleks on 63,48 € [16].

Tabel 28. Säästuväärtus piirdetarindite renoveerimisest

Piirdetarind	Esialgne soojuskadu H MWh/a	Pakett 2 Erisoojuskadu H, W/K	Pakett 2 soojuskadu H MWh/a	Energiasääst MWh/a	Säästuväärtus €/a
Välissein	199,9	440	39,1	160,8	10 209,9
Sokkel	29,2	50,2	4,5	24,8	1572,5
Kortermaja puitaknad	23	77,0	6,8	16,1	1025,2
Kokku	252,1	567,2	56,4	201,8	12 807,6

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 28 on näha, et piirdetarindite lisasoojustamisest tulenev energiasääst on 201,8 MWh/a, mis teeb säästuväärtuseks 12 807,6 €/aastas.

Energiasääst ventilatsioonist on Pakett 1 ja Pakett 2 sarnased, erinevus tuleb pakettide erinevast tasakaalutemperatuurist. Pakett 2 energiasääst õhuvahetusest on võrreldes rekonstrueerimiseelse olukorraga 106,2 MWh/a väiksem, mis teeb säästuväärtuseks 4976 €/a. Ventilatsiooni säästuväärtuse leidmisel on arvestatud varasemast suurema elektrienergia kuluga.

Samuti on küttesüsteemi renoveerimisest tulenev energiasääst sarnane Pakett 1-ga, kus sääst on arvestatud piirdetarinditest ja ventilatsioonist tuleneva säästu sisse. Küttesüsteemi renoveerimisega suurenes vabasoojuse kasutegur, mis antud juhul on 0,7. Uue küttesüsteemiga kaasneb väiksem soojakadu tänu uutele torudele ning radiaatoritele. Samuti ühtlustub hoone sisekliima, kuna kõikidesse küttekehadesse jõuab soojakandja otse soojasõlmest. See tagab kõigil radiaatoritel ühesuguse temperatuuri ning läbi individuaalsete termostaatventiilide on võimalik elanikel oma korteri temperatuuri muuta vastavalt piirangule 18-23°C.

3.3.4 Pakett 2 analüüs

Pakett 2 parema ülevaate saamiseks koostatud tabelis on ära toodud parendusmeede, meetme maksumus, energiasääst pärast hoone rekonstrueerimist, säästuväärtus, lihttasuvusaeg ning meetmete eluiga.

Tabel 29. Pakett 2 analüüs

Hoone osad	Parendusmeede	Meetme maksumus €	Energiasääst MWh/a	Säästuväärtus €/a	Lihttasuvusaeg a	Meetme eluiga a
Küljefassaadid	Fassaadi renoveerimine õhekrohvüsteemiga, soojustus 100mm.	245 000				30
Sokkel	Sokli renoveerimine õhekrohvüsteemiga, soojustus 100mm.	22 900				30
Aknad	Korterite vanade puitakende väljavahetamine	17 500				30
Ventilatsioon	Soojustagastusega mehhaanilise ventilatsioonisüsteemi ehitamine	238 000				20
Küttesüsteem	Küttesüsteemi rekonstrueerimine 2-torusüsteemile: vahetatakse välja torud, radiaatorid, paigaldatakse individuaalsed mõõtesüsteemid.	120 000				20
Kokku:		643 400	307,8	17 773	36,2	
KredEx toetus 40%		386 040		17 773	21,7	

Allikas: Autori arvutused

Pakett 2 lihttasuvusaeg on leitud teades alginvesteeringu maksumust ning rekonstrueerimisest tulenevat säästuväärtust. Antud paketti tuleb investeerida 643 400 €, et saada säästu 307,8 MWh/a, mille väärtuseks on 17 773 €/a. Jagades investeeringu säästuga saame lihttasuvusajaks 36,2 aastat. Saades KredExi toetust 40% tuleb alginvesteeringuks 386 040 € ning tasuvusaeg lüheneb 21,7 aastale, mis on majanduslikult mõistlik vaadates meetmete eluiga. Pakett 2 parendusmeetmete rakendamine tõstab oluliselt hoone mikrokliima kvaliteeti ning uus küttesüsteem võimaldab saada suurema säästu, kui vana küttesüsteemi rekonstrueerides. Silmas tuleb pidada, et saadud säästu on võimalik saavutada kõigi meetmete rakendamisel.

3.4 Pakett 1 ja Pakett 2 analüüs võrreldes olemasoleva olukorraga

Tervikpildi nägemiseks ja pakettide paremaks hindamiseks on koostatud mõlema paketi kohta uued soojusbilansid, mis kujutavad soojusenergia kasutamist pärast elamu rekonstrueerimist. Hoone soojuskasutus pärast Pakett 1 välja toodud meetmete rakendamist on toodud ära tabelis 30 ning Pakett 2 tööde teostamise järgne soojuskasutus tabelis 31.

Tabel 30. Pakett 1 soojusbilanss

	Soojuskadu läbi piirdetarindite	Energiakulu õhuvahetusest ja infiltratsioonist	Sooja vee valmistamine	Arvutatud kogukulu	Soojuse sääst Normaalaastale taandatud mõõdetud kogukulust
Ühik	MWh/a				MWh/a
Kokku	441,8	113,93	23,08	578,8	289,2
Osakaal	76,4%	19,7%	4%		

Allikas: Autori arvutused

Pakett 1 (vt Tabel 30) soojusbilansist on näha, et arvutatud soojuskasutus võrreldes rekonstrueerimiseelse olukorraga on 289,2 MWh aastas väiksem. Soojuskadu läbi piirdetarindite ja külmasildade on 441,8 MWh/a, mis teeb 76,4% kogu soojuskaost. Energiakulu õhuvahetusest ja infiltratsioonist on 113,93 MWh aastas. Võrreldes esialgse olukorraga on energiakulu ventilatsiooni arvelt suurenenud, kuid arvutatud kogukulu on vaatamata sellele ligi 300 MWh aastas väiksem. Kõige suurem sääst tuleb siinkohal piirdetarindite rekonstrueerimisest ja külmasildade vähendamist. Samuti on sääst tingitud küttesüsteemi renoveerimisest.

