

Madis Gilden

**KORTERELAMU
ENERGIASIMULATSIOONIDE
KOOSTAMINE JA ANALÜÜS**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2015

Madis Gilden

KORTERELAMU ENERGIASIMULATSIOONIDE KOOSTAMINE JA ANALÜÜS

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond

Hoonete ehitus

Tallinn 2015

Mina, Madis Gilden tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Lõputöö autor/autorid

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Üliõpilase kood E08148K

Õpperühm KEI75/85

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendajad

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Kaitsmisele lubatud „.....“20....a.

..... teaduskonna dekaan

Teaduskonna nimetus

Nimi ja allkiri

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	7
1. ANALÜÜSITAVA OBJEKTI ISELOOMUSTUS.....	9
1.1. Hoone üldandmed.....	9
1.2. Hoone asukoht ja paiknemine.....	9
2. HOONE RENOVEERIMISEELSE SEISUKORRA KIRJELDUS.....	11
2.1. Piirdetarindid	11
2.1.1. Vundament ja sokkel.....	11
2.1.2. Seinad.....	11
2.1.3. Põrandad, vahelaed ja katuslagi	11
2.1.4. Katus.....	12
2.1.5. Avatäited	12
2.2. Tehnosüsteemid	12
2.2.1. Hoone soojussõlm ja küttesüsteem	12
2.2.2. Ventilatsioon	13
2.2.3. Veevarustus ja kanalisatsioon	13
2.2.4. Elektrivarustus.....	13
3. HOONE RENOVEERIMISEELSE ENERGIASIMULATSIOONI KOOSTAMINE.....	14
3.1. Soojuskadude arvutamise alused läbi välispiirete	14
3.1.1. Seinad.....	15
3.1.2. Vahelaed ja katus	16
3.1.3. Avatäited	16
3.1.4. Soojusjuhtivuste võrdlus energiaauditis esitatutega.....	17
3.2. Soojuskadude arvutamise alused läbi külmasildade.....	17
3.3. Soojuskadude arvutamise alused läbi infiltratsiooni ja ventilatsiooni.....	18
3.4. Soojuskadude arvutamise alused läbi tehnosüsteemide	19
3.5. Hoone arvutuslik soojuserikadu renoveerimiseelselt	19
3.6. Hoone vabasoojuskoormuse leidmise alused	21

3.7.	Hoone arvutuslik tarnitud energia renoveerimiseelselt	22
4.	RENOVEERIMISPROJEKTIGA KAVANDATUD LAHENDUSTE KIRJELDUS.....	24
4.1.	Renoveerimisprojekti piirdetarindite kirjeldus	25
4.1.1.	Seinad	26
4.1.2.	Vahelaed ja katus	26
4.1.3.	Avatäited	26
4.2.	Renoveerimisprojektiga projekteeritud tehnosüsteemid	27
4.2.1.	Hoone soojussõlm ja küttesüsteem	27
4.2.2.	Ventilatsioon	28
4.2.3.	Veevarustus ja kanalisatsioon	28
5.	RENOVEERIMISPROJEKTI ALUSEL MUDELSIMULATSIOONI KOOSTAMINE	29
5.1.	Soojuskadude arvutamise alused läbi piirdetarindite	29
5.2.	Soojuskadude arvutamise alused läbi külmasildade.....	30
5.3.	Soojuskadude arvutamise alused läbi infiltratsiooni	31
5.4.	Soojuskadude arvutamise alused läbi tehnosüsteemide	31
5.5.	Hoone arvutuslik soojuserikadu	32
5.6.	Hoone vabasoojuse arvutamise alused	33
5.7.	Hoone arvutuslik tarnitud energia	33
6.	HOONE RENOVEERIMISJÄRGNE KIRJELDUS	36
6.1.	Muudatused piirete soojustamisel	36
6.2.	Muudatused ventilatsioonisüsteemiga.....	36
6.3.	Hoone arvutuslik soojuserikadu renoveerimisjärgselt.....	37
6.4.	Hoone arvutuslik tarnitud energia renoveerimisjärgselt.....	38
7.	ENERGIASIMULATSIOONIDE VÕRDLUSED JA JÄRELDUSED.....	40
7.1.	Renoveerimiseelse olukorra võrdlus energiasimulatsiooniga	40
7.2.	Renoveerimisprojekti energiaarvutuste võrdlus energiasimulatsiooniga.....	41
7.3.	Renoveerimisjärgse olukorra võrdlus energiasimulatsiooniga.....	43
8.	RENOVEERIMISTÖÖDE MAKSUMUS JA TASUVUSARVUTUSED	46
8.1.	Tasuvusarvutused	47
	KOKKUVÕTE.....	49
	SUMMARY	51
	VIIDATUD ALLIKAD.....	53
	LISAD	55
	Lisa 1. Materjalide soojuseri juhtivused	56

Lisa 2. Korterelamu mõõdetud tarbimisandmed	57
---	----

SISSEJUHATUS

Tänases Eestis ja Euroopa liidus on energiatõhusus väga aktuaalne teema. Energiatõhusus väljendub piiratud loodusressursside otstarbekas kasutamises ja nende kasutamise vähendamises. Kuna maailma rahvastiku arv kasvab, on seda enam oluline jälgida ja reglementeerida energiakasutusega seonduvat. Energiatõhusus lähtub üldiselt riigi tasandist ning jõuab kehtestatud seadustega ka üksikindiviidini. Elanike seisukohast seondub energiasääst siiski valdavalt raha säästuga, mida oodatakse vanade hoonete kordategemiselt. Sageli see nii siiski ei ole ja ehitushindu ning saavutatavat säästu arvestades on tasuvusajad väga pikad. Selleks, et siiski olemasolevaid hooneid korda tehtaks on Euroopa liit ja selle liikmesriigid sisse viinud toetuste süsteemi, mis peaks motiveerima inimesi võtma ette hoonete renoveerimisi energiasäästlikumaks. Eestis kureerib vastavate toetuste saamist Krediidid ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutuselt KredEx (KredEx). Toetusel on erinevad määrad ja selle taotlemiseks peavad hoonete omanikud täitma erinevaid tingimusi. Kõige olulisem ja kokkuvõtvam on näidata, et hoone kordategemisejärgselt on nõutud energiasääst saavutatav. Uuringud juba teostatud renoveerimiste kohta näitavad siiski vastupidist ja energiasäästu näitajad jäävad alla toetuse taotlemise hetkel arvutuslikult näidatud väärtustele.

Antud lõputöö eesmärgiks oli uurida ja analüüsida Tallinnas 1959 aastal ehitatud 20 korteriga telliselamu energiatarbimist. Hoonele teostati vastavalt KredEx-i 35% toetuse tingimustele 2013 aastal kompleksne renoveerimine. Toetuse saamise üheks kriteeriumiks oli saavutada 50% soojusenergiäsääst. Käesolev töö analüüsib, kas ja kuidas on energiasääst saavutatud ning millises ulatuses renoveerimisprojekti rakendati.

Uuringu lähteandmetena kasutatakse hoonele koostatud energiaauditit, hoone algset ehitusprojekti, hoone renoveerimisprojekti ja inventariseerimisjoonised. Hoone energiatõhususe analüüsimiseks koostatakse dünaamilised energiasimulatsiooni mudelid programmiga IDA ICE. Arvutusmudelid koostatakse võrdlemaks esmalt hoone renoveerimiseelset olukorda energiaauditi tulemustega. Teine

arvutusmudel koostatakse renoveerimisprojektiga projekteeritud lahenduste alusel, mis olid aluseks renoveerimistoetuse saamisel. Võrdlemaks tegelikku tarbimist projekteeritud lahenduste arvutustulemustega, koostatakse kolmas simulatsiooni mudel renoveeritud hoone lahenduste põhjal.

Renoveerimistöode maksumuse ja energiatarbimise alusel koostatakse tasuvusarvutused.

1. ANALÜÜSITAVA OBJEKTI ISELOOMUSTUS

1.1. Hoone üldandmed

Lõputöös analüüsitav hoone on 1959. aastal ehitatud 5 maapealse korruse ja keldrikorrusega korterelamu asukohaga Tallinn, Villem Reimani tn 6. Hoone on 1 trepikojaga ja 20 korteriga. Elamu on aastaringselt sihtotstarbeliselt kasutusel. Käsitletav hoone jääb Tallinna vanalinna muinsuskaitseala kaitsevööndisse. Välisarhitektuurilt on tegemist stalinistliku hoonega. Hoone on kandvate pikiseintega, väheliigendatud ja viilkatusega. Hoone sokliosa 1.80m maapinnast. Korterelamul on toimiv ühistu. Hoone üldandmed on toodud Tabel 1.

Tabel 1

Hoone üldandmed [1]

Krundi sihtotstarve	Elamumaa 100%
Krundi pindala	477 m ²
Ehitisealune pind	251 m ²
Hoone suletud netopind	1032,6 m ²
Hoone köetav pind	901,4
Maapealsete korruste arv	5 korrust
Hoone kõrgus	19,7 m
Hoone pikkus	20,6 m
Hoone laius	11,3 m
Hoone maht	4070 m ³
Hoone tulepüsivusklass	TP1

1.2. Hoone asukoht ja paiknemine

Hoone asub Harjumaal Tallinnas kesklinna linnaosas Villem Reimani tänav 6. Hoone on edelaküljest kokkuehitatud Gonsiori tn 9 // Maneeži tn 9 hoonega. [1]

Krundi reljeef on tasane, maapinna absoluutkõrgused jäävad vahemikku 3,10...3,30 m. Kinnistul puudub haljastus, samas hoone esisel tänaval on kõrghaljastus. [1]

Juurdepääs hoonele on V. Reimani tänavalt ja hoovipoolses osas läbi üldkasutatava maa Maneeži tänavalt. Hoone asukoha skeem on näidatud Joonis 1.



Joonis 1. Hoone paiknemine [2]

2. HOONE RENOVEERIMISEELSE SEISUKORRA KIRJELDUS

Hoone renoveerimiseelse olukorra kirjeldamisel on antud töö autor tuginenud hoone algsele ehitusprojektile ning energiaauditile. Kuna energiaauditis on osaliselt lähtutud hinnangutest, mis tuginevad välisele vaatlusele, siis konstruktiivsete hinnangute erinevuste korral ehitusprojekti ja energiaauditis on antud töö autor lähtunud hoone algsest ehitusprojektist.

2.1. Piirdetarindid

2.1.1. Vundament ja sokkel

Hoone on madalvundamendiga, kuid vundamendi täpse konstruktsiooni kohta puuduvad andmed. [3]

Keldri- ja soklisein on tehtud looduskivist paekivist. Keldri pikiseinte paksus on 650 mm ja otsaseina paksus 550 mm. Keldrisein on maaaluses osas kaetud ehitusaegse bituumeni baasil oleva vööphüdroisolatsiooniga. Maapealne soklisein on hoone tänavapoolisel ja otsaseinal krohvitud. [4]

2.1.2. Seinad

Hoone välisseinad on ehitatud täissilikaattellisest laiema vuugiga. Hoone tänavapoolne sein ja otsasein on kaetud krohviga. Korterelamu tagumine fassaad on viimistlemata silikaattellis. Kuna energiaauditis toodud seinte paksused ei sobi ühegi tolleaegse kasutuses olnud seinatüübiga, võttis käesoleva töö autor arhiivist hoone algse ehitusprojekti. Seinte läbimõõtude määramisel on käesoleva töö autor lähtunud hoone algsest ehitusprojektist. Hoone tänavapoolne krohviga kaetud täissilikaattellisest seina paksus on võetud 560 mm ja hoovipoolne krohviga katmata sein 540 mm. Otsaseina paksus on võetud 420 mm. [4]

Hoone siseseinad on silikaattellisest paksusega 250 mm, 380 mm ja 640 mm. [4]

2.1.3. Põrandad, vahelaed ja katuslagi

Hoone keldripõrand on monoliitne raudbetoon plaat paksusega 100 mm.

Hoone vahelaed on ehitatud 220 mm raudbetoon õõnespaneelidest, mille peal on põrandakonstruktsioon. 1. korruse põrandale on lisatud täiendav soojustus 50 mm mineraalvilla näol [4], [3].

