



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Soojustehnika instituut

Soojusenergeetika õppetool

MSE40LT

Urmo Kallissaar

**Koskla 7 soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimise
tehnilis-majanduslik analüüs**
Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn
2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Siim Linki juhendamisel

“.....”201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE

2013/2014 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Urmo Kallisaar 112458 (nimi, kood)

Õppekava: statsionaarne

Eriala: soojusenergeetika

Juhendaja: vanemteadur PhD Siim Link (amet, nimi)

Konsultandid: (nimi, amet, telefon)

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

Koskla 7 soojusvarustussüsteemi rekonstrueerimise tehnilis-majanduslik analüüs

The technical-economical analysis of reconstruction of the heat supply system of Koskla 7

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Tööülesande püstitus	14.02.2014
2.	Algandmete kogumine	07.03.2014
3.	Andmete komplekteerimine ja töötlemine	15.04.2014
4.	Andmete analüüs. Lõputöö komplekteerimine	30.04.2014
5.	Lõputöö vormistamine	15.05.2014

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Teostatakse rekonstrueerimise tehnilis-majanduslik analüüs kortermajale Koskla 7, Tallinn.

Täiendavad märkused ja nõuded:.....

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistaoetus esitada hiljemalt 14.05.2014

Töö esitamise tähtaeg 22.05.2014

Üliõpilane Urmo Kallisaar

/allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Siim Link

/allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA.....	6
SISSEJUHATUS.....	7
1. ÕHK-VESI SOOJSUPUMBA JA PÄIKESEKOLLEKTORITE ÜLDINE KIRJELDUS	8
1.1. Õhk-vesi soojuspump.....	8
1.2. Päikesekollektorid.....	10
1.3. Õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektori kooskasutamine.....	12
2. KORTERMAJA KIRJELDUS.....	13
2.1. Kortermaja asukoht.....	13
2.2. Hoone üldlahendus.....	13
2.3. Hoone tehnilised näitajad.....	14
2.4. Konstruktiivne lahendus.....	14
2.4.1. Sokkel.....	14
2.4.2. Välisseinad.....	14
2.4.3. Katus.....	15
2.5. Aknad ja uksed.....	15
3. ÕHK-VESI SOOJUSPUMBA JA PÄIKESEKOLLEKTORI ANDMED.....	16
3.1. Õhk-vesi soojuspumba andmed.....	16
3.2. Päikesekollektori andmed.....	18
4. KORTERMAJA SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE.....	19
4.1. Piirdetarindi soojuslähikandeteguri arvutamine.....	19
4.2. Piirete erisoojuskaod soojustamata ja soojustatud olukorras.....	20
5. SOOJUSBILANSS JA ENERGIATARBE JAGUNEMINE.....	22
5.1. Soojusbilanss soojustamata seinte korral.....	22
5.1.1. Kortermajas eralduv vabasoojus.....	24
5.1.2. Tasakaalutemperatuuri leidmine.....	25
5.2. Soojusbilanss soojustatud piirete korral.....	27
5.3. Soojusbilanss õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite kasutamisel.....	28
6. MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED.....	32
6.1. Lihttasuvusaeg piirete renoveerimise korral.....	32
6.2. Lihttasuvusaeg õhk-vesi soojuspumba, päikesekollektorite ja küttesüsteemi renoveerimisele.....	33

6.3. Lihttasuvusaeg õhk-vesi soojuspumba, küttesüsteemi renoveerimise ja kaugkütte kasutamise korral.....	35
6.4. Kogu investeeringu lihttasuvusaeg.....	36
6.4. Hoone energiamärgis.....	36
6.5. CO ₂ emissioon hoone kütmisel	37
KOKKUVÕTE.....	39
SUMMARY	42
KASUTATUD KIRJANDUS	44
LISA	46
Lisa1	46

EESSÕNA

Lõputöö eesmärgiks on analüüsida Koskla 7 korterelamus paigaldatud soojusvarustussüsteemi. Soojusvarustussüsteem baseerub õhk-vesi soojuspumbale, sooja tarbevee soojendamiseks vajalik soojus genereeritakse osaliselt päikesekollektoritega. Soojuskoormuse tipp kaetakse kaugküttega. Töös vaadeldakse antud lahenduse tehnilis-majanduslikke aspekte nii hoone elanike kui kaugkütte-ettevõtte tasandil. Lõputöö algandmete kogumisel aitasid mind Siim Link, Marius Vahter ja Marek Viik. Siinkohal soovin tänada Teid, et aitasite kaasa lõputöö valmimisele.

SISSEJUHATUS

Tänu pidevale energiahindade tõusule maailmas, on hakatud otsima küttelahendusi, mis aitaksid püsikulusid kokku hoida. Laialt levinud lahendused on soojuspumpade ja päikesekollektorite kasutamine. Nende miinuseks on suur alginvesteering. Teisest küljest võivad nad osutada majanduslikult tasuvaks, sõltuvalt alternatiivsete energiakandjate maksumusest.

Käesolev töö uurib kortermaja aadressil Koskla 7, Tallinn. Töö eesmärgiks on võrrelda rekonstrueerimismeetmete majanduslikku tasuvust, pärast seinte korrektset soojustamist ning õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite paigaldamist võrreldes hoone esialgse olukorraga. Esialgselt saadi soojusenergia kaugküttest ning seinad olid osaliselt soojustatud. Uuritava maja soojusvarustussüsteem on kombineeritud lahendus kaugküttest, õhk-vesi soojuspumbast ja päikesekollektoritest. Kaugkütet tarbitakse ainult siis, kui õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite tootlikkusest ei piisa soojusvajaduse katmiseks.

Töös on koostatud kolm soojusbilanssi. Esimene bilanss on koostatud olukorrale, millal maja seinad osaliselt on soojustatud, kuid soojustuse paigaldamises esines defekte. Teine soojusbilanss on koostatud korrektselt soojustatud seinte korral ning kolmas bilanss olukorra kohta, kui pärast seinte soojustuse parandamist on paigaldatud õhk-vesi soojuspump ja päikesekollektorid. Investeeringute tasuvust on hinnatud lihttasuvusaja meetodiga.

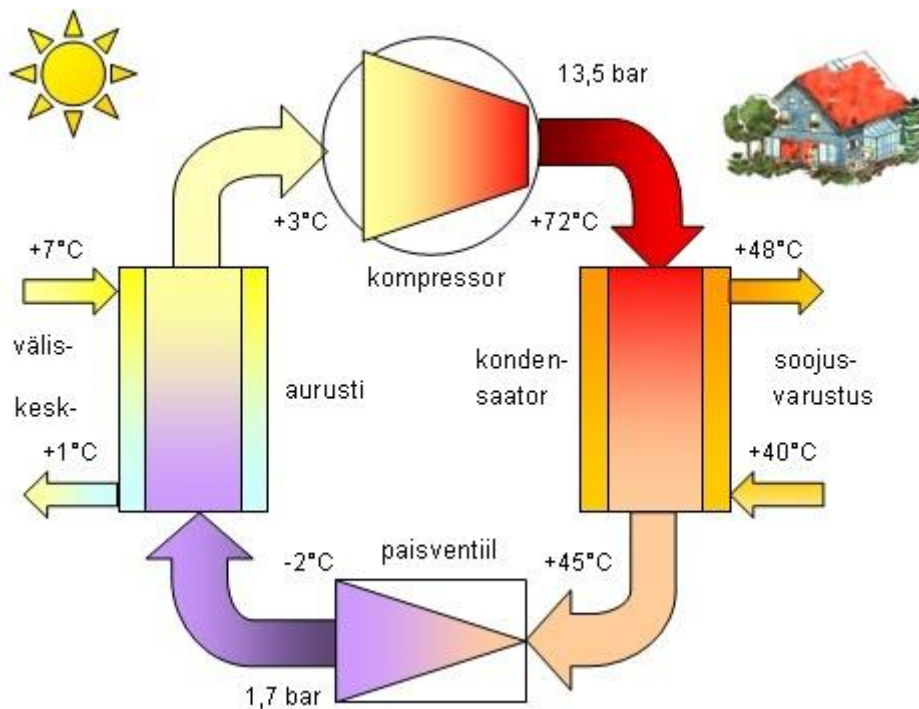
Lõputöö esimeses peatükis on kirjeldatud üldiselt õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite tööpõhimõtet. Teises osas on kirjeldatud kortermaja ja selle asukohta. Kolmandas peatükis on toodud välja õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite tehnilised andmed. Järgnevates peatükkides on esitatud sojuskaod läbi hoone piirete ning esitatud soojusbilansid. Viimases peatükis on leitud teostatud investeeringutele lihttasuvusaeg, hoone energiamärgis ning CO₂ emissioon. Kokkuvõttes tuuakse välja sellise lahenduse tehnilis-majanduslikud aspektid kortermaja elanike ja kaugkütteettevõtte vaatevinklist.