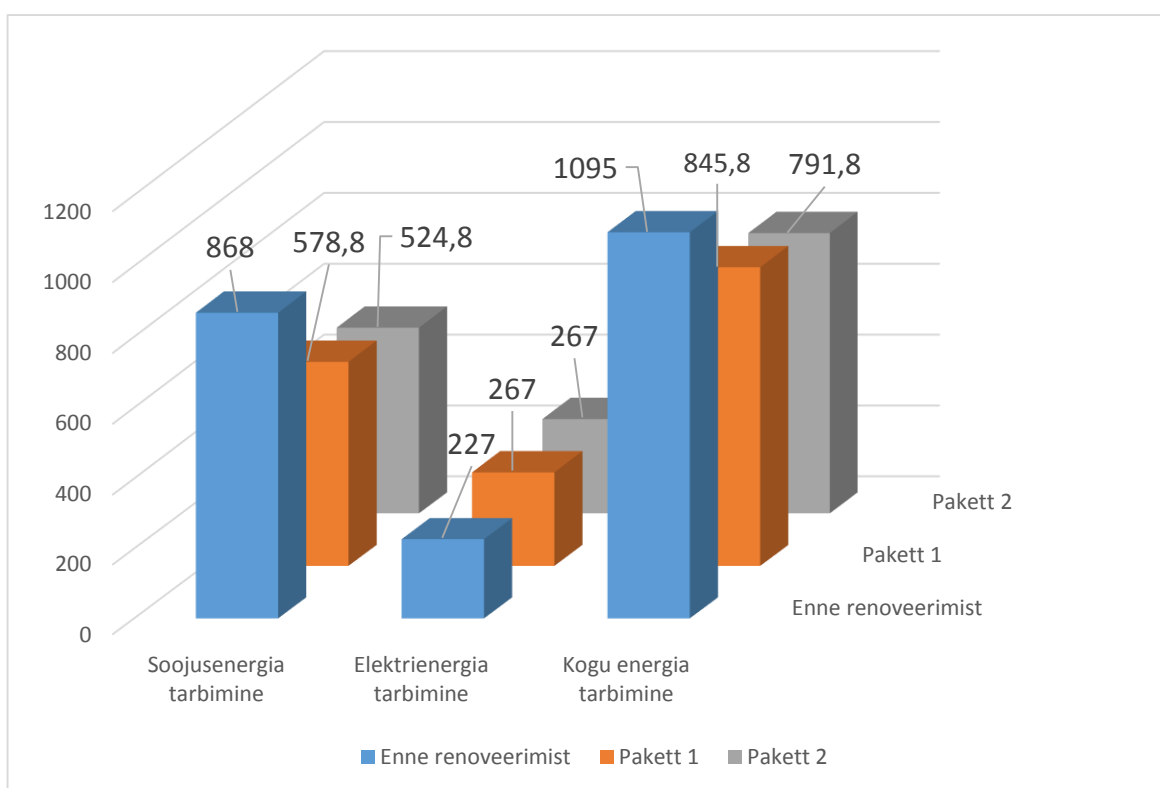
Tabel 31. Pakett 2 soojusbilanss

	Soojuskadu läbi piirdetarindite	Energiakulu õhuvahetusest ja infiltratsioonist	Sooja vee valmistamine	Arvutatud kogukulu	Soojuse sääst Normaalaastale taandatud mõõdetud kogukulust
Ühik	MWh/a				MWh/a
Kokku	397,6	105,7	21,7	524,8	343,2
Osakaal	68,7%	18,3%	3,7%		

Allikas: Autori arvutused

Pakett 2 (vt Tabel 31) soojusbilansist on näha sääst võrreldes renoveerimiseelse olukorraga 343,2 MWh aastas. Võrreldes Pakett 1 soojusbilansiga on sääst suurem 54 MWh aastas. Nagu eelnevas paketis on ka siin suurim sääst tingitud fassaadi renoveerimisest tulenevate soojuskadude vähenemisega läbi piirdetarindite ja külmasildade. Teine suur faktor säästu saamisel on küttesüsteemi rekonstrueerimine ühetorusüsteemilt kahetorusüsteemile. Lisa 11 on toodud ära piirdetarinditest tuleneva soojuskao koondtabel esialgse olukorra ning pärast rekonstrueerimist Pakett 1 ja Pakett 2 kohta.

Soojusenergia ja elektrienergia tarbimise võrdlus koos kogu energia tarbimisega on visualiseeritud järgneva diagrammi abil (Joonis 3).



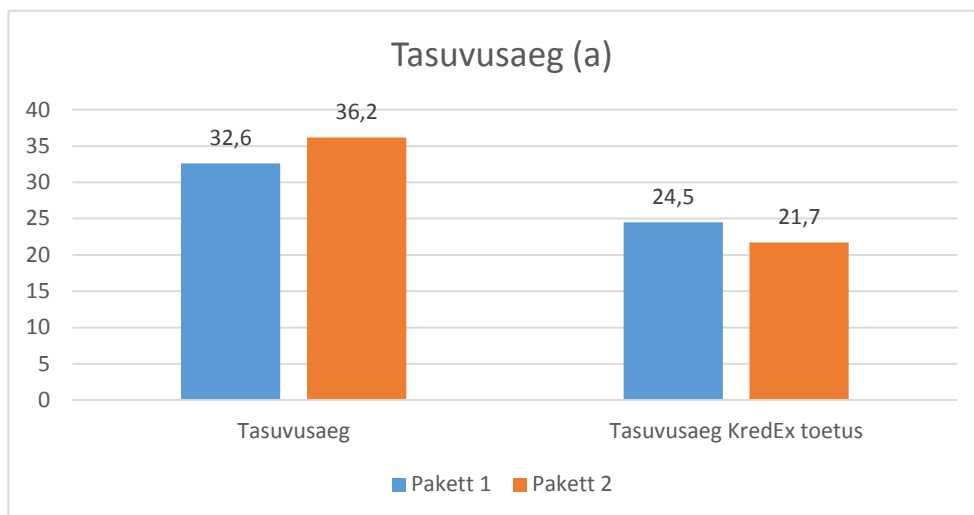
Joonis 3. Energiatarbimise analüüs

Allikas: Autori koostatud

Joonisel 3 on näha, et võrreldes esialgse olukorraga on soojusenergia kasutamine vähenenud pärast hoone rekonstrueerimist 33,4% vastavalt pakatile 1 ja 39,5% vastavalt pakatile 2. Elektrienergia tarbimine on suurenenud mõlema paketi rakendamisel 40 MWh/a ehk 15%. Jagades kogu energiakulu hoone köetava pinnaga, saame välja arvutada energiakulu m^2 kohta. Pakett 1 energiakulu on 136,4 kWh/($m^2 \times a$) ning pakett 2 energiakulu 127,8 kWh/($m^2 \times a$). Mõlemad

paketid kuuluvad pärast meetmete rakendamist energiaerikasutuse klassi „C“, ehk hoone energiatõhusus paraneb mõlema paketi oluliselt.