Pööningu põrand on 220 mm õõnespaneel, mis on soojustatud u 200 mm ehitusaegse soojustuse šlakkbetooniga [3].

Trepikoja seinad ja lagi on pööningul soojustamata. [3]

2.1.4. Katus

Hoone katus on puitsarikatel soojustamata viilkatus. Katusekatte materjalina on kasutatud eterniiti. [3]

2.1.5. Avatäited

Trepikoja välisüksed on klaaspakettidega metalluksed, mis on ebatihedad ja amortiseerunud. Keldriüksed on amortiseerunud metalluksed. [3]

Hoone akendest ca 81% on varem vahetatud polüvinüülkloriid (PVC) raamidega 2-kordsed pakettaknad. Aknad on vahetatud erinevatel aegadel, mistõttu on nende seisukord samuti erinev ning täpset hinnangut igale aknale ei ole võimalik anda.

Hoone 1. korruse osas on ehitusaegsed puitraamid aknad. Akende seisukord on rahuldav, aga vajavad vahetamist tänapäevastele energiatõhususnõutele vastavate vastu. [3]

2.2. Tehnosüsteemid

2.2.1. Hoone soojussõlm ja küttesüsteem

Hoonet köetakse kaugküttesüsteemist. Soojusenergia tarnija on AS Tallinna Küte. Soojusenergiat kasutatakse nii kütteks kui ka tarbevee soojendamiseks. Keldrikorrusel on automaatne soojussõlm plaatsoojusvahetitega. Kaugkütte automaatika reguleerib küttesüsteemi mineva vee temperatuuri vastavalt välistemperatuurile. Selleks on hoone välisseinal välisõhu andur ja soojakandja primaarpoolel mootorajamiga ventiil. Kogu soojuse kulu mõõdetakse soojusmõõtjaga. Hoone soojussõlm on põhimõtteliselt töökorras, kuid torustikel puuduvad osaliselt isolatsioonid. [3]

Renoveerimisele küttesüsteemiks on ülemise jagamisega ühetoru keskküttesüsteem. Magistraalitorustikud on tehnilistes keldriruumides ja pööningul küll isoleeritud, kuid isolatsioon on

amortiseerunud ning isolatsiooni kiht pole piisav, et hoida ära soojuskadusid. Pööningul olevad püstikud on isoleerimata. Küttesüsteem on tasakaalustamata. Küttekehadeks on vanad malmradiaatorid ja osades korterites ka plekkradiaatorid. Vanad reguleeriventiilid ei ole töökorras ja küttekehade soojusväljastust ei ole võimalik reguleerida. Küttekehad on varustatud nihutamata möödaviikudega. [3]

2.2.2. Ventilatsioon

Õhuvahetus on loomuliku ergutusega väljatõmbeventilatsioon köökidest ja pesuruumidest seinasiseste ventilatsiooni lõõride kaudu. Õhk siseneb ruumidesse läbi konstruktsiooni ebatiheduste, avatavate akende kaudu ning läbi akna all paiknevate värskeõhuavade kaudu. Osades korterites on värskeõhuavad suletud, mistõttu õhuvahetuse näitajad võivad korterite kaupa olla erinevad. [3]

Hoone ventilatsioonilõõrid on juhitud läbi pööningu katusele. Ventilatsioonilõõride olukorra kohta puuduvad täpsemad andmed. [1]

Energiaauditi käigus tehtud mõõtmiste ja vaatluste kohaselt, toimib õhuvahetus hoones üldiselt normaalselt, kuigi pisut ebaühtlaselt. Õhu suhteline niiskus korterites oli normikohane ja puudusid halvale õhuvahetusele viitavad nähtused nagu hallitus ja niiskuse kondenseerumine. [3]

2.2.3. Veevarustus ja kanalisatsioon

Veevarustus ja kanalisatsioon on ühendatud AS Tallinna Vesi hallatavasse linnavõrku. Külma vesi on mõõdetud veemõõtjaga ja vajalik rõhk tagatakse linna võrgu survega. Sooja tarbevett valmistatakse soojussõlmes plaatsoojusvahetiga. [3]

Hoone veevarustuse torustik on ehitusaegne. Sooja tarbevee torustikul puudub isolatsioon või on väga halvas seisus. [3]

2.2.4. Elektrivarustus

Hoone on ühenduses Elektrilevi OÜ võrguga. Elektripaigaldis on pingega 400/230 V. [3]

3. HOONE RENOVEERIMISEELSE ENERGIASIMULATSIOONI KOOSTAMINE

Käesoleva töö autor koostas V. Reimani tn 6 korterelamu renoveerimiseelse olukorra kohta energiasimulatsiooni kasutades selleks programmi IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) [5]. Renoveerimiseelse mudeli koostamine on vajalik, et koostada renoveerimiseelne soojusbilanss. Ühtlasi on renoveerimiseelse olukorra taastamine vajalik, et veenduda vajalike lähteandmete õigsuses, mis auditile järgnevalt on uute lahenduste projekteerimise aluseks.

Hoone energiasimulatsiooni mudel on koostatud algse ehitusprojekti, renoveerimisprojekti digitaalsete jooniste ja inventariseerimisjooniste alusel. Arvutusmudel on jagatud kaheksaks korruste kaupa tsooniks, sh keldrikorrus ja pööning, eraldi tsoonina on välja toodud trepikoda.

Tsoonidele on sisestatud parameetrid, mida on käesoleva peatüki alapunktide all kirjeldatud alates ptk. 3.1.

Simulatsiooni eesmärk on arvutada hoone soojuskaod vastavalt renoveerimiseelsele olukorrale, arvestada välja vabasoojuskooormused ning koostada soojusbilanss. Lõpptulemusena arvutatakse kogu hoone energiatarbimine. Hoone renoveerimiseelse energiasimulatsiooni tulemusi võrreldakse energiasimulatsiooni soojusbilansi koostamise aluseks olevate andmete ning tulemustega. Renoveerimiseelse olukorra soojusbilansi taastamine on oluline alus renoveerimise järgse olukorra adekvaatsete arvutuste tegemiseks ning analüüsiks.

Korterelamu renoveerimiseelse simulatsiooni aluseks on osaliselt võetud 2008. aasta reaalsed tarbimisandmed sooja vee ja elektritarbimise osas.

3.1. Soojuskadude arvutamise alused läbi välispiirete

Käesolevas peatükis käsitletakse käesoleva töö autori poolt koostatud energiasimulatsiooni aluseks olevate välispiirete soojusjuhtivuste määramist. Peatükis kirjeldatakse arvutamise aluseks olevat

metoodikat ja toodud arvutustes saadud väärtused. Ühtlasi on ära toodud võrdluseks energiaauditis kasutatud hinnangulised soojusjuhtivused.

3.1.1. Seinad

Hoone soojusjuhtivuse arvutamisel kasutatud materjalide soojuseri juhtivusi vastavalt lisas 1 toodud tabelile.

Homogeensete tarindite soojusjuhtivuse leidmiseks on kasutatud EVS 908-1:2010 kohaseid arvutusjuhendeid ja sisestatud mudelsimulatsiooni programmi IDA ICE. Piirete soojusjuhtivuse arvutusmeetodi põhimõteteks on [5, p. 20]:

- arvutatakse piirdetarindi iga soojuslikult homogeense kihi soojustakistus,
- määratakse üksikute kihtide ja pindade soojustakistuste summeerimisel piirdetarindi kogu soojustakistus,
- arvutatakse piirde soojusjuhtivus, mida korrigeeritakse, arvestades mehhaaniliste kinnitite mõju, sademete mõju pööratud katusele, soojustuse õhujuhtivuse mõju ja külmasildade mõju

Materjali soojustakistuse R [$\text{m}^2\text{K/W}$] leidmiseks on kasutatud valemit (1) [5].

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

kus

R – soojustakistus $\text{m}^2\text{K/W}$;

d – materjali paksus m ;

λ_d – materjali soojuseri juhtivus W/mK .

Tarindi kogusoojustakistuse R_T [$\text{m}^2\text{K/W}$] leidmiseks on kasutatud valemit (2) [5].

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

kus

R_{si} – piirde sisepinna soojustakistus $\text{m}^2\text{K/W}$;

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

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

Tarindi soojusjuhtivuse U [$\text{W/m}^2\text{K}$] leidmiseks on kasutatud valemit (3) [5].

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

kus

R_T - tarindi kogusoojustakistus $\text{m}^2\text{K/W}$.

Vastavalt standardikohasele arvutusmetoodikale saadi keldriseintele järgnevad tulemused:

- 650 mm krohviga kaetud paekivist keldri küljeseina soojusjuhtivus saadi $U=1,55 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- 550 mm krohviga kaetud paekivist keldri otsaseina soojusjuhtivus saadi $U=1,74 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Hoone silikaattellisest seinte soojusjuhtivused vastavalt standardikohasele metoodikale:

- 560 mm silikaattellisest krohviga kaetud tänavapoolne küljesein $U=1,55 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- 540 mm viimistlemata silikaattellisest hoovipoolne küljesein $U=1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- 420 mm silikaattellisest krohviga kaetud otsasein $U=1,89 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.1.2. Vahelaed ja katus

Vahelagede ja katuse soojusjuhtivuse arvutamisel on kasutatud EVS 908-1:2010 [5] kohast metoodikat ja valemeid (1), (2) ja (3) [5]. Arvutused on sisestatud simulatsiooniprogrammi IDA ICE. Materjalide soojuseri juhtivustena kasutati lisas 1 toodud väärtusi.

- keldrilae 220 mm õõnespaneel koos 50 mm ehitusaegse mineraalvilla ja põrandakattega soojusjuhtivus saadi $U=1,08 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- pööningu põranda 220 mm õõnespaneel koos 200 mm ehitusaegse šlakkbetoonist soojustusega soojusjuhtivus saadi $U=0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- eterniidist soojustamata katuse soojusjuhtivus saadi $U=5,78 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Pinnasel oleva monoliitsest betoonist keldri põranda soojusjuhtivus arvutamise metoodikana on kasutatud EVS-EN ISO 13370:2008 [6]. Arvutused koostati simulatsiooniprogrammiga IDA ICE.

- keldripõranda monoliitbetoon 100 mm soojusjuhtivus saadi $U=4,37 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.1.3. Avatäited

Elamu akendest 19% on ehitusaegsed puitraamidel aknad ning 81% on erinevatel aegadel omanike poolt vahetatud PVC raamidega pakettaknad. Hoone akende soojusjuhtivuse määramisel on käesoleva töö autor lähtunud energiaauditis ja hoone renoveerimisprojekti antud hinnangutest.

- Puitraamidega ehitusaegsete akende kombineeritud soojusjuhtivus on võetud $U=3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ [3];
- PVC raamidega akende kombineeritud soojusjuhtivus on võetud $U=2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ [1];
- Välisuste soojusjuhtivus on võetud $U=3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.1.4. Soojusjuhtivuste võrdlus energიაauditis esitatutega

Hoone renoveerimiseelsete soojusjuhtivuste võrdlus käesoleva töö autori ja energიაauditis antud hinnanguliste väärtustega on toodud (Tabel 2).

Tabel 2

Tarindite soojusjuhtivuste võrdlus [3]

Tarind	Käesoleva töö tulemus $U, \text{W/m}^2\text{K}$	Energიაauditis kasutatud hinnanguline $U, \text{W/m}^2\text{K}$
Keldri küljesein	1,55	1,86
Keldri otsasein	1,74	1,86
Välissein (tänavapoolne külgmine)	1,55	0,89
Välissein (hoovipoolne külgmine)	1,61	0,89
Välissein (otsasein)	1,89	1,05
Keldri lagi	1,08	0,97
Pööningu põrand	0,89	0,89
Varemvahetatud PVC aknad	2,10	1,70
Ehitusaegsed puitraamidel aknad	3,00	3,00

3.2. Soojuskadude arvutamise alused läbi külmasildade

Käesolevas peatükis on antud ülevaade külmasildade arvutamise aluseks olevatest andmetest. Kuna energიაauditis ei olnud külmasildade täiendavat soojusjuhtivust eraldi käsitletud, siis puudub võrdlus energიაauditiga.