1. ÕHK-VESI SOOJSUPUMBA JA PÄIKESEKOLLEKTORITE ÜLDINE KIRJELDUS

1.1. Õhk-vesi soojuspump

Õhk-vesi soojuspump kogub soojusenergia välisõhust ja annab selle maja vesiküttesüsteemile, milleks on radiaator- või põrandaküte ning toodab ka sooja vett. Õhk-vesi soojuspumba välisseade on võimeline välisõhust soojust võtma juhul, kui külma ei ole alla $-15...-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Meie kliimas on otstarbekas valida õhk-vesi soojuspumbad selliselt, kus bivalentpunkt on välisõhutemperatuuri -8 ja 0 kraadi vahel. Pumba abil saab säästa kütteenergiat kuni 65% . Paljudes õhk-vesi soojuspumpades paikneb kogu külmatehnika välisseadmes, mis sarnaneb välimuselt õhk-õhk soojuspumba omaga. Õhk-õhk soojuspumbaga samal viisil toimub ka automaatne sulatus, mis eemaldab vee kondenseerumise tõttu aurusti pinnale tekkinud jää. [1]

Õhk-vesi soojuspumba tööpõhimõtte (Sele 1.1.) aluseks on termodünaamika II seadus, mis määrab ära iseeneslike protsesside suuna ning ütleb, et soojus ei saa minna iseenesest külmemalt kehalt soojemale. Lihtsustatult seisneb seadme tööpõhimõtte selles, et välisosas asuv kompressor surub gaasilise külmaine kokku, mille tagajärjel see soojeneb: soe külmaine suunatakse soojusvahetisse, kus ta omakorda loovutab soojuse tarbevee-, radiaator- või põrandaküttesüsteemile. Selles protsessis ei toimu soojuse tootmist, vaid välisõhust eemaldatakse soojus ja edastatakse see kompressori abil küttesüsteemi. [2]



Sele 1.1. Õhk-vesi soojuspumba tööpõhimõte [3]

Märkus: Skeemil on eeldatud, et energiaallikana kasutatakse välisõhku temperatuuriga 7 °C ja kasutatava agensi keemistemperatuur on 3 °C.

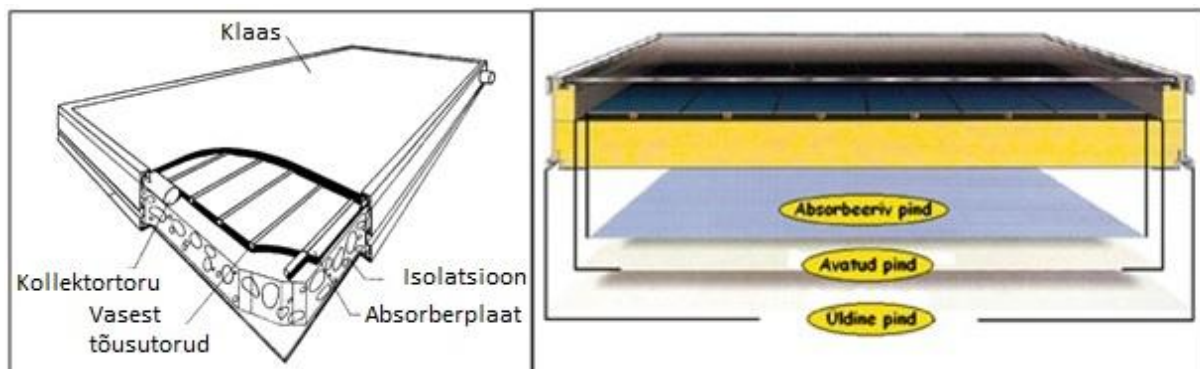
Soojustegur ehk COP (*coefficient of performance*) on arv, mis näitab, mitu korda väljastab seade rohkem soojust võrreldes kulutatud elektriga. Mida suurem on COP, seda efektiivsem on soojuspump. [2]

Õhk-vesi soojuspumpades kasutatav jahutusaine on enamasti HFC-ühend, mis ohustab osoonikihti. HFC-ühend on näiteks agens R407C, mille keemiline valem on $\text{CH}_2\text{F}_2 + \text{CF}_3\text{CH}_3 + \text{CF}_3\text{CHF}_2\text{F}$. See agens ei ole mürgine ega süttiv. [4] On ka selliseid õhk-vesi soojuspumpasid, milles kasutatakse süsinikdioksiidi, mis on võimelised soojust ammutama jahedamast õhust kui teised õhk-vesi soojuspumbad. Süsinikdioksiidiga õhk-vesi soojuspumbad on võimelised soojust ammutama temperatuurini -26 °C. Selle kasutamine esitab suuremad nõudmised soojuspumba mehhanismidele, gaasijahuti ja torud peavad suuremale survele vastu pidama, ning see on kallim. [1]

1.2. Päikesekollektorid

Päikesekollektorid on soojusvahetid, mille abil kantakse päikese poolt kiiratav soojus üle kollektorit läbivale soojuskandjale. Teisiti öeldes on päikesekollektor seade, mis absorbeerib talle peale langevat päikesekiirgust ja muundab selle soojuseks, mis omakorda kantakse üle soojuskandjale, mis voolab läbi kollektori. Päikesekollektoreid on kahte tüüpi: lamekollektorid ja vaakumkollektorid. [5]

Tüüpilist lamekollektorit iseloomustab Sele 1.2. Lamekollektorit katab läbipaistev katteplaat. Päikesekiirgus läheb läbi läbipaistva katteplaadi ning langeb mustale pinnale, mida nimetatakse absorbeerivaks pinnaks. Absorbeeriv pind on kontaktis soojuskandja torudega, näiteks vasest, ning absorbeeritud päikesekiirgus kantakse soojusena üle torudes voolavale soojuskandjale. Soojuskandja transportib soojuse edasi tarbijani või akumulatsioonipaaki. Absorberpinna all on soojusisolatsioonikiht, et vähendada soojuskadusid. Absorberis olevad peenikesed torud on mõlemast otsast ühendatud jämedamate kollektortorudega. Lamekollektori töötemperatuur on vahemikus 30-80°C. Läbipaistvat katet kasutatakse, et vähendada soojuskadusid kiirgusega ja konvektsiooniga väliskeskkonda. [5]