Mõlema paketi tasuvusaega saab võrrelda Joonis 4 järgi.



Joonis 4. Tasuvuaeg

Allikas: Autori koostatud

Pakett 1 tasuvusaeg on pakett 2 tasuvusajast 3,6 aastat väiksem. Saades KredExi toetust 25% väheneb pakett 1 tasuvusaeg 24,5 aasta peale. Pakett 2 meetmetega on võimalik taotleda 40% toetust, mis vähendab tasuvusaega 21,7 aasta peale. Tasuvusaeg 21,7 aastat on majanduslikult mõistlik arvestades meetmete eluiga.

Esimese paketi maksumus on ligi 100 000 € väiksem, kuid toob väiksema energiasäästu. Lisaks tuleb arvestada olemasoleva küttesüsteemi renoveerimisel meetme väiksema elueaga. 10. aasta pärast tuleb pakett 1 puhul teha täiendavaid kulutusi uue kahetorulise küttesüsteemi ehitamiseks. Pakett 2 pakutud parandusmeetmete alginvesteering on suurem, kuid saades KredExi 40% toetust, on investeering 386 040 € ehk 14 000 € väiksem, kui pakett 1 maksumus KredExi 25% toetusega. Samuti on pakett 2 energiasääst tunduvalt suurem. Mõlema paketi rakendamise korral paraneb tänu ventilatsioonisüsteemi välja ehitamisele oluliselt hoone mikrokliima. Pakettide analüüside tulemusel väidab autor, et terviklik renoveerimislahendus, kus on soojustatud piirdetarindid, ehitatud välja ventilatsioonisüsteem ning uus küttesüsteem, on majanduslikult kõige mõistlikum ning rekonstrueerimise tulemusena paranevad oluliselt hoone elanike elutingimused ning tõuseb hoone enda väärtus.

KOKKUVÕTE

1968. aastal valminud 119 korteriga A. H. Tammsaare tee 107 suurpaneelilamu on tänaseks vananenud ning vajab rekonstrueerimist. Suurimateks probleemideks on suured küttekulud ning loomulikust ventilatsioonist tingitud puudulik õhuvahetus ning halb mikrokliima.

Töö esimeseks eesmärgiks oli hinnata hoone energiatõhusust. Selleks tutvus autor energiatõhususe miinimumnõuetega ning kasutades hoone energiakasutuse kohta väljastatud arveid, leidis autor hoone arvutuslikud energiakulud. Energiakasutuse tulemuseks saadi 176,7 kWh/(m²/a), mis vastab energiaerikasutuse klassile „D“ ehk antud hoone vastab oluliselt rekonstrueeritava korterelamu energiatõhususe nõuetele. Vaatamata sellele on uuritava korterelamul suured soojuskaod läbi piirdetarindite, puudulik õhuvahetus ning puudub korteripõhiselt reguleeritav küttesüsteem.

Antud töös pakub autor hoone energiatõhususe ja mikrokliima parandamiseks välja kaks rekonstrueerimise paketti. Mõlemad paketid sisaldavad uue mehaanilise sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi väljaehitamist. Samuti on pakettides piirdetarindite soojustamine, kuna arvutustest tulenevalt võib väita, et suur osa soojusest väljub just nende kaudu. Erinevus kahe välja pakutud paketi vahel tuleneb piirdetarindite erinevast soojustamisest arvestades KredExi nõudeid, saamaks kas 25% või 40% toetust, ning küttesüsteemi erinevast rekonstrueerimisest. Esimeses pakettis rekonstrueeritakse olemasolev ühetoruküttesüsteem, teises demonteeritakse olemasolev ning ehitatakse hoonele uus kahetoruküttesüsteem. Mõlemad paketid on koostatud tervikuna, ehk pakettidest tulenevat energiasäästu ei ole võimalik saavutada kasutades meetmeid eraldi.

Pakett 1 alginvesteering on saades KredExi 25% toetust 400 125 €, energiasääst on võrreldes esialgse olukorraga 289,2 MWh/a ning tasuvusaeg tuleb 24,5 aastat. Pakett 1 arvutuslik rekonstrueerimise järgne energiakulu on 136,4 kWh/(m²×a). Pakett 2 alginvesteering saades KredExi 40% toetust on 14 085 € väiksem kui pakett 1 alginvesteering, ehk 386 040 €. Energiasääst pärast rekonstrueerimist on 343,2 MWh/a ning tasuvusaeg on KredExi toetusega 21,7 aastat. Rekonstrueerimisjärgne arvutuslik energiakulu on 127,8 kWh/(m²×a).

Tuginedes pakettide ja olemasoleva olukorra analüüsile, leiab autor, et mõistlik on valida pakett 2, mille tasuvusaeg on ilma toetusteta 3,6 aastat suurem, kuid ka rekonstrueerimisest tulenev sääst on 54 MWh/a suurem. Antud rekonstrueerimise mahu juures on võimalik korteriühistel taotleda 40% suurust toetust, mis vähendab elanike jaoks nii alginvesteeringut kui ka lõplikku tasuvusaega. Pakett 2 rekonstrueerimisjärgne energiakulu on 127,8 kWh/(m²×a), mis kuulub energiaerikasutuse klassi „C“.