Hoone külmasildade soojusjuhtivuse määramise aluseks on võetud Tallinna Tehnikaülikooli 2010. a. telliselamute uuring „Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ [7] ning Majandus- ja kommunikatsiooniministri 08.10.2012 määrus nr. 63 Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika [9].

Tabel 3

Arvutustes kasutatud külmasildade lisajuhtivuse väärtused [7] [9]

Külmasilla asukoht	Joonkülmasilla lisajuhtivus ψ, W/mK
Välisseina välisnurk	0,29
Välisseina ja siseseina liitekoht	0,00
Välisseina ja vahelae (sh. keldri vahelae) liitekoht	0,01
Katuse ja välisseina liitekoht	0,58
Põrand-pinnase ja välisseina liitekoht	0,4
Akna liitumine välisseinaga	0,49
Ukse liitumine välisseinaga	0,49

3.3. Soojuskadude arvutamise alused läbi infiltratsiooni ja ventilatsiooni

Käesolevas peatükis on antud ülevaade infiltratsiooni ja ventilatsiooni arvutamise aluseks olevatest andmetest.

Korterelamu õhuvahetus on renoveerimiseelses olukorras tagatud läbi loomuliku ventilatsiooni. Korterite köökidest ja märgadest ruumidest väljub õhk rõhkude vahe mõjul läbi ventilatsioonilõõride katusele ning kompenseeriv õhk tagatakse tarindite ebatiheduste, akende avamise ning välisseinad paiknevate värskeõhuavade kaudu. [3]

Infiltratsiooni ja ventilatsiooni õhuhulga määramisel on lähtutud energiaauditis toodud renoveerimiseelse olukorra kirjeldustest ning õhuvahetuste mõõtmistest. Energiaauditi kirjelduse alusel ei esine hoones halvast õhuvahetusest tingitud probleeme nagu hallitus ja kondensatsioon [3]. Olenemata sellest, et suurem osa korterite aknaid on vahetatud õhutihedamate PVC akende vastu, võib eeldada, et õhuvahetus on tagatud tarindi ebatihedustest ja värskeõhuavadest.

Tuginedes eelnevale, on õhuvahetusele on antud hinnanguline väärtus, mis sisaldab nii infiltratsiooni kui ka ventilatsiooni. Renoveerimiseelse simulatsiooni koostamise arvutustes kasutatud väärtus on $0,4 \text{ h}^{-1}$.

3.4. Soojuskadude arvutamise alused läbi tehnosüsteemide

Hoone kütte ja soojaveearustuse magistraalide olukord on hinnanguliselt kehv. Küttepüstikute isolatsioon keldris on ehitusaegne, aga kütmata pööningul puudub täielikult. Magistraalide isolatsioon nii keldris kui ka pööningul on täielikult amortiseerunud. [3]

Renoveerimiseelse simulatsiooni arvutustes on arvestatud täiendava soojuskuluga nii keldris kui ka pööningul. Keldrisse on vastavalt ettenähtud soojaveetorustikust lähtuv soojuskadu 3600 kWh/a . Pööningule on arvestatud küttestorustiku jaotustorustikule soojuskadu 25 W/jm kütteperioodi jooksul.

3.5. Hoone arvutuslik soojuserikadu renoveerimiseelselt

Käesolevas peatükis on esitatud hoone renoveerimiseelse olukorra soojuserikadud läbi välispiirete. Kogu soojuserikadu vastavalt arvutusmodelis saadud tulemustele on toodud (Tabel 4).

Tabel 4

Soojuserikadud läbi välispiirete

Tarind	Keskmine soojusjuhtivus U , $\text{W/m}^2\text{K}$	Tarindi pindala A , m^2	Soojuserikadu H , W/K
Maapealsed välisseinad	1,64	609,11	1001,62
Maaalused välisseinad	0,86	65,61	56,26
Pööningu põrand	0,89	176,3	155,34
Trepikoja lagi	3,87	11,26	43,58
Põrand pinnasel	0,55	190,90	105,79
Aknad	2,44	196,48	480,03
Uksed	3,02	7,88	23,80
Külmasillad			335,69
SOOJUSERIKADU KOKKU			2202,12

Pööningu põranda soojuserikadu on korrigeeritud lähtudes soojuskao arvutamisest läbi kütmata ruumi. Selleks on leitud temperatuuri vähendustegur b_u kasutades valemit (4) [9, p. 15].

$$b_u = \frac{\theta_{int} - \theta_u}{\theta_{int} - \theta_e}, \quad (4)$$

kus

θ_{int} – siseruumi temperatuur °C;

θ_u – kütmata ruumi kütteperioodi keskmine temperatuur °C;

θ_e – kütteperioodi keskmine välistemperatuur °C.

Vastavalt arvutustulemusele on $b_u=0,99$

Korrigeeritud pööningupõranda soojuserikadu on leitud kasutades valemit (5) [9, p. 15]

$$H_{T,iue} = A_k \times U_k \times b_u \quad (5)$$

Hoone soojuserikad läbi külmasildade ja akende on toodud allolevates tabelites (Tabel 5)(Tabel 6).

Tabel 5

Soojuserikadu läbi külmasildade

Külmasild	Külmasilla pikkus l, m	Joonkülmasilla indeks ψ , W/mK	Soojuserikadu H, W/K
Välisseina ja vahelae liitekoht	576,91	0,005	2,885
Välisseina ja siseseina liitekoht	107,40	0,00	0,00
Välisseina välisnurk	34,60	0,29	10,04
Akna liitumine välisseinaga, soojustamata aknapale	506,76	0,5	253,38
Välisukse liitumine välisseinaga	20,06	0,5	10,03
Põranda ja välisseina liitekoht	50,45	0,58	29,26
SOOJUSERIKADU LÄBI KÜLMASILDADE KOKKU			335,69

Tabel 6

Soojuserikad läbi akende

Akna suund	Pindala A, m ²	Keskmine soojusjuhtivus U, W/m ² K	Soojuserikadu H, W/K	SHGC
Kirdesse	24,44	2,41	58,89	0,58
Kagusse	89,15	2,52	224,60	0,61
Edelasse	82,89	2,37	196,54	0,58
AKENDE SOOJUSERIKADU KOKKU			463,73	

3.6. Hoone vabasoojuskooormuse leidmise alused

Hoone vabasoojuskooormuse hulka kuulub hoonesse sisenev päikesekiirgus, inimeste, valgustuse ja seadmete ning tehnosüsteemide soojuskaod [9]. Käesolev peatükk käsitleb päikeselt, inimestelt, valgustuselt ning seadmetelt tulenevat vabasoojust.

Korterelamu seadmetest ja valgustusest vabasoojuskooormuse leidmise aluseks on võetud energiaauditist leitud korterelamu 2008. aasta elektritarbimine ning kasutatud määruse nr. 63 [9] põhimõtteid selle jaotamisel valgustuse ning seadmete vahel standardkasutusele. Korterelamu kogu elektritarbimine oli 2008. aastal 31005 kWh [3].

Järgnevalt on toodud hoone elektrienergia jagamise arvutuskäigu kirjeldus.

Vastavalt MKM määrusele nr. 63 on korterelamu maksimaalsed vabasoojuskooormused valgustusele 8 W/m² ja seadmetele 3 W/m². Elamute valgustuse kasutusaste on 0,1 ja seadmetel 0,6. Sellest lähtuvalt on arvatud, et tarbimise 31005 kWh/a korral on V. Reimani 6 korterelamu köetava pinna kohta valgustusele 9,3 W/m² ja seadmetele 5 W/m². [9]

Päikesekiirgusest tuleneva vabasoojuse suurimad mõjutajad on hoone paiknemine ilmakaarte suhtes, akende pindala ning klaaside päikesekaitse võime. Samuti on oluline hoone kõrval paiknevate hoonete mõju ja varjestus. Mudeli koostamisel on arvestatud kõrvalolevate hoonetega, mis avaldavad mõju päikesevalgusest tulenevale vabasoojusele.

Kuna täpne info puudub hoones resideeruvate inimeste arvu kohta siis inimestelt tuleneva vabasoojuse osas on lähtutud MKM määruses nr. 63 toodud maksimaalsest näitajast 28,3 m²/in. [9]

Hoone seadmetest ja inimestest tuleneva vabasoojuse hulka on vähendatud täiendava 30% võrra, kuna vastavalt energiasimulatsiooni tulemustele ei ole võimalik utiliseerida kogu arvutatud vabasoojust.

3.7. Hoone arvutuslik tarnitud energia renoveerimiseelselt

Korterelamu arvutusliku tarnitud energia saamiseks on koostatud arvutused energiasimulatsiooni programmiga IDA ICE. Arvutuste aluseks on energiaarvutuse baasaasta, mis on sisekliima- ja energiaarvutuseks koostatud väliskliima andmete kogum, mis põhineb üle-eestilistel kliimaandmetel ajavahemikus 1970–2000 ja on koostatud vastavalt Eesti standardile EVS-EN ISO 15927–4:2005. [9]

Käesoleva hoone arvutustel on kasutatud hoone elektritarbimise ja veetarbimise osas 2008. aasta reaalseid tarbimisandmeid, mis on saadud energiaauditist.

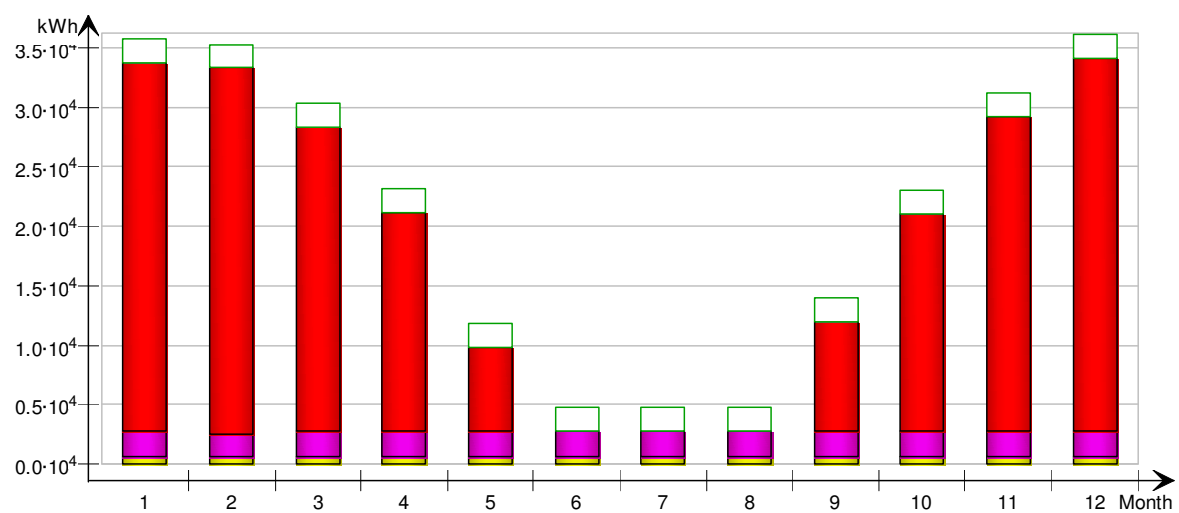
Vastavalt arvutustulemustele on hoone renoveerimiseelne tarnitud energia esitatud allolevas tabelis (Tabel 7).

Tabel 7

Arvutuslikud tarnitud energia kogused

Energiakasutus	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m²)	Soojus kWh/(a m²)
Küte		198 752		220,49
Tarbevee soojendamine		25 312		28,08
Valgustus	7 367		8,17	
Seadmed	23 870		26,48	
KOKKU	31 237	224 064	34,65	248,57

Tarnitud energia kuude lõikes on toodud joonisel (Joonis 2).



Joonis 2. Tarnitud energia kuude lõikes

4. RENOVEERIMISPROJEKTIGA KAVANDATUD LAHENDUSTE KIRJELDUS

V. Reimani tn 6 korterelamule koostas aastal 2012 EA Reng AS ja Inseneribüroo Aksiaal OÜ renoveerimisprojekti. Renoveerimisprojektiga taotles korteriühistu Krediidi ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutuselt KredEx (KredEx) 35% renoveerimistoetust teostatavatele töödele. Renoveerimisprojekti koostamise lähteandmeteks olid korterelamule koostatud energiaaudit [3] ja KredEx-i projekteerimise lähteülesanne.