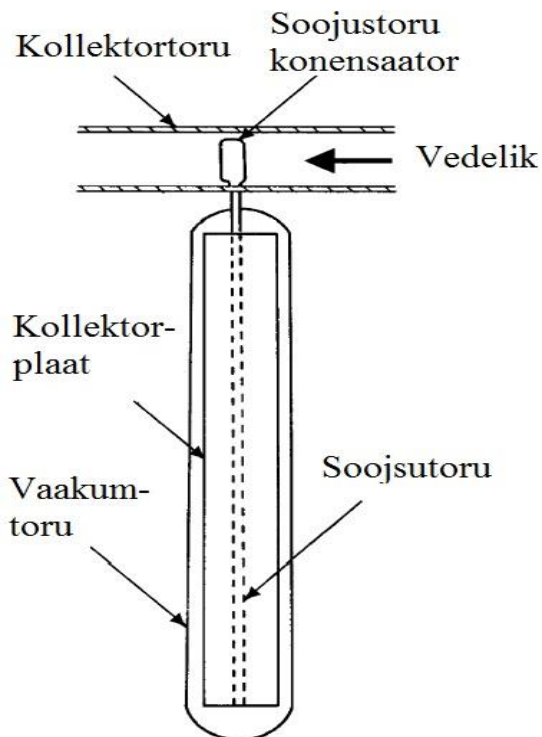


Sele 1.2. Lamekollektor

Soojustoruga vaakumkollektor koosneb soojustorust, mis on asetatud välise kesta sisse, milles on vaakum (Sele 1.3.). Vaakumtoru vähendab soojuskadusid konvektsiooni ja soojusjuhtivuse teel, mistõttu vaakumtorukollektoritega on võimalik saavutada kõrgemaid temperatuure võrreldes lamekollektoritega. Nagu ka lamekollektorid absorbeerivad vaakumtorukollektoridki otsest ja hajuskiirgust. Vaakumtorukollektorite efektiivsus on

kõrgem madalate langemisnurkade juures, mis annab neile eelise võrreldes lamekollektoritega. [5]

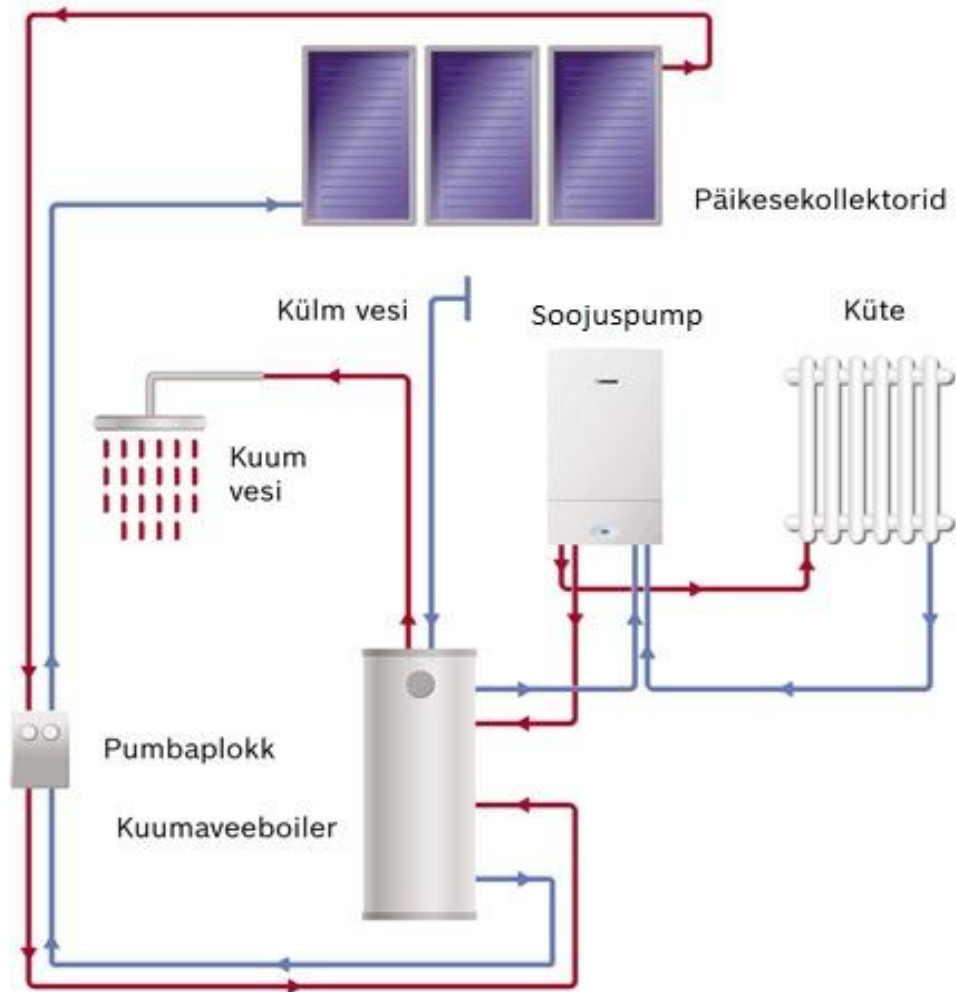
Vaakumtorukollektorites kasutatakse soojustorus vedel-gaas faasimuutusega materjali soojuse ülekandmiseks. Soojustoruga on ühendatud mõlemal küljel absorberplaadid. Aurustunud soojuskandja tõuseb soojustorus ülesse, kus ta kondenseerub ja annab kondensaatoris soojust ära vaakumtorusid ühendavale kollektori torule. Torus voolab soojuskandja, mis transportib soojust tarbijani, näiteks akumulatsioonipaaki. Veeldunud soojuskandja soojustorus langeb toru alumisse ossa ja protsess hakkab otsast peale. [5]



Sele 1.3. Soojustoruga vaakumkollektor

1.3. Õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektori kooskasutamine

Päikesekollektorite ning õhk-vesi soojuspumba kooskasutamisel (Sele 1.4.) on mõlema komponendi efektiivsus suhteliselt madal külmematel kuudel, sest madalaim välisõhutemperatuur esineb talvekuudel. [6]



Sele 1.4. Päikesekollektori ja õhk-vesi soojuspumba kooskasutamine [7]

Sellise süsteemi juures tuleb arvestada kliimatiliste tingimustega ja soojuskoormusprofiilidega. Liiga suur päikesekollektorite pind põhjustab liigsoojust süsteemis suvisel ajal. Suvine soojusvajadus peab olema sellise süsteemi korral päikesepaneelide esmaseks dimensioneerimise lähteparameetriks. [6]

2. KORTERMAJA KIRJELDUS

2.1. Kortermaja asukoht

Korterelamu paikneb Harju maakonnas Tallinna linnas Kristiine linnaosas Koskla tn 7 (joonis 2.1). Kinnistu pindala on 1802 m² ning piirneb ühelt küljelt Koskla tänavaga. Hoone asetseb kinnistul loode-kagu suunaliselt. Krundi reljeef on suhteliselt tasane. [8]



Joonis 2.1 Kortermaja asukoht [9]

2.2. Hoone üldlahendus

Korterelamu on viie korruseline, kus on kolm trepikoda. Põhiplaanilt on hoone ristkülikukujuline, pikifassaadil ja ühes otsas on hoone kontuuris aste. Kortermaja gabariidid: pikkus 47,4 m, laius 15,3 m ja kõrgus 18,3 m. Igal korrusel asub kuus korterit: üks ühetoaline korter, neli kolme toalist korterit ning üks neljatoaline korter koos panipaigaga. Keldrikorrusel asuvad tehnilised ruumid, keldriboksid ja üldkasutatav saun. [8]