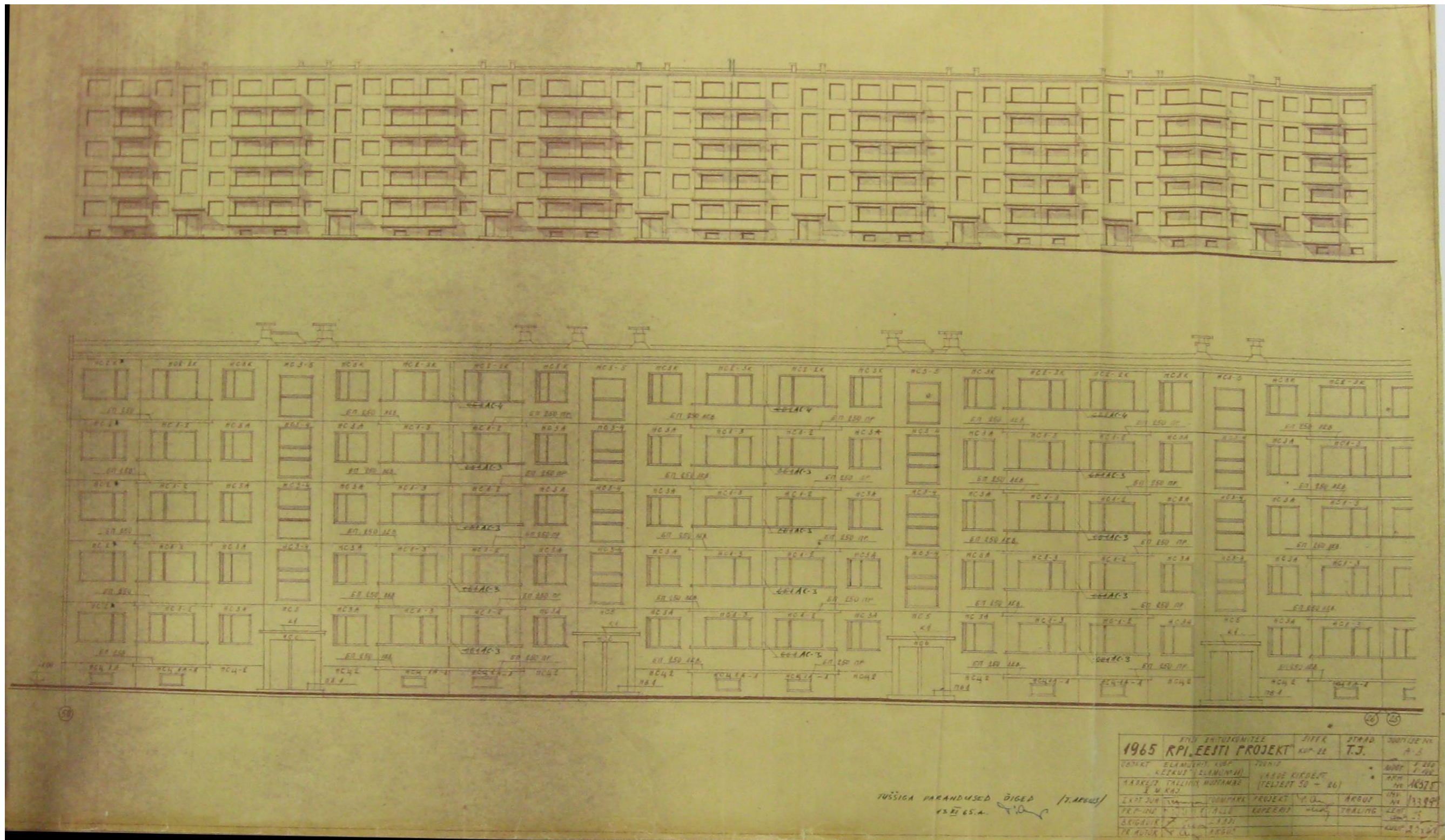
VIIDATUD KIRJANDUS

1. **Abel, E., Voll, H., Tark, T.** (2014). *Hoonete energiatarve ja sisekliima*. Tallinn: OÜ Presshouse. 304 lk.
2. Ehitisregister [WWW] <https://www.ehr.ee/app/esileht?2> (4.03.2016)
3. *Energiaaudit ja termoulevaatus: Tammsaare tee 107*. (2009) Tallinn: Energiasäästu büroo. 32 lk.
4. *Energiatõhususe miinimumnõuded*. (2007). Vabariigi valitsuse määrus nr 258, Riigi Teataja. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/12903585> (14.04.2016)
5. *Hoonete energiatõhusus*. Energiatalgud. [WWW] http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Hoonete_energiat%C3%B5husus#cite_note-TOHUSUS-1 (14.04.2016).
6. *Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika*. (2015). Vabariigi valitsuse määrus nr 58, Riigiteataja. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/109062015021> (28.04.2016)
7. *Hoone energiatõhususe miinimumnõuded*. (2015) Vabariigi valitsuse määrus nr 55, Riigi Teataja. [WWW] „[Hoone energiatõhususe miinimumnõuded](https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015)“ nr 55 <https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015> (15.04.2016)
8. *Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused*. (2015) Vabariigi valitsuse määrus nr 23, Riigi Teataja. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/131122015008> (28.04.2016)
9. *Kraadpäevad*. SA KredEx. [WWW] <http://kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/> (17.04.2016)
10. **Kõiv, T.-A., Rant, A.** (2013). *Hoonete küte* (2. tr). Tallinn: TTÜ kirjastus. 394 lk.
11. **Loigu, E., Kõiv, T.-A.** (2006), *Eesti kraadpäevad*. TTÜ Keskkonnatehnika Instituut Tallinn. 40 lk.
12. Maa-ameti Geoportaal [WWW] <http://geoportaal.maaamet.ee/> (4.03.2016)
13. Paketid, Elektri hind [WWW] <http://elektrihind.ee/paketid> (29.04.2016)
14. Rahvusarhiiv [WWW] <https://www.ra.ee/> (01.02.2016)

15. *Rekonstrueerimise toetus*. SA KredEx. [WWW] <http://www.kredex.ee/korteriuhistu/korteriuhistu-toetused/rekonstrueerimise-toetus/toetuse-tingimused/> (28.04.2016)
16. Teenused ja hinnad – Soojus.ee [WWW] <http://www.soojus.ee/klienditugi/teenused-ja-hinnad/> (29.04.2016)
17. Ventilatsioon, InteliVent [WWW] <http://www.intelivent.ee/tooted/ventilatsioon/kortermaja/> (02.05.2016)