35% toetuse saamise tingimused tulenevad Majandus- ja kommunikatsiooniministri 17.08.2010 määrusest nr 52 Rohelise investeerimiskeemi „Korterelamute rekonstrueerimise toetus“ kasutamise tingimused ja kord. Järgnevate tingimuste kohaselt peab taotleja [11]:

- täitma korterelamu rekonstrueerimisel renoveerimislaenu saamiseks esitatavaid nõuded ja energიაuditi soovitusi ning saavutama korterelamu rekonstrueerimisega vähemalt 50% säästu soojusenergia tarbimiselt. Rekonstrueerimistööde teostamisega tuleb tagada hoones sisekliima vastavus standardi EVS-EN 15251 nõuetele ja energiamärgise klass C (energiatõhususarv $150\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$);
- rekonstrueerima korterelamu küttesüsteemi vähemalt korteripõhiselt reguleeritavana ja paigaldama radiaatoritele küttekulude allokaatorid või seadmed, mis võimaldaksid jaotada kütte energiatarbimist korterite kaupa. Termostaatseadmed peavad olema varustatud piirajatega, mis ei võimalda tahtlikult langetada korteri temperatuuri alla 16 kraadi. Mis tahes osapoolel on keelatud viidatud piirajaid eemaldada või nende seadeid muuta;
- soojustama ja rekonstrueerima korterelamu välisseinad osaliselt või täies mahus soojusjuhtivuse taotlustasemega $U \leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, kusjuures lõplik soojusjuhtivuse suurus tuleneb vajalikust energiasäästust ja taotletavast energiatõhususarvust. Fassaad võib olla vähem soojustatud või soojustamata, kui kohalik omavalitsus on motiveeritult keelanud välisseinte lisasoojustamiseks kultuuriväärtuse ja miljööväärtuse kaitse kaalutlustel. Sellisel juhul tuleb nõutav energiasäästu määr tagada teiste rekonstrueerimistöödega;

- vahetama kõik projekti alustamise hetkel vahetamata aknad energiasäästlike akende vastu, mille avatäite kompleksne soojusjuhtivus paigaldatuna on $U \leq 1,10 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ning paigaldama need soovituslikult soojustuse tasapinda või olema korterelamu kõik aknad eelnevalt vahetanud soojapidavamate akende vastu. Aknad võib jätta uute vastu vahetamata, kui kohalik omavalitsus ei ole andnud luba akende vahetamiseks kultuuriväärtuse ja miljööväärtuse kaitse kaalutlustel. Sellisel juhul tuleb nõutav energiasäästu määr tagada akende renoveerimisega (näiteks klaaside vahetamisega, klaaspaketi paigaldamisega ja tihendamisega) või teiste rekonstrueerimistöödega. Aknad, mis ei mõjuta hoone energiakulu, võib jätta vahetamata;
- soojustama ja rekonstrueerima korterelamu katuse (soojusjuhtivuse taotlustasemega $U \leq 0,15 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, kusjuures lõplik soojustuse paksus tuleneb vajalikust energiasäästust ja taotletavast energiatõhususarvust);
- paigaldama korterelamusse soojatagastusega ventilatsioonisüsteemi, mis teenindab kõiki eluruume.

Täpsustatud tingimused V. Reimani tn 6 korterelamu projekteerimiseks on antud KredEx-i lähteülesandes.

4.1. Renoveerimisprojekti piirdetarindite kirjeldus

Antud peatükis on kirjeldatud renoveerimisprojektiga ettenähtud välistarindite soojustuslahendusi. Soojusjuhtivuse näitajad on arvutatud käesoleva töö autori poolt üle, kuna olemasolevate konstruktsioonide kohta on tehtud erinevad eeldused renoveerimisprojektis ja käesolevas töös. Renoveerimisprojekti seinte soojusjuhtivuste aluseks on võetud energiaauditis antud väärtused. Peatüki lõpus on toodud võrdlus käesoleva töö autori poolt arvutatud tulemuste ja renoveerimisprojektis antud tulemuste vahel. Renoveerimisprojektiga liideti köetava pinnana osa keldrist, mis tulevikus võidakse kasutusse võtta. Renoveerimisprojekti järgne köetav pind on $939,4 \text{ m}^2$.

4.1.1. Seinad

Projekteeritud lahenduse järgi on paekivist keldriseinale ette nähtud soojustus maapinnapealsel osal. Soojustusmaterjaliks on EPS120 perimeeter, mis on kaetud krohviga [1]. Vastavalt ptk. 3.1.1 toodud arvutusmetoodikale on leitud järgnevad soojusjuhtivused:

- 650 mm paekivist keldri küljesein koos 100 mm EPS120 Perimeeter soojustusega $U=0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- 550 mm paekivist keldri otsasein koos 100 mm EPS120 soojustusega $U=0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Renoveerimisprojekti järgne välisseinte lahendus on ette nähtud 100mm soojustusega EPS60 Silver, mis kaetakse krohviga [1]. Soojusjuhtivused vastavalt ptk. 3.1.1 toodud metoodikale on järgnevad:

- 560 mm täissilikaattellisest tänavapoolne küljesein soojustatud 100mm EPS60 Silver $U=0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- 540 mm täissilikaattellisest hoovipoolne küljesein soojustatud 100mm EPS60 Silver $U=0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- 420 mm täissilikaattellisest otsasein koos 100mm EPS60 Silver soojustusega $U=0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.1.2. Vahelaed ja katus

Renoveerimisprojektiga projekteeriti täiendav soojustus keldrilaele 100 mm mineraalvilla ja pööningupõrandale 250 mm puistevilla. [1] Soojusjuhtivused vastavalt ptk. 3.1.1 toodud metoodikale on järgnevad:

- keldrilae 220 mm õõnespaneel koos 50 mm ehitusaegse mineraalvilla ja põrandakattega ja täiendava 100 mm mineraalvillast soojustusega soojusjuhtivus saadi $U=0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- pööningu põranda 220 mm õõnespaneel koos 250 mm villaplaatidega soojusjuhtivus saadi $U=0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trepikoja lae betoonpaneeli soojustamisel 250mm villaplaatidega soojusjuhtivus saadi $U=0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- katusele soojustustöid ette ei nähtud.

4.1.3. Avatäited

Renoveerimisprojektiga kavandati 19% ehitusaegsete puitraamidelt olevate akende vahetus energiasäästlike akende vastu. [1]

- projekteeritud puitraamidel 3-kordse klaaspaketiga akna kombineeritud soojusjuhtivuseks on võetud $U=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- projekteeritud keldriuste soojusjuhtivuseks on arvutustes võetud $U=2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.2. Renoveerimisprojektiga projekteeritud tehnosüsteemid

Renoveerimisprojektiga lahendati korterelamu kütte, ventilatsiooni, üldise veevarustuse ja kanalisatsiooni süsteemid. All olevates alapeatükkides antakse ülevaade projekteeritud lahenduste põhimõtetest.

4.2.1. Hoone soojussõlm ja küttesüsteem

Projektiga on ette nähtud täisautomaatne soojussõlm hoone keldrikorrusel paiknevasse soojussõlme ruumi. [11]

Soojusvõrgu torustikule paigaldatakse soojussõlme ette keevitatavad kuulkraanid (PN16 bar), diferentsiaalrõhu regulaator ja üldsoojusmõõtja. Täiendav soojusmõõtja on ette nähtud sooja tarbevee valmistamiseks kuluva soojushulga mõõtmiseks. Eraldi plaatsoojusvahetid on ette nähtud soojale tarbeveele ja küttele. Soojuskandjaks soojusvarustussüsteemis on vesi. [11]

Projektiga on ette nähtud paigalda uus vesikeskkütte süsteem [11].

Hoone kütmine toimub sõltuvalt ruumide otstarbest järgnevalt [11]:

- Kahetoru süsteemiga radiaatorküte vee baasil eelseadistavate reguleerimisventiilidega ja termostaatpeadega terves hoones v.a trepikodades.
- Kahetoru süsteemiga radiaatorküte vee baasil eelseadistavate reguleerimisventiilidega ilma termostaatpeadeta trepikodades.

Soojussõlme ruumi paigaldatakse soojuspump. Hoone ruumidest väljatõmmatava õhu abil soojendatakse hoone pööningul olevat patareid (soojusvahetit). Patareisse üleantav soojushulk transporditakse soojussõlme ruumi vahesoojuskandja (etüleen-glükool 30% vesilahus) abil terasest torustikus. Torustik ühendab keldris asuvat soojuspumpa ja pööningul paiknevat patareid. Torustiku vertikaalosa asetseb hoone välisfassaadil ning on kaetud soojustusega (ntks.mineraalvill) ning plekkümbrisega. Soojuspumpa kasutatakse tarbevee soojendamiseks ning vajadusel ka küttesüsteemi tagastuva vee soojendamiseks. Soojussõlme ruumi paigaldatakse 2 soojavee mahtboilerit. Soojuspumba soojusväljastus on ligikaudu 10 kW. Soojuspump on varustatud vesi-glükooli-poole ning ka vee-poole tsirkulatsioonipumpadega. Kui soojuspumba komplektis olev vesi-glükooli-poole

ringluspump ei suuda tagada põhimõttelisel skeemil antud tööpunkti, siis tuleb see asendada. Soojuspumba põhiülesanne on valmistada mahtboileritesse sooja vett. Sooja vee soojendamise vajaduse puudumise korral soojendatakse küttevee tagastuvat vett. [11]

4.2.2. Ventilatsioon

Hoone ventilatsiooni projekti aluseks on KredEx-i lähteülesandest tulenevad ning standardile EVS-EN 15251:2007 [13] vastavad nõuded.

Projekteeritud lahendusega on ette nähtud 1.-5. korrusel korterites olemasolevatest lõõridest mehaaniline väljatõmme ja kompensatsiooniõhk saadakse värskeõhuklappide kaudu. Lõõridele paigaldatakse vannitubades ja köökides väljatõmbe plafoonid. [11]

Pööningule paigaldatakse väljatõmbe filtri, mürasummutaja ja soojusvahetiga varustatud seade ning väljatõmbeventilaator. [11]

Keldris lahendatakse õhuvahetus loomuliku ventilatsiooni teel. Olemasolevatest lõõridest toimub loomulik väljatõmme ja kompensatsiooniõhk saadakse värskeõhuklappide kaudu.

Trepikojas paigaldatakse 5. korrusel loomuliku ventilatsiooni plafoon. [11]

Hoone projektijärgsete energiaarvutuste aluseks on võetud õhuvahetuse määr $0,35 \text{ l}/(\text{sm}^2)$, mis vastab III sisekliima klassile. [12]

4.2.3. Veevarustus ja kanalisatsioon

Hoone renoveerimisprojektiga nähti ette magistraaltorustike vahetus kuni korterite sisenditeni. Soojaveetorustikele on ette nähtud nõuetekohane isolatsioon.

5. RENOVEERIMISPROJEKTI ALUSEL MUDELSIMULATSIOONI KOOSTAMINE

Renoveerimisprojekti alusel tehtud mudelsimulatsiooni arvutused on koostatud samadel alustel, mida on eelnevalt kirjeldatud renoveerimiseelses situatsioonis. Käesoleva töö ühe eesmärgi täitmiseks, mis on projekteeritud ja välja ehitatud lahenduste võrdlus, on vajalik renoveerimisprojekti toodud lahenduste tulemuste arvutamine ja analüüs. Antud töö koostamise jooksul on käesoleva töö autor kasutanud projektis toodud näitajatest erinevaid näitajaid. Kuna projektis olevad lähteandmed on osaliselt tuvastamata, on käesoleva töö autor kasutanud endale saadaolevate materjalide andmeid, mis ühtlasi on muutnud ka arvutustulemusi, millest lähtuti renoveerimisprojekti alusel tehtud energiaarvutustes.

5.1. Soojuskadude arvutamise alused läbi piirdetarindite

Renoveerimisprojekti järgsete piirdetarindite kirjeldus on toodud ptk. 4.1.

Soojusjuhtivuse võrdlus käesoleva töö autori poolt arvutatu ning renoveerimisprojekti kasutatud väärtustega on toodud allolevas tabelis (Tabel 8).