2.3. Hoone tehnilised näitajad

Ehitusalune pind	- 599,0 m ²
Suletud netopind	- 2803,6 m ²
Kõetav pind	- 2367,0 m ²
Eluruumide pind	- 2045,8 m ²
Hoone maht	- 10239 m ²
Korruste arv	- 5
Korterite arv	- 30
Hoone eluiga	- 50 aastat [8]

2.4. Konstruktiivne lahendus

2.4.1. Sokkel

Välisseinte sokli osa on ehitatud 50 cm paksustest betoonplokkidest, mille arvutuslik soojuslähikandetegur $U=2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Renoveerimise käigus on sokli hoovipoolne külgein soojustatud 100 mm paksuse vahtplasti kihiga ning sokli otsaseinad on soojustatud 150 mm paksuse vahtplasti kihiga. Külgeina arvutuslik soojuslähikandetegur on $U=0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ja otsaseintel $U=0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. [8]

Viimistlusena on kasutatud siledat tsementlaastplaati, mis on viimistletud ja värvitud tumebeežiks. [8]

2.4.2. Välisseinad

Välisseinad on silikaattellisseinad paksusega 430 mm. Soojustusena on kasutatud 50 mm paksust mineraalvilla kihti ning korterite seinad on täiendavalt soojustatud 100 mm paksuse EPS plaadiga. Renoveerimise käigus eemaldati EPS plaat, sest ei olnud võimalik lisada täiendavat isolatsiooni olemasolevale soojustusele. Olemasolev isolatsioon oli valesi paigaldatud ning krohvis esines pragusid. Külgeinad soojustati 150 mm paksuse

vahtpolüstürool plaadiga ja otsaseinad 200 mm paksuse vahtpolüstürool plaadiga. Samuti on paigaldatud kivivillast ribad tuletõkkesektsioonide eraldamiseks. Külgseina arvutuslik soojuslähikandegur on $U=0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ja otsaseina arvutuslik soojuslähikandegur on $U=0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. [8]

Viimistlemisel on soojustusplaadid kaetud armeerimisvõrguga ja krohvitud värvilise polümeerikrohviga. Fassaad on valget värvi. [8]

2.4.3. Katus

Katuslagi on ehitatud monteeritavatest raudbetoonist õõnespaneelidest paksusega 220 mm. Hoone katuslagi korterite kohal on täiendavalt soojustatud 2009. aastal. Renoveerimise käigus paigaldati soojustus kogupaksusega 230 mm (vahtpolüstürool plaadid paksusega 200 mm + tuulutussoontega kõvad mineraalvillplaadid paksusega 30 mm). Samuti paigaldati tuulutid $\varnothing 100 \text{ mm}$ iga 100 m^2 katusepinna kohta. Katusekattena on kasutatud 2xSBS kleepisolatsiooni, mille hinnatav eluiga on 25-30 aastat. Katuslae arvutuslik soojuslähikandegur on $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. [8]

2.5. Aknad ja uksed

Kõik ehitusaegsed puitraamidega aknad on amortiseerunud ja suure soojuslähikandeguriga ($U \sim 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$). Renoveerimise käigus vahetati kõik ehitusaegsed aknad välja uute valgete PVC materjalist kolmekordse klaaspaketiga akende vastu. Aknad on varustatud Aereco tuulutuspiludega. [8]

Renoveerimise käigus asendati katusele väljuvad uksed uutega. Hoovipoolsed ning Koskla tänava poolsed välisüksed renoveeriti. Uute ja renoveeritud välisuste klaasita osa soojuslähikandegur on $U \leq 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ja klaasiga osal $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. [8]

3. ÕHK-VESI SOOJUSPUMBA JA PÄIKESEKOLLEKTORI ANDMED

3.1. Õhk-vesi soojuspumba andmed

Koskla tänav 7 majale on paigaldatud õhk-vesi soojuspump, Alpha-Inno Tec LW310A (Sele 3.1.). Allolevas tabelis 3.1. on toodud soojuspumba tehnilised andmed.

Tabel 3.1. Õhk-vesi soojuspumba tehnilised andmed

Küttevõimsus (A7/W35)*	35,0 kW (2 kompressorit)
	19,1 kW (1 kompressor)
COP (A7/W35)*	4,0 (2 kompressorit)
	4,2 (1 kompressor)
Kompressor	Spiraalkompressor
Min/max kütteeve temperatuur	20-60 °C
Müratase**	59 dB
Kõrgus	2127 mm
Laius (tiivast tiivani)	1779 mm
Sügavus	1258 mm
Netokaal	573 kg
Toitepinge	400 V (3 faasi)
Käivitusvool/sujuvkäivitiga	80 A / 38 A
Soojuspumba efektiivne voolutarve (A7/W35)*	16,8 A (2kompressoriga)
	8,7 A (1 kompressoriga)
Soojuspumba maksimaalne voolutarve	28,0 A
Külmaagens	R404a (13,0 kg)
Lisa elektriküttekeha	-

*EN14511 – EN 14511 standardi kohaselt on külmakandja sisenev temperatuur 0 °C ja soojakandja väljuv temperatuur 35 °C. Vastav tingimus arvestab lisaks kompressorile ka tsirkulatsioonipumpadele ning automaatikale kuluvat elektrienergiat.

**Müratase mõõdetuna ühe meetri kaugusel seadmest.[10]



Sele 3.1. Õhk-vesi soojuspump Alpha-Inno Tec LW310A [10]

3.2. Päikesekollektori andmed

Paigaldatud päikesekollektor on SunRain TZ58-1800/30R (Sele 3.2.). Kokku on installeeritud 10 päikesekollektorit kogu pindalaga 24,1 m². Hoone asub 59 põhja laiuskraadil. Kollektorid on paigaldatud horisontaalpinna suhtes 60 ° nurga alla ning asimuut on 18°. Tabelis 3.2. on toodud päikesekollektori tehnilised andmed.

Tabel 3.2. Päikesekollektori SunRain TZ58-1800/30R tehnilised andmed

Mudel	TZ58-1800/30R
Torude arv	30
Tootev absorberpind	2,41 m ²
Võimsus	20 °C – 2,2 kW 50 °C – 1,67 kW
Mõõtmed	1950x2480 mm
Kaal	115 kg

Sunrain TZ58-1800/30R kollektor koosneb messingust hülsskollektorist, mille otsad on $\frac{3}{4}$ väliskeermega. Vaakumtoru pesad on kaetud plastikhülsiga, mis takistab niiskusel kollektori isolatsiooni sattumist. [11]



Sele 3.2. Vaakumkollektor Sunrain TZ58-1800/30R [11]

4. KORTERMAJA SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE

4.1. Piirdetarindi soojuslähikandeteguri arvutamine

Termiliselt homogeensete kihtidega piirdetarindi summaarne termiline takistus arvutatakse valemiga [12]

$$R_t = R_{si} + R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_v + R_q + R_u \quad (4.1)$$

kus R_t – piirdetarindi summaarne termiline takistus

R_{si} – piirdetarindi termiline takistus soojusülekanal piirdetarindi sisepinnal

R_{se} – piirdetarindi termiline takistus soojusülekanal piirdetarindi välispinnal

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ – piirdetarindi üksikute homogeensete kihtide termilised takistused (kihtide arv 1...n)

R_v – õhugahe termiline takistus

R_q – õhukese kihi (kile, papp jne) termiline takistus

R_u – hoone pööningu, katusealuse või katuse termiline takistus (seda komponenti on vaja arvestada kõige ülemise korruse lae soojuskadude arvutamisel).