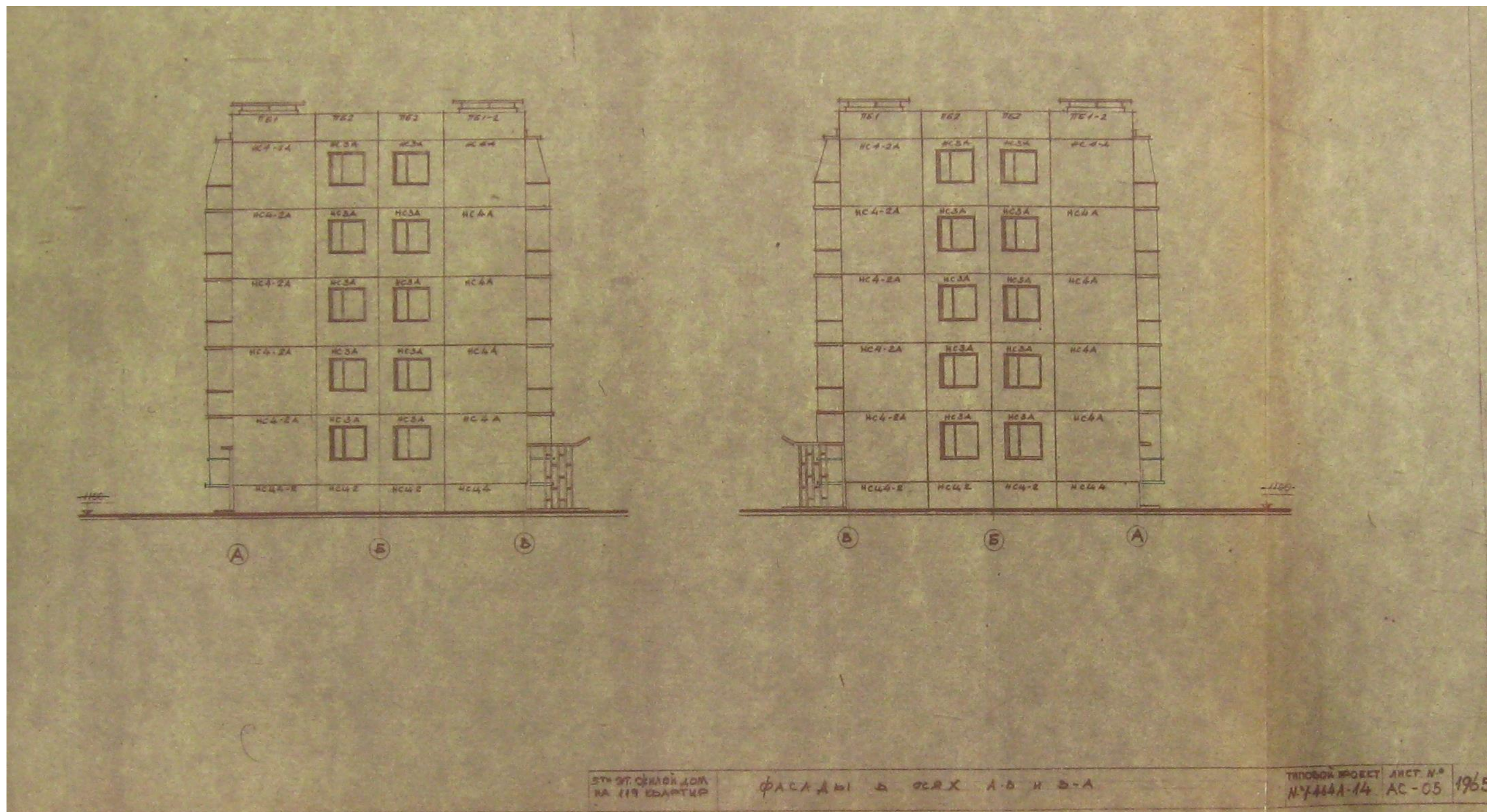
LISAD

Lisa 1. Vaade maja eest



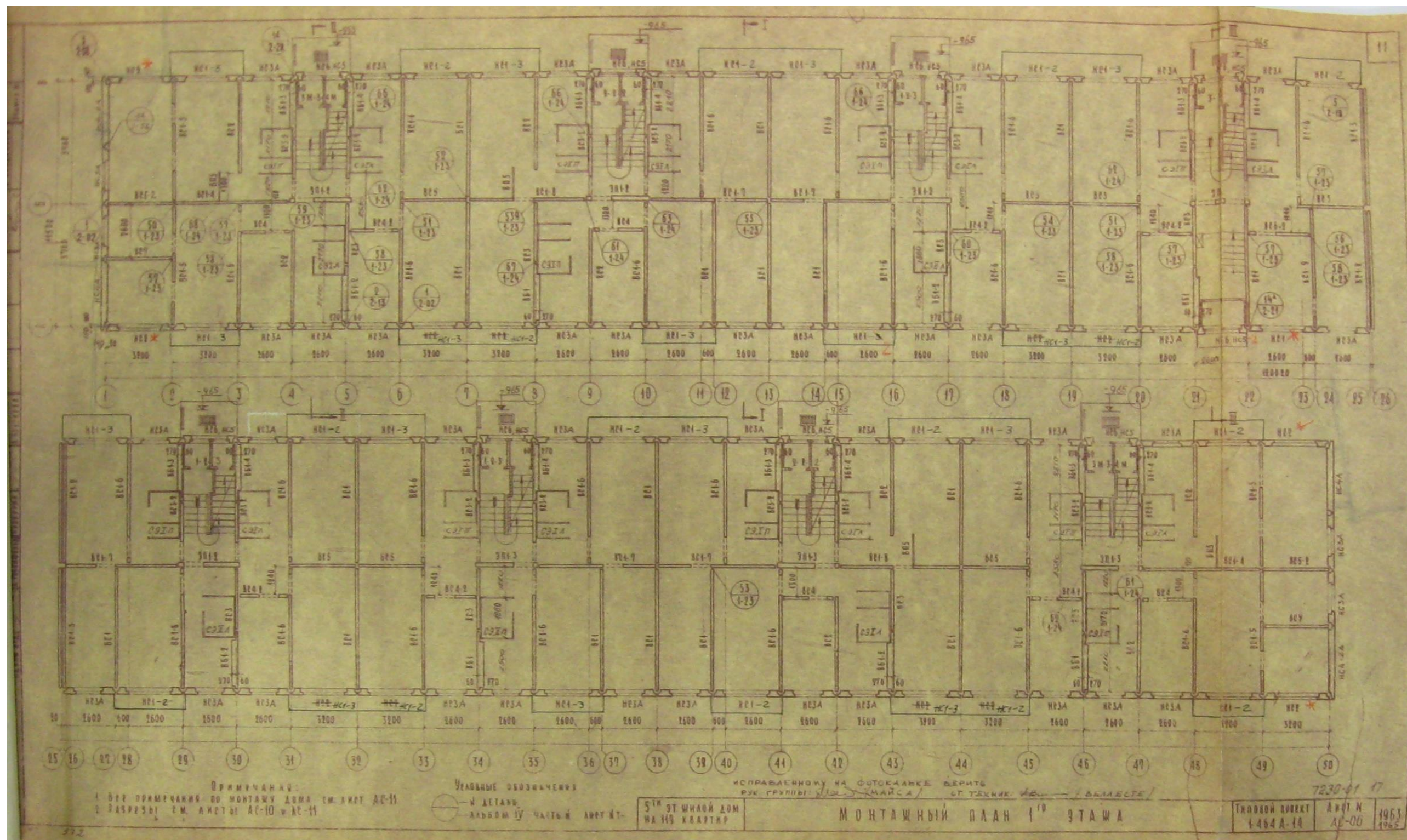
Allikas: Rahvusarhiiv [14]