Tabel 8

Tarindite soojusjuhtivuste võrdlus [1]

Tarind	Käesoleva töö tulemus U, W/m ² K	Renoveerimisprojekti kasutatud U, W/m ² K
Keldri küljesein	0,29	0,27
Keldri otsasein	0,29	0,27
Välissein (tänavapoolne külgmine)	0,29	0,24
Välissein (hoovipoolne külgmine)	0,29	0,24
Välissein (otsasein)	0,30	0,24
Keldri lagi	0,28	0,29

Tarind	Käesoleva töö tulemus U, W/m²K	Renoveerimisprojektis kasutatud U, W/m²K
Pööningu põrand	0,14	0,14
Varemvaetatud PVC aknad	2,10	2,10
Projekteeritud puitraamidel aknad	1,10	1,10

Vastavalt toodud soojusjuhtivuste võrdlusele tuleb välja, et suurim erinevus käesoleva töö autori ja renoveerimisprojekti tulemuste vahel on välisseinte soojusjuhtivuses. Vastavalt renoveerimisprojekti seletuskirjas kirjeldatule on projekteerija lähtunud energiaauditis esitatud väärtustest. Käesoleva töö autor lähtus olemasolevate konstruktsioonide määratlemisel hoone algsest ehitusprojektist.

5.2. Soojuskadude arvutamise alused läbi külmasildade

Antud peatüki all on kirjeldatud töö autori energiasimulatsioonides kasutatud lähteandmeid külmasildadest tulenevate soojuskadude arvutamiseks ning võrreldud neid renoveerimisprojektis toodud näitajatega. Käesoleva töö autor on külmasildade lisajuhtivuse näitajate määramisel lähtunud telliselamute uuringust [7].

Tabel 9

Külmasildade lisajuhtivuse näitajad [7], [11]

Külmasilla asukoht	Joonkülmasilla lisajuhtivus käesolevas töös kasutatud ψ, W/mK	Joonkülmasilla lisajuhtivus renoveerimisprojektis kasutatud ψ, W/mK
Välisseina välisnurk	0,17	0,08
Välisseina ja siseseina liitekoht	0,00	Puudub
Välisseina ja vahelae (sh. keldri vahelae) liitekoht	0,00	Puudub
Katuse ja välisseina liitekoht	0,4	0,09
Põrand-pinnase ja välisseina liitekoht	0,4	0,15
Akna liitumine välisseinaga	0,11	Puudub
Ukse liitumine välisseinaga	0,49	Puudub

5.3. Soojuskadude arvutamise alused läbi infiltratsiooni

Antud peatüki all on kirjeldatud töö autori energiasimulatsioonides kasutatud lähteandmeid infiltratsioonist tulenevate soojuskadude arvutamiseks ning näidatud vastav arvutuskäik. Lisaks on võrreldud neid renoveerimisprojekti toodud näitajatega.

Hoone infiltratsiooni määramisel on käesoleva töö autor lähtunud MKM määruses nr. 63 toodud arvutusjuhise. Infiltratsiooni õhuhulk hoone välistarindi m² kohta on määratud kasutades valemit (6) [9].

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

kus

q_i - infiltratsiooni õhuvooluhulk l/sm²;

q_{50} - hoone piirete keskmine õhulekkearv m³/(hm²);

x - tegur on on viie ja enamakorruselistel hoonetel 15;

3,6 - tegur, mis teisendab õhuvooluhulga m³/h ühikust l/s ühikuks.

Käesoleva töö autor on vastavalt saadud tulemustele kasutanud mudelsimulatsiooni arvutustes näitajat 0,11 l/sm².

Renoveerimisprojekti on kasutatud energiaarvutuste koostamisel näitajat 0,14 l/sm², kuid ei ole näidatud arvutuskäiku selle numbrini jõudmiseks [11].

5.4. Soojuskadude arvutamise alused läbi tehnosüsteemide

Antud peatüki all on kirjeldatud töö autori energiasimulatsioonides kasutatud lähteandmeid tehnosüsteemidest tulenevate soojuskadude arvutamiseks.

Töö autor on antud lähteandmete osas lähtunud MKM määruses nr. 63 toodud juhistest. Küttesüsteemi kasuteguriga võetakse arvesse kaod soojusallikas (näiteks katla või kaugkütte soojusvaheti kaod), samuti soojuse jaotamisel ja väljastamisel ning ruumitemperatuuri reguleerimise ebatäpsusest tulenevad kaod. [9]

Hoone radiaatorite keskküttesüsteemi kasutegur on 0,97 [9].

5.5. Hoone arvutuslik soojuserikadu

Käesolevas peatükis on esitatud töö autori koostatud mudelsimulatsioonist saadud tulemused hoone soojuserikaole ja antud ka võrdlus renoveerimisprojekti toodud väärtustega. Kogu hoone soojuserikadu on antud (Tabel 10).

Tabel 10

Soojuserikadu vastavalt renoveerimisprojekti lahendustele

Tarind	Keskmine soojusjuhtivus U, W/m²K	Tarindi pindala A, m²	Soojuserikadu H, W/K
Maapealsed välisseinad	0,39	610,91	239,30
Maaalused välisseinad	0,27	65,61	17,57
Pööningu põrand	0,14	176,3	24,44
Trepikoja lagi	0,14	11,26	1,58
Põrand pinnasel	0,54	190,90	103,32
Aknad	1,89	196,48	371,56
Uksed	1,99	6,08	12,09
Külmasillad			109,70
SOOJUSERIKADU KOKKU			879,66

Hoone külmasildadest ja akendest tulenevad soojuserikaod on eraldi välja toodud allolevates tabelites (Tabel 11) (Tabel 12).

Tabel 11

Soojuserikaod läbi külmasildade

Külmasild	Külmasilla pikkus l, m	Joonkülmasilla indeks ψ, W/mK	Soojuserikadu H, W/K
Välisseina ja vahelae liitekoht	576,91	0,00	0,00
Välisseina ja siseseina liitekoht	107,40	0,00	0,00
Välisseina välisnurk	34,60	0,17	5,88

Külmasild	Külmasilla pikkus l, m	Joonkülmasilla indeks ψ , W/mK	Soojuserikadu H, W/K
Akna liitumine välisseinaga, soojustatud aknapale	506,76	0,11	55,74
Välisukse liitumine välisseinaga	14,26	0,5	7,13
Põranda ja välisseina liitekoht	50,45	0,4	20,18
SOOJUSERIKADU LÄBI KÜLMASILDADE KOKKU			109,70

Tabel 12

Soojuserikaod läbi akende

Akna suund	Pindala A, m ²	Keskmine soojusjuhtivus U, W/m ² K	Soojuserikadu H, W/K	g
Kirdesse	24,44	1,87	45,68	0,54
Kagusse	89,15	2,01	170,59	0,54
Edelasse	82,89	2,00	155,29	0,54
AKENDE SOOJUSERIKADU KOKKU			371,56	

5.6. Hoone vabasoojuse arvutamise alused

Antud peatükis on kirjeldatud mudelsimulatsioonis aluseks võetud vabasoojuse lähteandmeid. Samuti on võrreldud töö autori andmeid renoveerimisprojekti energiaarvutustest lähtuvatega.

Käesoleva töö autor kasutas hoone simuleerimise vabakoormuse määramisel samu aluseid, mis on kirjeldatud peatükis 3.6. Aluseks on võetud 2008 aasta elektritarbimine ning jagatud see vastavalt juhiste valgustuse ning seadmete vahel lähtudes standardkasutuse põhimõtetest.

5.7. Hoone arvutuslik tarnitud energia

Soojuspumbaga toodetud tarbevee ja kütteenergia arvutatakse väljatõmmatavast ventilatsiooniõhust ning lahutatakse hoone tarbevee soojendamiseks ja kütteks vajaminevast soojusenergiast.

Arvutuskäik on esitatud järgnevalt. Väljatõmmatavast õhust saadav soojusenergia hulk on leitud valemiga (7) [9].

$$Q_{vent} = L \times c \times \rho \times (t_1 - t_2), \quad (7)$$

kus

Q_{vent} - väljatõmmatava õhu maksimaalne soojusväljastus W;

L - väljatõmmatava õhu hulk 0,33 m³/s;

c - õhu erisoojus 1005 J/(kg*K);

ρ - õhu tihedus 1,2 kg/m³;

t_1 - väljatõmmatava õhu temperatuur enne soojusvahetit, mis on võetud +20°C;

t_2 - väljatõmmatava õhu temperatuur peale soojusvahetit, mis on võetud +3°C.

Vastavalt arvutustulemustele on väljatõmmatavast õhust saadav maksimaalne soojuse hulk 6765,7 W.

Leitud soojuse hulk korrutatakse ühe kuu tundidega ja saadakse soojusenergia väljastus ühes kuus 5034 kWh. Aastane soojushulk sellest lähtuvalt on 60408 kWh.

Väljatõmmatavast õhust soojuse tagastust saab aasta lõikes kasutada 5 kuud tarbevee soojendamiseks ja 7 kuud tarbevee soojendamiseks ning kütteks. Sellest lähtuvalt on väljaarvestatud hoone ühe kuu keskmine soojavee soojendamiseks kuluv energia ja leitud viie kuu soojusenergia, mida saab kasutada tagastuvast soojusest, mis on 9123 kWh. Seega viie kuu maksimaalsest soojusest jääb kasutamata 16047 kWh.

Soojuspumbaga toodetav maksimaalne soojushulk on seega 44361 kWh/a $\approx$ 44,4 MWh/a, mis jaguneb 21785 kWh/a $\approx$ 21,8MWh/a tarbevee soojendamisele ja 22576 kWh/a $\approx$ 22,6 MWh/a küttele.

Soojuspumba elektritarbimise arvutamise jaoks võetakse aluseks toodetud soojushulk ja soojuspumba soojustegur (COP). Antud arvutustes on kasutatud COP väärtust 3,0, mille määramisel on lähtutud rekonstrueeritud korterelamute sisekliima uuringus toodud põhjendustest [13].

Soojuspumba elektritarbimine on 14787 kWh $\approx$ 14,8 MWh/a.

Renoveerimisprojekti lahenduste alusel koostatud tarnitud energia arvutuste tulemused on toodud

Tabel 13

Arvutuslikud tarnitud energia kogused

Energiakasutus	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)
Küte	7 525	91 531	8,01	97,44
Tarbevee soojendamine	7 262		7,73	
Valgustus	7 453		7,93	
Seadmed	25 313		26,94	
KOKKU	47 551	91 531	50,61	97,44

6. HOONE RENOVEERIMISJÄRGNE KIRJELDUS

V. Reimani 6 korterelamule teostati kompleksne renoveerimine aastal 2013. Korterelamu renoveerimise aluseks oli EA Reng AS ja Inseneribüroo Aksiaal OÜ poolt koostatud renoveerimisprojekt. Renoveerimistööde käigus soojustati hoone välispiirded koos keldrilae ja pööningu põrandaga, vahetati välja ehitusaegsed puitraamid aknad ja amortiseerunud keldriuksed, vahetati soojussõlm ja ehitati välja uus kahetoru keskküttesüsteem ning paigaldati soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Võrreldes renoveerimisprojektiga tehti ehitustööde käigus varemprojekteeritud lahendustes muudatusi piirete soojustamisel ning ventilatsioonilahenduse osas. Hoone energiaeritavimise arvutamisel on renoveerimisjärgselt aluseks võetud hoone algne köetav pind ilma renoveerimisprojektiga lisandunud keldri osata, sest kelder ei ole täistemperatuuriga köetav.