Summaarse termilise takistuse pöördväärtus on soojuslähikandegur, ehitustehnikas tähistatakse seda tähega U . Soojuslähikandeteguri ühikuks SI-ühikute süsteemis on $W/(m^2 \cdot K)$, võib kasutada ka tähistust $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Termiliselt homogeenne kihi termiline takistus on arvutatav lihtsa suhtega

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (4.2)$$

kus d – kihi paksus m

λ – materjali soojusjuhtivustegur $W/(m \cdot K)$.

Piirdetarindi termilise takistuse väärtus soojusülekanal võetakse piirdetarindi sisepinnal R_{si} sõltuvalt soojuse leviku suunast 0,13 horisontaalne suund, 0,10 üles suunatud soojusvoog või 0,17 $(m^2 \cdot K)/W$ alla suunatud soojusvoo korral. Piirdetarindi välispinnal toimuvat soojusvahetust iseloomustatakse termilise takistusega välispinnal $R_{se} = 0,04 (m^2 \cdot K)/W$. [12]

Piirdetarindi soojuslähikandegur U määratakse valemiga

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (4.3)$$

4.2. Piirete erisoojuskaod soojustamata ja soojustatud olukorras

Tabelites 4.1. ja 4.2. on näidatud maja piirete U – väärtused, piirete pindalad ning hoone erisoojuskaod läbi piirete. Hoone erisoojuskaod läbi piirete on leitud U – väärtuse ja vastava piirde pindala korrutisena.

Tabel 4.1. Erisoojuskaod läbi soojustamata sein

Piirded	U – väärtus, [W/m ² ·K]	Pindala, [m ²]	Erisoojuskadu läbi piirde, [W/K]
Hoovipoolne sein ja trepikojad, soojustamata	0,8	107,7	86,2
Hoovipoolne sein, soojustatud	0,29	285,9	82,9
Trepikoja seinad katusel	0,8	82,1	65,7
Tänavapoolne sein soojustamata	0,8	218,6	174,9
Tänavapoolne sein soojustatud	0,29	152	44,1
Otsaseinad soojustatud	0,28	272,9	76,4
I korruse põrand	0,42	527,3	218,8
Katuslagi korterite kohal	0,23	465,5	107,1
Katus trepikodade kohal	4	68,3	273,2
Korterite vahetatud aknad, PVC	1,1	439,7	483,7
Trepikodade uued aknad ja pakettuksed	1,1	43,9	48,3
Korterite vahetamata aknad	2,6	23,9	62,1
Uksed katusele	3	8,6	25,8
Välisüksed hoovipoolses seinas	3	11,3	33,9
Välisüksed tänavapoolses seinas	3	12,5	37,5
Kokku:			1,8 kW/K

Järgnev tabel 4.2. illustreerib hoone piirete erisoojuskadusid pärast seinte renoveerimist.

Tabel 4.2. Erisoojuskaod pärast seinte renoveerimist

Piirded	U – väärtus, [W/(m ² ·K)]	Pindala, [m ²]	Erisoojuskadu läbi piirde, [W/K]
Hoovipoolne sein	0,23	393,6	90,5
Trepikoja seinad katusel	0,23	82,1	18,9
Tänavapoolne sein	0,23	370,6	85,2
Otsaseinad	0,2	272,9	54,6
I korruse põrand	0,36	527,3	189,8
Katus	0,16	533,8	85,4
Aknad ja trepikodade pakettuksed	1,1	507,5	558,3
Uksed katusele	1,1	8,6	9,5
Välisüksed hoovipoolses seinas	1,1	11,3	12,4
Välisüksed tänavapoolses seinas	1,1	12,5	13,8
Kokku:			1,1 kW/K

5. SOOJUSBILANSS JA ENERGIATARBE JAGUNEMINE

Soojus- ja energiabilansid on kasulikud abivahendid selgitamaks energia kasutamist hoonetes. Soojusbilanss näitab hoonesse sisenevaid ja sealt väljuvaid soojushulki. Sisenev ja väljuv soojushulk peab olema võrdne. [12]

Hoonest väljuvateks soojusvoogudeks on soojusvood akende, välisseinte ja hoonekarbi teiste elementide kaudu nagu ka hoonest ventilatsiooniõhuga ja õhuleketega väljuvad soojushulgad. Lisaks kannavad hoonest soojust välja kanalisatsiooniveed.[12]

Põhiline osa hoonesse edastatavast soojusest kulub küttele, ventilatsioonile (õhuvahetusele) ja sooja tarbevee soojendamiseks. Vajalik soojushulk on võimalik tarbida kaugküttevõrgust, kuid alates 2013 aasta oktoobrist on täiendavalt kaugkütte kasutamise võimalusele paigaldatud õhk-vesi soojuspump ja päikesekollektorid. Osa hoone soojusvajadusest saadakse niinimetatud vabasoojusena (inimesed, elektritarvitid, päikesekiirgus, sooja vee ringluskaod). Elekter, mida kasutatakse valgustuseks ja elektritarvitites (külmkapid, mikrolaineahjud, elektripliidid, kohvikeetjad) muundatakse soojuseks ja kasutatakse osaliselt efektiivselt hoone kütmise eesmärgil.

Inimesed, kes elavad või töötavad hoones, eraldavad samuti soojust. Puhkeseisundis eraldub inimesest soojushulk, mis vastab kuni 100 W võimsusele, rasket füüsilist tööd tegeva inimese soojuseraldus on 200...250 W.[12]

5.1. Soojusbilanss soojustamata seinte korral

Soojusbilanss on tehtud 2011/2012 aasta tarbimisandmete põhjal. See on algolukord, millega hakkame järgnevalt lahendusi võrdlema. Kaugküttevõrgust saadakse soojus kütte ja soojavee tarbeks. Hoones on tasakaalustamata radiaatorküttesüsteem mistõttu on hoones soojuse jaotumine korterite vahel ebahühtlane ning seetõttu on valitud keskmiseks siseõhu temperatuuriks 20 °C. Hoone väliseinad olid lisasojustatud korteri seinte osas 100 mm paksuse EPS plaadiga, kuid selle paigaldus ja töö kvaliteet ei olnud teostatud korrektselt. Soojustatud otsaseintele on tehtud ekspertiis, kus soovitatakse paigaldatud soojustus eemaldada ja asendada uuega. [13]

Soojusbilansis kasutatud kortermaja tarbimisandmed on toodud lisa 1, tabel 1. Tabelis 5.1. on näidatud soojustamata seintega soojusbilanss.

Tabel 5.1. Kortermaja soojustamata seinte soojusbilanss

Bilansikomponent	Soojuskadu läbi piirde, MWh	Õhuvahetus, MWh	Soe vesi, MWh	Arvutuslik, MWh	Mõõdetud, MWh
Hoovipoolne sein, soojustamata, trepikojad	7,5				
Hoovipoolne sein, soojustatud	7,2				
Trepikoja seinad katusel	5,7				
Tänavapoolne sein soojustamata	15,1				
Tänavapoolne sein soojustatud	3,8				
Otsaseinad soojustatud	6,6				
I korruse põrand	19,0				
Katuslagi korterite kohal	9,3				
Katus trepikodade kohal	23,7				
Korterite vahetatud aknad, PVC	41,9				
Trepikodade uued aknad ja pakettuksed	4,2				
Korterite vahetamata aknad	5,4				
Uksed katusele	2,2				
Välisüksed hoovipoolses seinas	2,9				
Välisüksed tänavapoolses seinas	3,2				
Kokku:	157,7	75,3	96,3	329,3	329,3

Soojusbilansist selgub, et 157,7 MWh soojustest väljub hoonest läbi piirete. Kõige suuremad kaod on korterite PVC akende kaudu, aga see on tingitud sellest, et akende U -väärtus on suhteliselt suur võrreldes seintega ja nende kogu pindala on 439,7 m², mis on kogu piirete pindalast ligikaudu 16,2 %. Soojuskadusid läbi piirete saab veel vähendada vahetades välja ukсед ja aknad ning soojustades kvaliteetselt paksema soojustusmaterjali kihiga seinad ja katuse.