Lisa 2. Vaade maja küljelt



Allikas: Rahvusarhiiv [14]

Lisa 3. Maja plaan



Allikas: Rahvusarhiiv [14]

Lisa 4. 2011 aasta kraadpäevad

2011. aasta kraadpäevad erinevatel tasakaalutemperatuuridel kuude kaupa

Tasakaalutemp. t _B	jaan.2011	veebr.2011	märts.2011	apr.2011	mai.2011	juuni.2011	juuli.2011	aug.2011	sept.2011	okt.2011	nov.2011	dets.2011	Aasta
1	142	297	67	0	0	0	0	0	0	0	4	10	521
2	172	325	94	2	0	0	0	0	0	0	7	21	621
3	203	353	123	7	0	0	0	0	0	0	11	42	739
4	234	381	154	16	1	0	0	0	0	0	16	68	870
5	265	409	185	28	6	0	0	0	0	0	29	97	1018
6	296	437	216	44	11	0	0	0	0	4	47	126	1180
7	327	465	247	62	17	0	0	0	0	12	70	156	1355
8	358	493	278	85	24	0	0	0	0	25	95	187	1544
9	389	521	309	112	32	0	0	0	0	44	122	218	1746
10	420	549	340	140	42	0	0	0	0	67	151	249	1957
11	451	577	371	170	55	0	0	0	0	93	180	280	2177
12	482	605	402	200	72	0	0	0	4	121	210	311	2407
13	513	633	433	230	95	0	0	0	12	150	240	342	2649
14	544	661	464	260	122	4	0	0	31	181	270	373	2910
15	575	689	495	290	150	15	0	6	58	212	300	404	3194
16	606	717	526	320	180	32	0	16	86	243	330	435	3491
17	637	745	557	350	210	51	2	33	116	274	360	466	3801
18	668	773	588	380	240	70	10	54	146	305	390	497	4121
19	699	801	619	410	270	90	22	80	176	336	420	528	4452
20	730	829	650	440	300	111	37	108	206	367	450	559	4787
21	761	857	681	470	331	133	54	138	236	398	480	590	5129

Kraadpäevad on arutatud päevaste keskmiste temperatuuride alusel.

Allikas: SA KredEx, kraadpäevad [9]

Lisa 5. 2012 aasta kraadpäevad

2012. aasta kraadpäevad erinevatel tasakaalutemperatuuridel kuude kaupa													
Tasakaalutemp. t _B	jaan.2012	veebr.2012	märts.2012	apr.2012	mai.2012	juuni.2012	juuli.2012	aug.2012	sept.2012	okt.2012	nov.2012	dets.2012	Aasta
1	180	261	49	12	0	0	0	0	0	18	17	237	773
2	209	290	67	20	0	0	0	0	0	24	23	267	899
3	240	319	91	31	0	0	0	0	0	31	31	298	1041
4	271	348	118	44	0	0	0	0	0	38	44	329	1192
5	302	377	148	60	0	0	0	0	0	46	63	360	1356
6	333	406	179	79	1	0	0	0	0	56	87	391	1531
7	364	435	210	99	3	0	0	0	0	70	113	422	1716
8	395	464	241	120	9	0	0	0	0	87	143	453	1911
9	426	493	272	144	17	0	0	0	0	108	173	484	2116
10	457	522	303	171	27	2	0	0	3	130	203	515	2333
11	488	551	334	198	41	8	0	0	10	155	233	546	2564
12	519	580	365	227	59	16	0	0	22	184	263	577	2811
13	550	609	396	257	79	27	0	3	40	215	293	608	3076
14	581	638	427	287	101	48	0	11	63	246	323	639	3363
15	612	667	458	317	127	73	2	24	86	277	353	670	3665
16	643	696	489	347	154	102	11	42	114	308	383	701	3988
17	674	725	520	377	183	132	23	62	143	339	413	732	4323
18	705	754	551	407	213	162	40	90	173	370	443	763	4669
19	736	783	582	437	243	192	59	120	203	401	473	794	5022
20	767	812	613	467	273	222	82	150	233	432	503	825	5378
21	798	841	644	497	303	252	108	181	263	463	533	856	5738

Kraadpäevad on arutatud päevaste keskmiste temperatuuride alusel.

Allikas: SA KredEx, kraadpäevad [9]

Lisa 6. 2013 aasta kraadpäevad

2013. aasta kraadpäevad erinevatel tasakaalutemperatuuridel kuude kaupa													
Tasakaalut	jaan.2013	veebr.2013	märts.2013	apr.2013	mai.2013	juuni.2013	juuli.2013	aug.2013	sept.2013	okt.2013	nov.2013	dets.2013	Aasta
1	171	94	215	20	0	0	0	0	0	2	9	21	532
2	200	122	246	31	0	0	0	0	0	5	14	32	649
3	230	150	277	43	0	0	0	0	0	8	20	44	771
4	261	178	308	58	0	0	0	0	0	13	28	60	906
5	292	206	339	76	0	0	0	0	0	19	40	84	1055
6	323	234	370	97	0	0	0	0	1	28	56	112	1221
7	354	262	401	119	2	0	0	0	4	39	80	143	1404
8	385	290	432	145	6	0	0	0	9	51	108	174	1600
9	416	318	463	175	11	0	0	0	16	70	137	205	1811
10	447	346	494	205	20	0	0	0	23	92	167	236	2029
11	478	374	525	235	31	0	0	0	31	116	197	267	2253
12	509	402	556	265	43	0	0	0	40	141	227	298	2481
13	540	430	587	295	59	1	0	1	53	172	257	329	2722
14	571	458	618	325	80	5	0	2	71	203	287	360	2978
15	602	486	649	355	103	11	0	6	94	234	317	391	3248
16	633	514	680	385	130	22	4	17	120	265	347	422	3539
17	664	542	711	415	160	38	14	35	149	296	377	453	3853
18	695	570	742	445	190	59	29	57	179	327	407	484	4182
19	726	598	773	475	221	80	51	81	209	358	437	515	4523
20	757	626	804	505	252	103	78	108	239	389	467	546	4873
21	788	654	835	535	283	129	106	137	269	420	497	577	5229
Kraadpäevad on arutatud päevaste keskmiste temperatuuride alusel.													