6.1. Muudatused piirete soojustamisel

Renoveerimistööde ehituspakkumise käigus otsustas korteriühistu koostöös ehitustöövõtjaga, et pööningu põrandale paigaldatakse 250mm villaplaatide asemel 300mm puistevilla. [15]

Vastavalt piirete soojusjuhtivuse arvutamise metoodikale on pööningupõranda soojusjuhtivus $U=0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

6.2. Muudatused ventilatsioonisüsteemiga

Hoone renoveerimisprojektis oli kavandatud väljatõmbeõhust soojuspumbaga ventilatsioon koos värskõhuklappidega. Renoveerimistööde ehituspakkumise käigus otsustas korteriühistu muuta projekteeritud soojuspumbaga ventilatsioonisüsteemi regeneratiivsete soojustagastitega varustatud ruumipõhiste ventilatsiooniseadmete vastu. Lisaks on köögist ja pesuruumidest ette nähtud niiskusanduriga väljatõmbeventilaatorid, mis on ilma soojustagastuseta. [16]

Vastavalt usutlusest korteriühistu liikmega selgus, et korteriühistu jaoks oli selle muudatuse tegemiseks mitmed põhjused, nagu soojuspumbaga süsteemi keerukus ja varasemate reaalselt töötavate süsteemide puudumine. Ruumipõhise lahenduse kasuks rääkis korteriühistu jaoks see, et

ruumi puhutakse eelsoojendatud õhku, mis väikeste tubade korral annab parema soojusliku mugavuse tunde.

Hoone renoveerimisjärgse olukorra energiasimulatsiooni koostamisel on aluseks võetud ventilatsioonisüsteemi tootja poolt antud parameetrid ventilaatorite võimsuse ja rõhutõste osas. Süsteemi tootja lubab antud lahendusele soojustagastust ca. 60%. Samas on osa õhuvahetusest tagatud läbi märgade ruumide ventilaatorite, mis soojustagastust ei anna. Käesoleva töö autor on arvutustes vähendanud süsteemi soojustagastust 30%-ni ja määranud õhuvahetuseks $0,3 \text{ l}/(\text{sm}^2)$, mis tuleneb uuringus „Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele“ esitatud arvutustele ning põhjendustele. [13, p. 53].

6.3. Hoone arvutuslik soojuserikadu renoveerimisjärgselt

Käesolevas peatükis on toodud arvutuslikud soojuserikad renoveerimisjärgsele lahendusele. Hoone kogu soojuserikadu läbi välispiirete on välja toodud vt. (Tabel 14).

Tabel 14

Arvutuslik soojuserikadu renoveerimisjärgselt

Tarind	Keskmine soojusjuhtivus U, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	Tarindi pindala A, m^2	Soojuserikadu H, W/K
Maapealsed välisseinad	0,39	610,91	239,05
Maaalused välisseinad	0,27	65,61	17,53
Pööningu põrand	0,13	176,3	22,69
Trepikoja lagi	0,13	11,26	1,46
Põrand pinnasel	0,54	190,90	103,09
Aknad	1,89	196,48	371,56
Uksed	1,99	6,08	12,09
Külmasillad			109,70
SOOJUSERIKADU KOKKU			877,17

Hoone renoveerimisjärgsed soojuskaod läbi külmasildade ja akende on toodud allolevates tabelites (Tabel 15)(Tabel 16).

Tabel 15

Soojuserikaod läbi külmasildade

Külmasild	Külmasilla pikkus l, m	Joonkülmasilla indeks ψ , W/mK	Soojuserikadu H, W/K
Välisseina ja vahelae liitekoht	576,91	0,00	0,00
Välisseina ja siseseina liitekoht	107,40	0,00	0,00
Välisseina välisnurk	34,60	0,17	5,88
Akna liitumine välisseinaga, soojustatud aknapale	506,76	0,11	55,74
Välisukse liitumine välisseinaga	14,26	0,5	7,13
Põranda ja välisseina liitekoht	50,45	0,4	20,18
SOOJUSERIKADU LÄBI KÜLMASILDADE KOKKU			109,70

Tabel 16

Soojuserikaod läbi akende

Akna suund	Pindala A, m ²	Keskmine soojusjuhtivus U, W/m ² K	Soojuserikadu H, W/K	SHGC g
Kirdesse	24,44	1,87	45,68	0,54
Kagusse	89,15	2,01	170,59	0,54
Edelasse	82,89	2,00	155,29	0,54
AKENDE SOOJUSERIKADU KOKKU			371,56	

6.4. Hoone arvutuslik tarnitud energia renoveerimisjärgselt

Hoone arvutuslikud tarnitud energia kogused renoveerimisjärgselt on välja toodud allolevas tabelis (Tabel 17). Hoone energiaeritarbimine köetava ruutmeetri kohta on renoveerimisjärgses mudelis

arvutatud hoone algse köetava pinna 901,4 m² kohta, kuna kelder ei ole kasutusel ja seal hoitakse kütmistemperatuurist madalamat temperatuuri.

Tabel 17

Arvutuslikud tarnitud energia kogused

Energiakasutus	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m²)	Soojus kWh/(a m²)
Küte		101 082		112,14
Tarbevee soojendamine		23 126		25,66
Valgustus	7 452		8,26	
Seadmed	24 861		27,58	
KOKKU	32 313	124 208	35,84	137,80

7. ENERGIASIMULATSIOONIDE VÕRDLUSED JA JÄRELDUSED

7.1. Renoveerimiseelse olukorra võrdlus energiasimulatsiooniga

Hoone renoveerimiseelse olukorra simuleerimise aluseks on energiaauditis toodud andmed ja käesoleva töö autori poolt täpsustatud andmed. Järgnevalt on võrreldud energiaauditis toodud soojuskadusid ja käesoleva töö autori saadud tulemusi mudelsimulatsioonist. Ühtlasi on võrreldud mudelsimulatsiooni alusel saadud tarnitud energia koguseid aastal 2008 mõõdetud soojusenergiaga. Hoone tarbimisandmed kuude kaupa on toodud lisas 2. Korterelamu 2008 aasta soojusenergia tarbimine oli 195,67 MWh/a, mis vastavalt energiaauditis toodud arvutustele jagunes 170,54 MWh/a kütteenergia ja 25,12 MWh/a tarbevee soojendamise. Taandades 2008 aasta kütetarbimise normaalaastale, saadakse tulemuseks 201,24 MWh/a kütteenergiale ja kogu soojuse tarbimine vastavalt 226,36 MWh/a. Soojuseritarbimine köetava pinna m² kohta on 251,12 kWh/(m²a).

Tarbevee soojendamise kulu on arvutuslik ja arvestab ka soojuskadusid [3]. Käesoleva töö autor on võtnud energiasimulatsioonides aluseks energiaauditis toodud 2008 aasta sooja vee kulu 295 l/(m²a).

Renoveerimiseelse olukorra simuleerimisel on autori poolt saadud tulemuseks 224,05 MWh/a, mis jaguneb 198,75 MWh/a küttele ja 25,3 MWh/a tarbevee soojendamiseks. Soojuseritarbimine köetava pinna kohta on 248,57 kWh/(m²a) Seega on käesoleva töö autori leitud tulemus reaalse soojuse tarbimisega võrreldav.

Hoonele tehtud renoveerimiseelse energiaauditiga koostati reaalse tarbimise põhjal energiamärgis, mis võeti aluseks tulevaste energiaarvutuste võrdlemisel renoveerimiseelse tarbimisega.

Tabel 18

Energiaauditi ja energiasimulatsiooni soojuskadude võrdlus

Nimetus	Soojuskaod MWh/a	
	Energiaaudit	Renoveerimiseelse olukorra energiasimulatsioon
Välisseinad (sh. keldri ja sokliseinad)	76,6	70,86
Pööningu põrand ja trepikoja lagi	19,5	14,18
Keldri lagi	3,6	-
Keldri põrand	4,4	2,0
Aknad ja uksed	42,4	37,96
Külmasillad	-	25,75
Õhuvahetus	39	33,68
Soe tarbevesi	25,12	25,12
Tsirkulatsiooni soojuskaod	-	14,6
KOKKU	210,6	224,05

Auditis on hoone tarindite soojuskadudes ilmselt arvestatud ka külmasildadest tuleneva soojuskaoga, mistõttu ei ole arvulised väärtused energiasimulatsiooniga omavahel võrreldavad. Täpsemalt ei selgu auditist, mis arvutuskäiku on soojuskadude arvutamisel kasutatud. Samuti ei ole soojusbilansis väljatoodud vabasoojuskoormusi. Hoone kogu soojusbilanss on auditis viidud mõõdetud tarbimisega võrreldavaks. Soojuskadude võrdlusest selgub, et olenemata piirete soojusjuhtivuse väärtuste erinevusest auditi ja käesoleva töö vahel, on auditis toodud soojuskaod läbi välispiirete suuremad, kui mudelsimulatsioonis. Sellest selgub, et soojuskadude alusel ei saa määrata tegelikku, hoone energiakadu mõjutavate, oluliste elementide olukorda.

7.2. Renoveerimisprojekti energiaarvutuste võrdlus energiasimulatsiooniga

Hoonele koostatud renoveerimisprojekti raames tehtud energiaarvutuste tulemused ja nende võrdlus käesoleva töö autori poolt energiasimulatsioonis saadud väärtused on toodud allolevas tabelis Tabel 19). Projekteeritud lahenduste kirjeldus ja energiasimulatsiooni koostamise alused on toodud ptk. 4.

Tabel 19

Arvutusliku tarnitud energia võrdlus

Tarnitud energia	Renoveerimis projekt	Soojuseritarbimine kWh/(m²a)	Antud töö autori mudelsimulatsioon	Kütteritarbimine kWh/(m²a)
Kaugküte	53 928	57,40	91 531	97,44
Elekter (sh. soojuspump)	50 757	54,03	47 553	50,62
KOKKU	104 685	111,43	139 084	148,09
Vabasoojus				
Inimesed	11808		7 711	
Valgustus	6583		5 575	
Seadmed	14 710		8 840	
Päike	69 691		17 837	
KOKKU	102 792		39 963	

Renoveerimisprojekti energiaarvutuste ja käesoleva töö autori koostatud energiasimulatsioonide arvutustulemuste vahe tuleneb tõenäoliselt erinevustest piirete soojusjuhtivuse osas (vt. Tabel 8) ja külmasildade osas (vt. Tabel 9). Renoveerimisprojekti kasutati väljatõmmatavast õhust soojuspumba elektritarbimise arvutamisel kasutegurit 4,0, mis on liialt optimistlik, kui tugineda rekonstrueeritud korterelamute sisekliima uuringule [13]. Ühtlasi tuleb energiatarbimiste võrdlusest välja, et erinevalt on hinnatud hoones utiliseeritavaid vabasoojusi. Renoveerimisprojekti arvutustes on arvutaja võtnud valgustuse, seadmete ja inimeste osas arvesse MKM määruse nr. 63 [9] toodud standardkasutusele vastavad algandmed [11]. Antud töö autor on kasutanud lähteandmetena 2008 aasta mõõdetud elektritarbimist, mis on taandatud standardkasutusele. Tulemuste osas on suurim erinevus päikese valguse utiliseerimise osas. Käesoleva töö autori poolt on tabelis toodud kütteperioodi vabasoojuse näitajad ja võib eeldada, et projektijärgstes arvutustes on toodud aastane päikesevalguse kogus. Samas jääb päikesevalguse osas ka aastases arvestuses sisse märkimisväärne vahe, mis tuleneb ilmselt erinevatest arvutusprogrammidest. Renoveerimisprojekti arvutused on koostatud arvutusprogrammiga BV².

Renoveerimisprojekti alusel on koostatud ka energiaauditi lisa, mis oli aluseks renoveerimisega saavutatava energiasäästu arvutamisel. Saadud tulemust võrreldi hoone renoveerimiseelse tarbimisega. Hoone 2008 aasta tarbimise põhjal koostatud kaalumisteguritega läbikorrutatud aastane energiaerikasutus on 296 kWh/(m²a). Renoveerimisprojektiga saadud samadel alustel tulemus on 133 kWh/(m²a), mis annab säästuväärtuseks 55% ja on kooskõlas KredEx-i poolt nõutud tingimustega renoveerimistööde läbiviimiseks. Käesoleva töö autori samadele alustele viidud kaalutud energiaerikasutus on 173 kWh/(m²a), mis võrrelduna renoveerimiseelse olukorraga annaks ca 42% energiasäästu. Kaalutud energiakasutus on saadud tarnitud energia hulga läbikorrutamisel kaalumisteguritega, mis kaugkütel on 1,0 ja elektril oli aastal 2012 kehtinud Vabariigi Valitsuse määruse nr. 258 "Energiaühenduse miinimumnõuded" järgi 1,5.