5.1.1. Korterimajas eralduv vabasoojus

Vabasoojus koosneb inimestelt eralduvast soojusest, seadmetelt ja valgustuselt eralduvast soojusest, päikese soojusest ning soojavee ringluskadude soojusest. Soojusbilansi arvutustes on päikeselt saadavaks soojuseks võetud $22,6 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. [14]

Allolevad arvutused on tehtud soojustamata soojusbilansi andmete põhjal.

Inimeste poolt eraldatav soojus aasta jooksul on arvutatav kujul

$$\text{Inimeste soojus} = \frac{0,6 \cdot 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A \cdot 6552 \text{ h}}{1 \cdot 10^6} \quad (5.1)$$

kus $0,6$ – kasutusaste [15]

$3 \text{ W}/\text{m}^2$ – inimeste soojuseraldus [15]

A – korterimaja köetav pind

6552 h – kütteperioodi kestvus.

Korterelamus inimeste poolt eralduv soojus

$$\text{Inimeste soojus} = \frac{0,6 \cdot 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 2367 \text{ m}^2 \cdot 6552 \text{ h}}{1 \cdot 10^6} = 27,9 \text{ MWh} = 11,8 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$$

Elektriseadmetest ja valgustuselt eralduv soojus avaldub kujul

$$\text{Elektriseadmete soojus} = \frac{\text{Kütteperioodi korterite elektritarbimine (kWh)}}{A} \quad (5.2)$$

$$\text{Elektriseadmete soojus} = \frac{48964 \text{ kWh/a}}{2367 \text{ m}^2} = 20,7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$$

Sooja vee ringluskaod on arvutatavad valemiga

$$\text{Ringluskaod} = \frac{\text{käterätikuivatite võimsus (W)} \cdot \text{kütteperioodi pikkus (h)}}{A} \quad (5.3)$$

$$\text{Ringluskaod} = \frac{60 \text{ W/tk} \cdot 30 \text{ tk} \cdot 6552}{2367 \text{ m}^2} = 5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$$

kus tk – näitab käterätikuivatite arvu.

Kogu vabasoojus avaldub kujul

$$\begin{aligned} Vabasoojus = & \textit{inimeste soojus} + \textit{elektriseadmete soojus} + \textit{ringluskaod} \\ & + \textit{päikese soojus} \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$Vabasoojus = 11,8 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} + 20,7 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} + 5 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} + 22,6 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} = 60 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}.$$

5.1.2. Tasakaalutemperatuuri leidmine

Tasakaalutemperatuur on temperatuur, milleni tõstetakse ruumi temperatuur küttesoojuse arvelt. Edasine temperatuuritõus toimub vabasoojuse abil. Tasakaalutemperatuuri leidmiseks on vaja leida hoone erisoojuskaod valemiga

$$H = \Sigma U_i \cdot A_i + L \cdot \rho \cdot c \quad (5.5)$$

kus U_i – piirde U-väärtus (toodud tabelis 4.1)

A_i – piirde pindala (toodud tabelis 4.1)

L – õhukulu

ρ – õhu tihedus ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$)

c – õhu erisoojus ($c=1005 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$)

$$H = 1,8 + 0,72 \cdot 1,2 \cdot 1005 = 2,7 \frac{kWh}{K}.$$

Hoone kogu vabasoojus 1 m^2 kohta on $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Renoveerimata küttesüsteem utilisatsioonitegur on 0,6.

Sellele vastav arvestuslik vabasoojus 1 m^2 kohta

$$q_{vs} = \textit{vabasoojus} \cdot \textit{utilisatsioonitegur} \quad (5.6)$$

$$q_{vs} = 60 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \cdot 0,6 = 36 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}.$$

Kogu hoone arvestuslik vabasoojus aastas

$$Q_{vs} = q_{vs} \cdot A \quad (5.7)$$

$$Q_{vs} = 36 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \cdot 2367 m^2 = 85325 \frac{kWh}{a}$$

Keskmine vabasoojuskoormus

$$\Phi_{vs} = \frac{Q_{vs}}{6552} \quad (5.8)$$

$$\Phi_{vs} = \frac{85325}{6552} = 13 \text{ kW}$$

Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt

$$\Delta t_{vs} = \frac{\Phi_{vs}}{H} \quad (5.9)$$

$$\Delta t_{vs} = \frac{13}{2,7} = 4,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tasakaalutemperatuur hoones enne renoveerimist

$$t_B = t_s - \Delta t_{vs} \quad (5.10)$$

$$t_B = 20 - 4,8 = 15,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabel 5.2 Tasakaalutemperatuuri arvutuse koondtabel

Välispiirete soojuskadu	1,8	kW/K	Kogu vabasoojus	60	kWh/(m ² ·a)
Õhukulu L	0,72	m ³ /s	Utilisatsioonitegur	0,6	
Õhu erisoojus	1005	J/(kg·K)	Vabasoojus Q_{vs}	85325	kWh/a
Õhu tihedus	1,2	kg/m ³	Keskmine vabasoojuskoormus	13	kW
Ventilatsiooni erisoojuskadu	0,9	kW/K	Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt	4,8	°C
Kraadpäevade arv	3608,5	KP	Keskmine siseõhutemperatuur	20	°C
Tunde päevas	24	h/P	Tasakaalutemperatuur	15,2	°C

5.2. Soojusbilanss soojustatud piirete korral

Soojusbilanss on koostatud 2012/2013 aasta tarbimisandmete põhjal. Selle bilansi eesmärgiks on leida soojusenergia tarbimine, kus saadud soojusenergia tuleb kaugküttest. Kuna päikesekollektorid hakkasid tööle septembrist ja soojuspump oktoobrist, siis on septembri-detsembri tarbimisandmed leitud jaanuari, veebruari ja märtsi keskmiste tarbimisandmete alusel kasutades kraadpäevi.

Tabelites 5.3. ja 5.4. esitatud tulemused on leitud sama arvutuskäiguga, mis soojustamata piirete soojusbilansi korral. Soojusbilanss on koostatud normaalaasta kohta ja kasutatud tarbimisandmed on toodud lisa 1, tabel 2.

Tabel 5.3. Soojusbilanss soojustatud piirete korral

Bilansikomponent	Soojuskadu läbi piirete, MWh	Õhuvahetus, MWh	Soe vesi, MWh	Arvutuslik, MWh	Möödetud, MWh
Hoovipoolne sein	7,8				
Trepikoja seinad katusel	1,6				
Tänavapoolne sein	7,4				
Otsaseinad	4,7				
I korruse põrand	16,4				
Katus	7,4				
Aknad ja trepikodade pakettuksed	48,3				
Uksed katusele	0,8				
Välisüksed hoovipoolses seinas	1,1				
Välisüksed tänavapoolses seinas	1,2				
Kokku	96,9	137,5	85,2	319,6	319,6

Tabel 5.4. Tasakaalutemperatuuri arvutuse koondtabel

Välispiirete soojuskadu	1,1	kW/K	Kogu vabasoojus	60,5	kWh/(m ² ·a)
Õhukulu L	1,3	m ³ /s	Utilisatsioonitegur	0,6	
Õhu erisoojus	1005	J/(kg·K)	Vabasoojus Q_{vs}	85905	kWh/a
Õhu tihedus	1,2	kg/m ³	Keskmine vabasoojuskoormus	13,1	kW
Ventilatsiooni erisoojuskadu	1,6	kW/K	Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt	4,8	°C
Kraadpäevade arv	3608,5	KP	Keskmine siseõhutemperatuur	20	°C
Tunde päevas	24	h/P	Tasakaalutemperatuur	15,2	°C

Soojusbilansi tulemustest on näha, et soojuskadu õhuvahetusega on märkimisväärselt kasvanud. Soojustamata soojusbilansi korral oli õhuvahetusega kaasnev soojuskadu 75,3 MWh, mis nüüd on 137,3 MWh. Selline soojuskao suurenemine õhuvahetuse korral on seletatav sellega, et hoone soojustarbimist küttele ei vähendatud võrreldes soojustamata olukorraga. Hoone õhuvahetuse kordarv on sellisel juhul 0,46 1/h.