Allikas: SA KredEx, kraadpäevad [9]

Lisa 7. 2014 aasta kraadpäevad

2014. aasta kraadpäevad erinevatel tasakaalutemperatuuridel kuude kaupa

Tasakaalut	jaan.2014	veebr.2014	märts.2014	apr.2014	mai.2014	juuni.2014	juuli.2014	aug.2014	sept.2014	okt.2014	nov.2014	dets.2014	Aasta
1	252	43	18	2	0	0	0	0	0	10	43	61	430
2	277	62	29	5	0	0	0	0	0	15	58	79	526
3	304	87	46	10	0	0	0	0	0	21	74	106	648
4	332	114	69	19	2	0	0	0	0	30	92	134	792
5	362	142	97	31	7	0	0	0	0	39	113	165	954
6	392	170	126	48	13	0	0	0	1	50	136	196	1131
7	423	198	156	68	21	0	0	0	2	64	162	227	1321
8	454	226	187	91	32	0	0	0	4	82	189	258	1522
9	485	254	218	114	47	2	0	0	6	102	217	289	1733
10	516	282	249	141	63	6	0	0	8	126	246	320	1956
11	547	310	280	170	82	12	0	0	12	153	276	351	2191
12	578	338	311	200	103	22	0	1	19	182	306	382	2440
13	609	366	342	230	124	37	1	3	34	211	336	413	2705
14	640	394	373	260	146	59	2	9	52	242	366	444	2987
15	671	422	404	290	169	83	3	19	75	273	396	475	3280
16	702	450	435	320	193	109	8	33	104	304	426	506	3588
17	733	478	466	350	218	136	15	49	133	335	456	537	3906
18	764	506	497	380	244	164	23	68	162	366	486	568	4229
19	795	534	528	410	271	192	36	87	192	397	516	599	4558
20	826	562	559	440	298	220	52	108	222	428	546	630	4891
21	857	590	590	470	325	250	70	132	252	459	576	661	5232

Kraadpäevad on arutatud päevaste keskmiste temperatuuride alusel.

Allikas: SA KredEx, kraadpäevad [9]

Lisa 8. 2015 aasta kraadpäevad

2015. aasta kraadpäevad erinevatel tasakaalutemperatuuridel kuude kaupa													
Tasakaalut	jaan.2015	veebr.2015	märts.2015	apr.2015	mai.2015	juuni.2015	juuli.2015	aug.2015	sept.2015	okt.2015	nov.2015	dets.2015	Aasta
1	74	38	7	0	0	0	0	0	0	1	4	27	150
2	96	53	15	1	0	0	0	0	0	3	7	36	211
3	122	79	31	5	0	0	0	0	0	6	12	47	302
4	152	106	52	13	0	0	0	0	0	13	21	61	418
5	182	134	77	26	0	0	0	0	0	24	35	78	556
6	213	162	104	42	1	0	0	0	0	39	53	98	711
7	244	190	133	64	4	0	0	0	0	58	75	123	892
8	275	218	164	90	11	0	0	0	0	81	101	151	1091
9	306	246	195	118	21	0	0	0	0	106	128	180	1300
10	337	274	226	147	34	0	0	0	1	132	156	211	1518
11	368	302	257	177	51	0	0	0	2	160	186	242	1746
12	399	330	288	207	74	3	0	0	7	189	216	273	1986
13	430	358	319	237	101	12	0	0	19	219	246	304	2244
14	461	386	350	267	130	29	2	1	38	249	276	335	2523
15	492	414	381	297	161	52	7	6	64	280	306	366	2825
16	523	442	412	327	192	77	22	18	92	311	336	397	3149
17	554	470	443	357	223	105	45	35	120	342	366	428	3489
18	585	498	474	387	254	135	71	56	150	373	396	459	3838
19	616	526	505	417	285	165	95	79	180	404	426	490	4189
20	647	554	536	447	316	195	126	107	210	435	456	521	4550
21	678	582	567	477	347	225	157	135	240	466	486	552	4913
Kraadpäevad on arutatud päevaste keskmiste temperatuuride alusel.													

Allikas: SA KredEx, kraadpäevad [9]

Lisa 9. Normaalaasta kraadpäevade arv

Tallinna **normaalaasta** kraadpäevad erinevatel tasakaalutemperatuuridel, °C

Tasakaalu-temp	Jaauaar	Veebruar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Oktoober	November	Detsember	Summa
1	158	167	84	11	0	0	0	0	0	6	46	120	592
2	185	192	106	19	0	0	0	0	0	10	61	144	717
3	214	218	133	31	1	0	0	0	0	15	79	171	862
4	244	245	161	47	2	0	0	0	0	23	99	200	1021
5	275	273	191	65	4	0	0	0	1	33	123	230	1195
6	306	301	222	86	8	0	0	0	2	46	148	260	1379
7	337	329	253	109	14	0	0	0	4	62	175	291	1574
8	368	358	283	133	23	0	0	0	8	81	204	322	1780
9	399	386	314	159	35	1	0	0	15	103	234	353	1999
10	430	414	345	186	50	2	0	0	25	129	263	384	2228
11	461	442	376	214	68	5	0	1	38	157	294	415	2471
12	492	471	407	242	89	11	0	2	55	186	324	446	2725
13	523	499	438	271	112	21	1	6	76	216	354	477	2994
14	554	527	469	300	137	35	4	12	100	247	384	508	3277
15	585	555	500	330	164	53	10	23	127	277	414	539	3577
16	616	584	531	360	192	73	22	38	154	308	444	570	3892
17	647	612	562	389	221	96	38	58	183	339	474	601	4220
18	678	640	593	419	251	122	58	82	213	370	504	632	4562
19	709	668	624	449	281	149	82	108	242	401	534	663	4910
20	740	697	655	479	312	177	108	135	272	432	564	694	5265
21	771	725	686	509	342	207	136	165	302	463	594	725	5625

Allikas: Eesti kraadpäevad [11]

Lisa 10. Ventilatsioonisüsteem

Unit	Supply	Extract
● Working air flow	90	90 m ³ /h
● Working air pressure	100	100 Pa
Power	21.1	17.2 W
Speed	2096	1778 r.p.m.
SFP (clean filters)		1.53 kW/m ³ /s
Supply air temperature	20	°C

Acoustic filter

Sound power level		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Tot
Supply	dB(A)	44	53	56	59	56	54	44	33	63
Outdoor	dB(A)	39	41	48	46	37	29	17	3	51
Exhaust	dB(A)	53	55	57	56	55	52	46	48	63
Extract	dB(A)	47	48	49	47	36	28	21	22	54
Surrounding	dB(A)	24	33	35	34	27	27	20	15	39