7.3. Renoveerimisjärgse olukorra võrdlus energiasimulatsiooniga

Korterelamu renoveerimisjärgse olukorra võrdlemise aluseks on võetud 2014 aasta mõõdetud soojusenergia tarbimine ja renoveerimistööde alusel koostatud mudelsimulatsioon. Renoveerimistööde lahendused on kirjeldatud peatükis 6. Hoone 2014 aasta tarbimised kuude lõikes on toodud lisas 2.

Korterelamu 2014 aasta kraadpäevadega korrigeeritud kogu soojustarbimine oli 127,84 MWh/a. Kuna tarbevee soojendamise kulusid ei olnud korteriühistult võimalik saada, on käesoleva töö autor võtnud soojavee arvutuslikult. Soojavee kulu on määratud külmavee tarbimisest 40%. Sellest tulenevalt on arvutuslikuks tarbevee soojendamise kuluks saadud 23,10 MWh/a, mis teeb küttekuluks 104,69 MWh/a. Käesoleva töö autori mudelsimulatsiooni kogu soojustarbimiseks saadi 124,22 MWh/a, millest küttekulu on 101,1 MWh/a ja tarbevee soojendamise kulu on 23,13 MWh/a. Kogu arvutuslik soojustarbimine on küll mõõdetud tarbimisest vähem 2,8%, kuid siiski on suurused võrreldavad ja arvutuslikku tulemust võib lugeda paikapidavaks.

Hoone renoveerimisjärgne arvutuslik soojuseritarbimine köetava pinna kohta on saadud soojusenergia jagamisel köetava pinna ruutmeetritega. Renoveerimisjärgse arvutuse aluseks on võetud hoone algne köetav pind 901,4 m². Selle põhjuseks on asjaolu, et käesoleval ajal ei ole ametlikult köetavaks loetud keldriosa täistemperatuuriga köetud vaid seal hoitakse ca. 10°C. Renoveerimisjärgne energiasimulatsioonis saadud arvutuslik soojuseritarbimine on 137,81 kWh/(m²a). Mõõdetud tarbimise soojuseritarbimine on 141,82 kWh/(m²a). Hoone renoveerimiseelse soojuseritarbimisega 251,12 kWh/(m²a) võrreldes on vahe 109,3 kWh/(m²a).

Vastavalt SA KredEx tingimustele on 35% toetusmäär tingimuseks 50% soojusenergia sääst võrreldes renoveerimiseelse olukorraga. Renoveerimisega saavutatud energiasääst on toodud allolevas tabelis (Tabel 20).

Tabel 20

Renoveerimisjärgne saavutatud energiasääst

	Soojusenergiatarbimine enne renoveerimist, MWh/a	Soojusenergia tarbimine peale renoveerimist, MWh/a	Saavutatud energiasääst, %
Käesoleva töö autori arvutused	223,96	124,22	45
Mõõdetud ja kraadpäevadega korrigeeritud tarbimine	226,6	127,84	44

Hoone renoveerimisjärgne energiasääst jääb 2008 aasta ja 2014 aasta ning mudelsimulatsioonide võrdluses alla nõutud 50%-le. Ühtlasi on saavutatud energiasääst väiksem, kui energiaauditi lisas lubatud 50%-le.

Ühe põhjusena, miks saavutatud energiasääst jäi oodatust väiksemaks, võib välja tuua hoone algse seisukorra tuvastamise ning hoone olemasolevatele konstruktsioonidele hinnangu andmise. Eriti vanemate hoonete osas on keeruline korrektsete ja tõele vastavate materjalide leidmine, mis paraku peegeldub hoone kohta koostatavas energiaauditis. Kui energiaaudiitor on hinnanud hoone konstruktsioonide seisukorda paremaks, kui need reaalselt on, on tõenäoline, et need hinnangud liiguvad ka projekteerimise staadiumisse. Siiski on ka projekteeri kohustus kriitiliselt energiaauditi andmed üle vaadata ja hinnata andmete paikapidavust. Antud töö autori arvamusele on väga oluline hoone esialgse soojusbilansi koostamine, et tuvastada hoone energiakadude jagunemine võimalikult ligilähedaselt reaalsele olukorrale, toetudes seejuures ka varemkoostatud hoonete uuringutele. Kahjuks ei olnud energiaauditi ja renoveerimisprojekti koostamise ajal mitmeid tänaseks päevaks koostatud korterelamute uuringuid veel tehtud. Energiaaudit peaks kindlasti täpsemalt tähelepanu pöörama ka vabasoojuse hulkadele ja kasutamisele, mis mõjutab oluliselt arvutustulemusi.

Lisaks energiasäästule on KredExi hoonete renoveerimise oluline tingimus ka hoone sisekliima parameetrite tagamine. Selleks on vajalik tagada normidekohane õhuvahetus, mis paratamatult suurendab küttekulusid. Küttekulude vähendamiseks on vaja valida toimiv ventilatsioonisüsteem, millel on soojustagastus. V. Reimani tn 6 korterelamus on kasutatud regeneratiivsete soojustagastitega ruumipõhist lahendust, mille tootja poolt lubatud töötamise efektiivsust ei ole kasutuses olevate kortermajade uuringutega tõestatud. Vastavalt uuringule “Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele”, hoitakse müra tõttu seadmeid maksimumist madalamal kiirusastmel, mistõttu väheneb õhuvahetus. Ühtlasi on kõrgemate, kui 2-korruseliste hoonete korral hoone madalamate korruste korterites loomuliku väljatõmbe tõttu alarõhk, mida ruumipõhised seadmed ei suuda ületada ja seetõttu on ka agregaatide väljatõmmatav õhuhulk väiksem, mis omakorda vähendab soojustagastust. [14, p. 53]

Eelnevatele põhjendustele tuginedes on käesoleva töö autor on kasutanud renoveerimisjärgse mudeli arvutustes väiksemat õhuvahetust $0,3 \text{ l/sm}^2$ ja soojustagastuse väärtust 30%, mis annab arvutusmudeli mõistes reaalsele tarbimisele ligilähedase tulemuse.

Hoone renoveerimisjärgse arvutuse teostamisel on ka tõstetud küttemperatuuri 22°C , kuna temperatuuri reguleerimise võimalusega reguleerivad korterielanikud temperatuuri arvutuslikust kõrgemaks, et suurendada soojuslikku mugavust, mis ühtlasi suurendab küttekulusid.

8. RENOVEERIMISTÖÖDE MAKSUMUS JA TASUVUSARVUTUSED

Hoone renoveerimise otsustamise aluseks on eelkõige väljaehitatud lahenduste maksumus ja lahenduste tasuvusaeg. Käesoleva korterelamu renoveerimise tasuvuse hindamisel on lähtutud korteriühistu poolt koostatud renoveerimistöode koondeelarvest.

Kogu korterelamu renoveerimistöode maksumus oli 184 524.51 eurot, millest korteriühistu taotles toetust 35% ehk 64 583.58 eurot. Hoone renoveerimistöode tasuvusarvutuste tegemisel on eraldi arvestatud energiasäästu andvate töödega ja eraldi nendega kaasnevate töödega. Hoone energiasäästu andvate tööde hulka on loetud piirete soojustamine, akende ja uste vahetus, soojussõlme vahetus ja kahetoru küttesüsteemi paigaldus ning soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi paigaldus. Kaasnevate tööde hulka on loetud üldehituslikud tööd, mis ei anna energiasäästu, kuid on olulised hoone välisilme tagamisel. Tööde maksumused on toodud allolevas tabelis (Tabel 21).

Tabel 21

Tööde maksumused [14]

Töö nimetus	Energiasäästu andvate tööde maksumus, €	Kaasnevate tööde maksumus, €
Välispiirete soojustamine	58 190.64	36 149.50
Akende ja uste vahetus	8 233.80	
Soojussõlme ja küttesüsteemi vahetus	44 045.21	
Ventilatsioonisüsteemi ehitus	37 905.36	
KOKKU	148 375.01	36 149.50

Käesoleva töö autoril puudub täpne info korteriühistu poolt võetud laenu tingimuste kohta. Seega on eeldatud, et kogu renoveerimismaksumus kaetakse KredExi käendusel laenuga ja tingimusteks on võetud 3,000% intress laenujäägilt ning tagasimakse periood 15 aastat. Eelnimetatud tingimustel on renoveerimistööde maksumuse korteriühistu osa 119 940.93 €, mis laenu näidistingimustel on kokku 147 076.95 €.

8.1. Tasuvusarvutused

Renoveerimistööde tasuvusarvutused on tehtud nii lihttasuvusajaga kui ka diskonteeritud meetodil. Tasuvuste arvestamisel on võetud aluseks kaalutud keskmine 2014 aasta soojusenergia MWh hind 73,38 €. Kasutatud hinnainfo sai töö autor päringuna AS-ist Tallinna Küte. Soojusenergia kuluna on võetud arvutustesse 2008 aasta ja 2014 aasta kraadpäevadega korrigeeritud soojusenergiakulud, mis on vastavalt 226,36 MWh/a ja 127,84 MWh/a. Seega on renoveerimisega saavutatud aastane energiakulu sääst 98,52 MWh/a ja aastane rahaline sääst soojusenergia kuludelt 7229.40 €/a, millest saab lähtuda lihttasuvusaja arvestamisel (Tabel 22).

Tabel 22

Lihttasuvusaeg

Nimetus	Maksumus, €	Lihttasuvusaeg, a
Kogu renoveerimistööde maksumus	184 524.51	25,5
Energiasäästu andvate tööde maksumus	148 375.01	20,5
Renoveerimistööde maksumus koos 35% KredExi toetusega	119 940.93	16,6
Renoveerimistööde maksumus korteriühistule, arvestades laenu tingimusi	147 076.95	20,3

Tööde tasuvuse arvestamisel diskonteeritud meetodil on arvestatud soojuse hinna tõusuga. Hinnatõusu määrana on arvestatud 3% aastas ning ühtlasi ka 5% aastas.

Tabel 23

Diskonteeritud meetod

Nimetus	Maksumus, €	Tasuvusaeg, a	
		Soojuse MWh hinnatõus 3% aastas	Soojuse MWh hinnatõus 5% aastas
Kogu renoveerimistööde maksumus	184 524.51	19,2	16,9
Energiasäästu andvate tööde maksumus	148 375.01	16,2	14,5
Renoveerimistööde maksumus korteriühistule koos 35% KredExi toetusega	119 940.93	13,7	12,4
Renoveerimistööde maksumus korteriühistule, arvestades laenu tingimusi	147 076.95	16,1	14,4

Hoone renoveerimistööde tasuvuse hindamisel tuleb arvesse võtta ehitatud lahenduste ja tehnosüsteemide eluiga. Tasuvusaeg ei tohiks olla pikem, kui eluiga. Hoone konstruktsiooniosade eluiga arvestatakse 50 aastat, avatäidetel 30 aastat ja tehnosüsteemidel 20 aastat [3].

V. Reimani tn 6 korterelamu tööde tasuvusaeg lihttasuvusajana arvestades 25,2 aastat on rohkem kui tehnosüsteemide eluiga, mis ei ole mõistlik. Kasutades KredExi poolt antavat toetust väheneb see küll 16,6 aasta peale, aga arvestades sellega, et korteriühistutel ei ole endal finantseerimisvõimekust, on laenutingimusi arvestades tööde lihttasuvusaeg 20,3 aastat, mis on rohkem, kui arvestuslik tehnosüsteemide eluiga.

Arvestades lisaks soojuse hinnatõusuga on tulemused paremad ja korteriühistu laenutingimusi arvestades on 3% soojuse hinnatõusu korral tasuvusaeg 16,1 aastat ja 5% hinnatõusu korral 14,4 aastat. Korteriühistu võimalused tasuvusaega lühendada on võtta laen lühema aja peale, mis suurendab aga kuumakseid korteriomanikele.

KOKKUVÕTE

Koostatud töö eesmärk oli korterelamu energiatõhususe analüüs läbi koostatud energiasimulatsioonide. Simulatsioonide koostamiseks kasutati arvutusprogrammi IDA ICE. Töö koostamise lähteandmeteks kasutati korterelamule koostatud energiaauditit [3], hoone algset ehitusprojekti [4] ja hoone renoveerimisprojekti [1], [12]. Analüüsi jaoks koostas autor lähtematerjale kasutades arvutusmudeli renoveerimiseelse olukorra kohta, renoveerimisprojekti lahenduste põhjal ja renoveerimisjärgsete lahenduste põhjal.