Hoone piirdetarindite renoveerimine ja fassaadi soojustamine on andnud märgatava kokkuhoiu. Soojustamata olukorrale koostatud bilansist on näha, et soojuskaod läbi piirete moodustavad 157,7 MWh, mis on soojustamise korral langenud 96,9 MWh-ni. 1 MWh soojuse hind koos käibemaksuga on 72,26 € .[16] Läbi piirete väljuv soojushulk on vähenenud 60,8 MWh võrra, mis teeb rahaliseks säästuks 4393 €/a. Tegelikuses rahalist säästu ei saavutatud, kuna esines ülekütmine ja liigne soojus juhiti akende avamisega atmosfääri, st piirete soojuskao vähenemise kompenseeris õhuvahetuse soojuskao suurenemine.

5.3. Soojusbilanss õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite kasutamisel

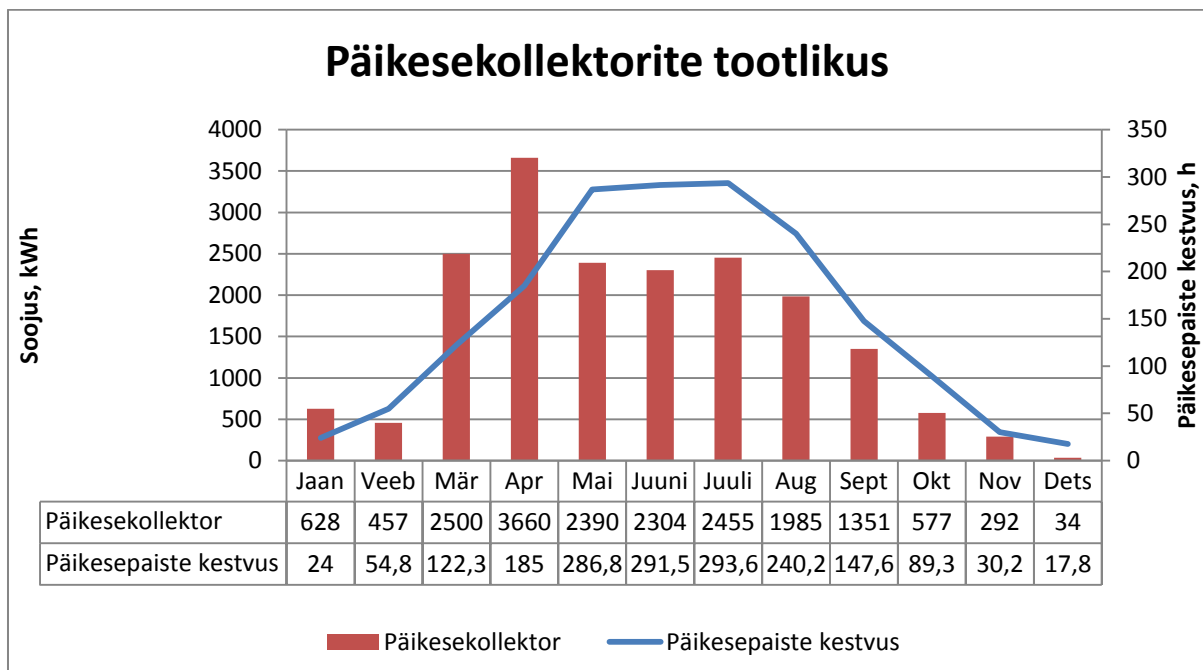
Kolmas soojusbilanss on koostatud 2013/2014 aasta tarbimisandmete põhjal. Selles bilansis on soojusallikaid kolm: kaugküte, õhk-vesi soojuspump ja päikesekollektorid. Kaugkütet kasutatakse ainult siis, kui päikesekollektori ja õhk-vesi soojuspumba tootlikus ei ole piisav.

Küttesüsteemi rekonstrueerimise tulemusena on paigaldatud uued termostaatventiilidega varustatud radiaatorid ja küttesüsteem on hüdrauliliselt tasakaalustatud.

Käesoleva aasta kohta on teada nelja kuu (jaanuari, veebruari, märtsi, aprill) tarbimisandmed. Ülejäänud kuude kütte- ja ventilatsioonisoojuse tarbimine on hinnatud jaanuari, veebruari ja märtsi tarbimisandmete alusel kraadpäevade meetodiga.

Soojuspumba soojustegur on leitud kuu keskmiste temperatuuride ja soojuspumba tehniliste andmete alusel. Lähteandmetena on kasutatud mai-detsembri pikaageid kuukeskmi temperatuure. Jaanuar-aprill soojuspumba elektritarve on mõõdetud.

Päikesekollektorite poolt genereeritava soojuse hindamiseks on kasutatud PVGIS andmete alusel programmiga Homer genereeritud päikesekiirguse andmed, mille põhjal on leitud kollektorite toodang (vastavalt nende tehnilistele andmetele) kuudele mai-detsember. Jaanuar-aprill kohta on teada 2014 a reaalne toodang, vt ka Sele 5.1. Sooja vee valmistamiseks vajalik soojus, mida ei kaeta päikesekollektorite poolt toodetud soojusega, kaetakse kas õhk-vesi soojuspumbaga või tarbitakse kaugküttevõrgust.



Sele 5.1. Päikesekollektori tootlikus

Päikesepaiste tundide põhjal on näha, et 2014 a andmed erinevad oluliselt paljude aastate keskmisest. Sarnast tendentsi võib näha ka esimese nelja kuu 2014 a reaalset mõõdetud

tulemuste ja ülejäänud kuude kohta tehtud paljude aastate keskmiste päikesepaiste kestvuse vahel.

Tabelis 5.5. ja 5.6. toodud tulemused on leitud sama arvutuskäiguga, mis soojustamata piirete soojusbilansi korral. Soojusbilanss on koostatud normaalaasta kohta ja kasutatud tarbimisandmed on toodud lisa 1, tabel 3.