Heat recovery	Supply	Extract
Inlet air temperature	0	24 °C
Outlet air temperature	20	2 °C
Inlet air humidity	90	50 %
Air pressure drop	16	17 Pa
Transferred power		0.651 kW
Temperature efficiency		83 %
Dry efficiency according to EN 308*		84 %
Exchanger type		

*calculated at outdoor air +5°C, extract air +25°C and 27% RH

Electric heater	
Outlet air temperature	20 °C
Nominal power	0.5 kW
Power output	0 %
Missing power	0 kW

Allikas: Ventilatsioon [17]

Lisa 11. Piirdetarindite koondtabel

			Enne renoveerimist		Peale renoveerimist Pakett 1				Peale renoveerimist Pakett 2			
			t _B , °C	18,0	t _B , °C	16,3	S _N , °Cd	3990	t _B , °C	15,6	S _N , °Cd	3735
Piirdetarind	Kirjeldus	Pindala, [m ²]	Hinnanguline soojusjuhtivus, U [W/(m ² K)]	Hinnanguline soojuskadu, Φ [MWh/a]	Parandusmeetmed	Arvutuslik soojusjuhtivus, U [W/(m ² K)]	Arvutuslik soojuskadu, Φ [MWh/a]	Soojusenergia sääst, [MWh/a]	Parandusmeetmed	Arvutuslik soojusjuhtivus, U [W/(m ² K)]	Arvutuslik soojuskadu, Φ [MWh/a]	Soojusenergia sääst, [MWh/a]
Fassaad	Suurpaneel. Tehniliselt korras, vajab lisasoojustamist.	2200,2	0,83	199,9	Soojustamine õhekrohvüsteemiga 100 mm	0,25	52,3	147,7	Soojustamine õhekrohvüsteemiga 150 mm	0,20	39,1	160,8
Otsaseinad	Suurpaneel. Paigaldatud lisasoojustus 100 mm.	278,2	0,27	8,2	-	0,27	7,2	1,0	-	0,27	6,7	1,5
Sokkel	Betoonpaneel. Tehniliselt korras, vajab lisasoojustust.	228,2	1,17	29,2	Soojustamine õhekrohvüsteemiga 150 mm	0,30	6,6	22,6	Soojustamine õhekrohvüsteemiga 150 mm	0,30	6,1	23,1
Katus	Rekonstrueerimise käigus lisasoojustatud ja ehitatud välja viilkatus.	1420,7	0,31	48,2	-	0,31	42,2	6,0	-	0,32	39,5	8,7
Keldri lagi		1382,6	0,50	75,69	-	0,50	66,2	9,5	-	0,50	62,0	13,7
Välisuks	Metalluksed	29,9	1,70	5,6	-	1,70	4,9	0,7	-	1,70	4,6	1,0
Aknad - puit	Puidust aknad, amortiseerunud ja ebatihedad. Vajavad väljavahetamist.	70	3,00	23,0	Vahetus uute akende vastu, U= 1.1 W/m ² K	1,1	7,4	15,6	Vahetus uute akende vastu, U= 1.1 W/m ² K	1,1	6,9	16,1
Aknad - PVC	Korras.	1016,9	1,40	155,9	-	1,4	136,3	19,6	-	1,4	127,6	28,3

Allikas: A. H. Tammsaare tee 107 energiaaudit [3]; Autori arvutused

SUMMARY

ENERGY EFFICIENCY EVALUATION OF A. H. TAMMSAARE TEE 107 APARTMENT BUILDING AND ENERGY CONSUMPTION CALCULATIONS AFTER RECONSTRUCTION

Mailis Kuresson

Language:	Estonian	Figures:	4
Pages:	43	Tables:	31
References:	17	Appendixes:	11
Keywords:	Energy efficiency, energy saving, energy consumption, apartment building, reconstruction, payoff statement		

In Estonia the construction of apartment buildings started in 1960. First buildings were located in Mustamäe. Today, most are physically deteriorated and need reconstruction, the main problems are a lack of ventilation and high energy consumption. Nowadays it is more and more important to save energy and make the microclimate better.

The aim of this thesis is to evaluate the actual energy consumption and to improve the indoor climate and energy consumption of A. H. Tammsaare tee 107 apartment building.

To that end, the author has calculated the energy consumption of the building and compared the results with actual energy consumption data. Calculations include heat losses of the building, using thermal conductivity of structures and building dimensions, and internal heat gain. Using heat losses and internal heat gain the base temperature was calculated. The base temperature was +18°C and heating degree days at that temperature in Tallinn are 4562°Cd. The author has used heating

degree days to eliminate outside temperature differences. These calculations resulted in an energy usage of 176,7 kWh/m² per year, which corresponds to energy class “D”.

To improve the indoor climate and energy consumption the author has compiled two reconstruction packets. Both of these include installing a new ventilation system and adding additional insulation. For packet one the additional insulation is 100 mm and for the second 150 mm thick. The heating system reconstruction is also a bit different. For the first packet a bypass pipe and heat regulator is fitted to each heater while for the second packet the heating system is fully reconstructed using a two-pipe system with better insulation to reduce heat losses through the heater pipes.

The cost of the both packets includes aid from KredEx. For packet one the aid is 25% and for packet two 40%. The aid percentage depends on the extent of the reconstruction. Cost of packet 1 with the aid is 400 125 €, overall energy savings compared to the initial situation are 289,2 MWh per year and the repayment period is 24,5 years. Cost of packet 2 with the aid of KredEx is 386 040 €, overall energy savings are 343,2 MWh per year and the repayment period is 21,7 years. Energy consumption after reconstruction for the first packet is 136,4 kWh/m² per year and for the second one 127,8 kWh/m² per year, both packets belonging to energy class „C“.

Based on the analysis of the packets, the author finds that it is financially rational to choose packet 2, because it delivers bigger savings and the repayment period is shorter.

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli diplomi taotlemiseks ning selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi ega diplomit.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjanduslikest allikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Autor:
(Mailis Kuresson, 30. mai 2016)

Üliõpilaskood: 121348 BDKR

Töö vastab kehtivatele nõuetele.

Juhendaja:
(Roode Liias, 30. mai 2016)

Kaitsmisele lubatud: ”.....” 2016

TTÜ TK kaitsmiskomisjoni esimees:

.....
(nimi, allkiri)