Renoveerimiseelse mudelsimulatsiooni koostamisel selgus, et energiaauditis toodud piirete hinnangulised soojusjuhtivused on hinnatud liiga heaks. Soojuskadude võrdlusest selgub, et olenemata piirete soojusjuhtivuse väärtuste erinevusest auditi ja käesoleva töö vahel, on auditis toodud soojuskaod läbi välispiirete suuremad, kui mudelsimulatsioonis. Sellest selgub, et energiaauditi soojuskadude alusel ei saa määrata tegelikku, hoone energiakadu mõjutavate, oluliste elementide olukorda.

Renoveerimisprojekti lahenduste alusel koostatud energiasimulatsiooni tulemusi võrreldi renoveerimisprojekti käigus koostatud energiaarvutustega, mis olid aluseks KredExi toetuse väljastamisele. Lubatud energiasääst renoveerimisprojekti arvutuste järgi oli 55%. Käesoleva töö autor sai samade lahendustega koostatud energiasimulatsiooni järgi võimalikuks energiasäästuks 42%, mis ei oleks täitnud tingimusi KredExi väljastatavaks renoveerimistoetuseks. Erinevate tulemuste põhjused on energiaauditist lähtuvate erinevate lähteandmete kasutamine välispiirete osas, arvutusprogrammi erinevustest tulenevad vabasoojuse utilisatsiooni suurused ja ventilatsioonisüsteemis kasutatud soojuspumba soojusteguri ülehindamine.

Renoveerimisjärgse energiasimulatsiooniga arvutati hoone energiakogused ja võrreldi neid renoveerimisjärgselt mõõdetud reaalse tarbimisega. Mudelsimulatsiooni tulemuste ja reaalse tarbimistulemuste võrdlusest selgus, et renoveerimisega saavutatud energiasääst 2008 ja 2014 aasta võrdluses on 44%. Hoone energiabilansi koostamisel tuvastas töö autor, et ventilatsioonisüsteemi

tootja poolt etteantud soojustagastusmäär ja tegelikud õhuhulgad on ülehinnatud, mida toetas ka varemkoostatud rekonstrueeritud korterelamute sisekliima uuring [14].

Hoone renoveerimisega on saavutatud arvestatav energiasääst ja tasuvuarvutuste kohaselt on ka tööde tasuvusajad mõistlikud. Arvestades soojuse 3% hinnatõusuga, on tasuvusaeg korteriühistule 16,1 aastat. Samas tuleb tõdeda, et saavutatud sääst on hoone sisekliima arvelt, kuna hoones ei ole tagatud ventilatsiooniga vajalikku õhuvahetust. Nõuetekohase õhuvahetuse korral oleks energia kokkuhoid väiksem ning tasuvusaeg veelgi pikem. Hoonete sisekliima ja tarbimine sõltuvad suuresti kasutajatest endist ning olemasolevates korterelamutes on kallid ja keerulised ehitada süsteemid, mille parameetreid ei oleks elanikel võimalik oma tahte korral muuta.

SUMMARY

Compilation and Analysis of Energy Simulations of an Apartment Building

The goal of this paper was the analysis of energy efficiency of an apartment building with compiled energy simulations. The simulations were created with the calculation programme IDA ICE. The basic data for the paper were an energy audit of the apartment building [3], the initial construction project of the building [4] and the renovation project of the building [1], [12]. The author prepared a calculation model of the situation preceding renovation with the use of basic data for the analysis, using the solutions of the renovation project and solutions following the renovation.

The goal of preparing the pre-renovation model of the building was describing the situation preceding renovation as accurately as possible. Preparing the pre-renovation model simulation revealed that the estimated thermal conductivity of borders provided in the energy audit are estimated too high. The comparison of heat losses reveals that despite the difference of values of thermal conductivity of borders in the audit and in this paper, the heat losses through external borders provided in the audit are bigger than in the model simulation. This reveals that the actual condition of important elements which influence the energy loss of the building cannot be determined on the basis of heat losses of the energy audit.

The pre-renovation model of the building formed the basis for preparing a calculation model with the solutions designed with the renovation project. The results of the energy simulation prepared on the basis of the renovation project were compared to energy calculations prepared in the course of the renovation project, which were the basis for receiving KredEx support. The estimated energy saving on the basis of the calculations of the renovation project was 55%. The author of this paper calculated the potential energy saving on the basis of the energy simulation prepared with the same solutions as 42%, which would not have met the conditions for receiving KredEx renovation support. The reasons for the varying results are using different basic data for external borders based on the energy audit, the amounts of utilisation of free heat provided by differences of the calculation programme and overestimating the performance factor of the heat pump used in the ventilation system.

The author based the post-renovation model of the building on constructed solutions and created the calculation model on its basis. The amounts of energy of the building were calculated with an energy simulation and these were compared to actual consumption measured after renovation. The comparison of results of the model simulation and actual consumption revealed that the energy saving achieved with renovation is 44% in comparison between the years 2008 and 2014. The author determined in preparing the energy balance of the building that the heat recovery rate provided by the manufacturer of the ventilation system and actual volumes of air have been overestimated, which was also supported by a survey of indoor climate of reconstructed apartment buildings prepared earlier [14].

Energy has been saved to a significant extent with the renovation of the building and on the basis of profitability calculations, the profitability rates of the works are also reasonable. Taking into account the 3% price increase of heating, the period of the works paying off for the apartment association is 16.1 years. At the same time, the results are achieved at the expense of the indoor climate of the building because necessary air exchange has not been ensured in the building with ventilation. In the case of required air exchange, less energy would be saved and the term of profitability would be even longer. The indoor climate of buildings and the consumption largely depend on the users themselves and it is expensive and complicated to build systems with parameters which residents are unable to change as desired in existing apartment buildings.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] EA Reng AS, Korterelamu rekonstrueerimine. Töö nr 0939-1. Arhitektuur ja konstruktsioonid. Põhiprojekt., Tallinn, 2012.
- [2] Maaamet, „X-GIS (6) Portal,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://xgis.maaamet.ee/ky/>. [Kasutatud 20. aprill, 2015].
- [3] Energiasäästubüroo OÜ, Energiaaudit ja termoulevaatus V. Reimani 6, Tallinn, Tallinn, 2009.
- [4] Eesti Projekt, Anveldi tn 12/14 (V. Reimani tn 6), Tallinn, 1958.
- [5] Equa Simulation AB , IDA Indoor Climate and Energy 4.0, 2009.
- [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 Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid, Eesti Standardikeskus, 2008.
- [8] 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, L. -M. Raado ja T. Jõesaar, Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ja prognoositav eluiga, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskond, 2010.
- [9] Riigiteataja, „Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika,“ 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001?leiaKehtiv>. [Kasutatud 17. aprill, 2015].
- [10] EVS-EN 12831:2003 Hoonete küttesüsteemid. Arvutusliku küttekoormuse arvutusmeetodid, Eesti Standardikeskus, 2003.

- [11] Riigi Teataja, „Rohelise investeerimisskeemi “Korterelamute rekonstrueerimise toetus” kasutamise tingimused ja kord,“ 2010. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/13350209?leiaKehtiv>. [Kasutatud 13. aprill, 2015].
- [12] Inseneribüroo Aksiaal OÜ, Korterelamu rekonstrueerimine. Töö nr. 0939-1. Küte ja ventilatsioon. Põhiprojekt, Tallinn, 2012.
- [13] EVS-EN 15251:2007 Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast., Eesti Standardikeskus, 2007.
- [14] T. -A. Kõiv, A. Hamburg, A. Mikola, M. Kiil, A. Tukia, T. Rohula, G. Silm ja Ü. Palmiste, Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika instituut, 2014.
- [15] Korterühistu Reimani Kuus, V. Reimani tn 6 renoveerimistööde eelarve, Tallinn, 2013.
- [16] Intelivent OÜ, Reimani 6, Tallinn. Korterelamu ventilatsioonisüsteemi renoveerimine., Tallinn, 2013.
- [17] Isover Saint-Cobain, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.isover.ee/tooted/ehitusisolatsioon/puistevill/2536/isover-kv-puistevill>. [Kasutatud 29. aprill, 2015].
- [18] Isover Saint-Cobain, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.isover.ee/tooted/ehitusisolatsioon/pehmed-ehitusvillad/2513/isover-kl-37>. [Kasutatud 29. aprill, 2015].
- [19] E. Jõgioja, H. Lindmaa, R. Huik, U. Vana ja J. Oidermaa, Seinte soojatehnilised ja majanduslikud näitajad, Tallinna: ENSV Riiklik Ehituskomitee, 1986.
- [20] EVS EN-ISO 10456:2008. Ehitusmaterjalid ja tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid., Eesti Standardikeskus, 2008.
- [21] EVS-EN 1745-2012 Müüritis ja müüritooted. Soojusväärtuste määramise meetodid, Eesti Standardikeskus, 2012.
- [22] Estplast, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.estplast.ee/et/sertifikaadid>. [Kasutatud 29. aprill, 2015].

LISAD

Lisa 1. Materjalide soojuserijuhtivused

Tabel 24

Materjalide soojuserijuhtivused [17], [18], [19], [20], [21]

Materjali nimetus	Soojuserijuhtivus
Looduskivi (paekivi)	1,4
Täissilikaattellis	1,2
Raudbetoon õõnespaneel	1,5
Raudbetoon	1,7
Ehitusaegne soojustus	0,1
EPS 120 perimeeter	0,036
EPS 60 Silver	0,036
Isover KL37	0,037
Puistevill Isover KV	0,041
Šlakkbetoon	0,25
Krohvi	0,8
Põrandakatte materjal	0,18

Lisa 2. Korterelamu mõõdetud tarbimisandmed

Tabel 25

2008 aasta tarbimisandmed

2008	Soojus kokku, MWh	Küte, MWh (arvutatud)	Soe vesi, MWh (arvutatud)	Soe vesi, m³ (arvutatud)	Üld vesi, m³	Päevane elekter, kWh
jaanuar	25,82	23,06	2,76	41,252	84,15	3556
veebruar	29,96	27,61	2,34	34,932	94,03	1517
märts	26,54	24,48	2,06	30,693	81,39	1971
aprill	18,12	15,98	2,14	31,92	85,71	2346
mai	9,77	7,79	1,98	29,55	70,69	2013
juuni	3,44	1,31	2,13	31,8	64,73	1789
juuli	2,07	0,51	1,55	23,19	82,69	1787
august	2,54	0,76	1,78	26,54	39,8	4265
september	11,73	9,48	2,26	33,67	98,32	1888
oktoober	15,57	14,05	1,52	22,64	76,09	2777
november	22,44	20,13	2,31	34,52	79,25	4035
detsember	27,67	25,38	2,29	34,205	70	3061
KOKKU	195,67	170,54	25,12	374,912	926,85	31005

Tabel 26

2014 aasta tarbimisandmed

2014	Soojus kokku, MWh	Küte, MWh (arvutatud)	Soe vesi, MWh (arvutatud)	Soe vesi, m³ (arvutatud)	Üld vesi, m³	Päevane elekter, kWh
jaanuar	21,954	20,012	1,94	33,2	83	3556
veebruar	16	14,058	1,94	33,2	83	1517
märts	14	11,964	2,04	34,8	87	1971
aprill	8,192	6,460	1,73	29,6	74	2346
mai	6	4,151	1,85	31,6	79	2013
juuni	4	2,198	1,80	30,8	77	1789
juuli	3	0,754	2,25	38,4	96	1787

2014	Soojus kokku, MWh	Küte, MWh (arvutatud)	Soe vesi, MWh (arvutatud)	Soe vesi, m³ (arvutatud)	Üld vesi, m³	Päevane elekter, kWh
august	3	1,315	1,68	28,8	72	4265
september	4	2,128	1,87	32	80	1888
oktoober	10	8,058	1,94	33,2	83	2777
november	13,4	11,364	2,04	34,8	87	4035
detsember	15,6	13,588	2,01	34,4	86	3061
KOKKU	119,146	96,050	23,10	394,8	987	31005