Tabel 5.5 Soojusbilanss õhk-vesi soojuspumba, päikesekollektorite ja kaugkütte kasutamisel

Bilansikomponent	Soojuskadu läbi piirete, MWh	Õhuvahetus, MWh	Soe vesi, MWh	Arvutuslik, MWh	Mõõdetud, MWh
Hoovipoolne sein	7,3				
Trepikoja seinad katusel	1,5				
Tänavapoolne sein	6,9				
Otsaseinad	4,4				
I korruse põrand	15,3				
Katus	6,9				
Aknad ja trepikodade pakettuksed	45,1				
Uksed katusele	0,8				
Välisüksed hoovipoolses seinas	1,0				
Välisüksed tänavapoolses seinas	1,1				
Kokku	90,3	83,1	95,6	269	269

Tabel 5.6 Tasakaalutemperatuuri arvutuse koondtabel

Välispiirete soojuskadu	1,1	kW/K	Kogu vabasoojus	60,8	kWh/(m ² ·a)
Õhukulu L	0,85	m ³ /s	Utilisatsioonitegur	0,65	
Õhu erisoojus	1005	J/(kg·K)	Vabasoojus Q _{vs}	93507	kWh/a
Õhu tihedus	1,2	kg/m ³	Keskmine vabasoojuskoormus	14,3	kW
Ventilatsiooni erisoojuskadu	1,0	kW/K	Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt	6,6	°C
Kraadpäevade arv	3367	KP	Keskmine siseõhutemperatuur	21	°C
Tunde päevas	24	h/P	Tasakaalutemperatuur	14,4	°C

Soojusbilansist on näha, et pärast radiaatorite tasakaalustamist ja termostaatventiilide paigaldamist on soojustarbimine vähenenud 50,6 MWh võrreldes olukorraga, kus küttesüsteemi ei olnud võimalik korteripõhiselt reguleerida. Teisiti öeldes ei esine enam ülekütmist ja liigsoojust ei juhita akende kaudu atmosfääri. Sellele viitab ka soojuskadude vähenemine õhuvahetuse kaudu. Hoone tasakaalu temperatuuriks pärast lõpliku renoveerimist on saadud 14,4 °C.

6. MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED

6.1. Lihttasuvusaeg piirete renoveerimise korral

Piirete renoveerimine 2012 aastal läks kortermaja elanikele maksuma koos käibemaksuga 194581,2 €. Järgnevas tabelis 6.1. on toodud tööde maksumus.

Tabel 6.1. Kortereelamu piirete renoveerimistööde maksumus

Jrk. nr.	Tööde nimetus	Lepinguline maksumus
1	Lammutustööd ,lammutusjääkide utiliseerimine	3586,00 €
2	Fassaadi soojustamine ja viimistlemine (s.h. põsed)	80067,00 €
3	Varem soojustatud välisseinte värvimine.	16000,00 €
4	Aknaplekid	2718,00 €
5	Sokli soojustamine	4782,00 €
6	Katuslae soojustamine trepikodade kohal	3042,00 €
7	Parapeti soojustamine ja parapetiplekkide paigaldus	7855,00 €
8	Varikatused rõdude kohal	4590,00 €
9	Rõduklaasid koos paigaldamisega	19661,00 €
10	Rõdude viimistlemine, krohviparandused ja värvimine	3500,00 €
11	Rõdupiirete plekid	1500,00 €
12	Muud üldehitustööd	1200,00 €
13	Panduse lammutus ja 50cm sokli soojustus maa alla 50mm	1500,00 €
15	Tellija reserv 5 %, juba soojustatud sein ja rõdude värvimise asendamine armeerimisvõrgu ja krohviga	7500,05 €
16	Lisatööd, lisandunud krohvitööd ja soklile uue panduse valamine	4649,95 €
KOKKU:		162151,00 €
Käibemaks 20%:		32430,20 €
SUMMA KOKKU:		194581,20 €

Enne piirete renoveerimist olid soojuskaod läbi piirete 157,7 MWh/a ning pärast soojustamist olid soojuskaod 96,9 MWh/a. Eeldusel, et õhuvahetus oleks jäänud samaks, on aastase soojuse tarbe vähenemine

$$157,7MWh/a - 96,9MWh/a = 60,8MWh/a.$$

1 MWh soojuse hind koos käibemaksuga on 72,26 €. See teeb aastase kokkuhoitud summaks

$$60,8MWh/a \cdot 72,26€/MWh = 4393,4€/a,$$

mis teeb lihttasuvusajaks

$$\frac{194581,2€}{4393,4€/a} = 44,3 a.$$

Peale renoveerimist suurenes õhuvahetus, sest esines hoone ülekütmist. Selle põhjustas asjaolu, et hoonele vajamineva kütte osakaalu ei vähendatud ning üleliigne soojus juhiti atmosfääri. Selle tagajärjel paranes hoone sisekliima, kuid energia kokkuhoid ja rahaline sääst jäi saavutamata.

6.2. Lihttasuvusaeg õhk-vesi soojuspumba, päikesekollektorite ja küttesüsteemi renoveerimisele

Õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite investeeringu maksumus koos lisatöödega oli käibemaksuga 146782,9 €. Tabelis 6.2 on toodud tööde maksumus.

Tabel 6.2 Teostatud tööde ja kulude maksumus

Teostatud tööde ja kulude nimetused	Hind (EUR)
Lammutustööd, lammutusjääkide utiliseerimine	500,0
Küttesüsteemi renoveerimine, tasakaalustamine, koos viimistluse taastamisega	23000,0
Sagedusmuunduri, tsirkulatsioonipumba ja paisupaagi vahetus	1000,0
Soojuspumba maksumus	16500,0
Soojuspumba paigaldus	8500,0
Individuaalne küttekulu mõõtmise süsteem	3959,1
Ventilatsioon	20000,0
Tugevvoolupaigaldis ja ventilatsioon küttesüsteemi tööks	5000,0
Päikeseküte	20200,0
Ventilatsiooni, soojuspumba ja päikeseküttega seotud automaatika	1000,0
Muud tööd ja kulud	10000,0

Teostatud tööde ja kulude nimetused	Hind (EUR)
Tellija reserv 5% õhuklapid akendesse	5660,0
Möödusõlme torustiku renoveerimise lisatööd	7000,0
Kokku:	122319,1
Käibemaks 20%	24463,8
Kõik kokku:	146782,9

Uurime lihttasuvusaega õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite rakendamisel võrreldes hoone seisukorraga, kui see on soojustatud ja kogu soojus tarbitaks kaugküttest. Kogu soojuse tarbimine on 319,6 MWh/a, mis teeb aastaseks rahaliseks kuluks kaugkütte soojusele

$$319,6 \text{ MWh/a} \cdot 72,26 \text{ €/MWh} = 23094,3 \text{ €/a.}$$

Õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite kasutamisel on tarnitud soojuse tarbimine 269 MWh/a. Võrreldes olukorraga, mis eelnes küttesüsteemi renoveerimisele, on vähenenud õhuvahetus. Õhuvahetuse vähenemisest tulenevalt alaneb ka soojusevajadus, st soojusevajadus on langenud 319,6 MWh/a tasemeni 269 MWh/a. Õhuvahetuse vähenemine toob kaasa energiatarbe vähenemise, kuid teisest küljest võib põhjustada sisekliima halvenemist.

Uuest tarbimise tasemest 269 MWh/a moodustab 164,2 MWh soojuspumba toodang, mille tootmiseks tarbitakse 52596 kWh/a elektrit (1 kWh hind koos maksude ja tasudega 02.05.2014 seisuga Elektrilevi andmetel 12,31 euro senti). Õhk-vesi soojuspumba poolt genereeritud soojuse aastane maksumus on

$$52596 \text{ kWh/a} \cdot 0,1231 \text{ €/kWh} = 6474,6 \text{ €/a.}$$

Kaugküttest tarbitav soojus on 87,3 MWh/a, mis teeb aastaseks maksumuseks

$$87,3 \text{ MWh/a} \cdot 72,26 \text{ €/MWh} = 6308,3 \text{ €/a.}$$

Kogu soojustarbimisest on päikesekollektori poolt genereeritud soojus 17,5 MWh/a. Päikesekollektorite poolt toodetud soojuse maksumus on 0€/a. Aastased kulutused soojusele on

$$6474,6 \text{ €/a} + 6308,3 \text{ €/a} = 12782,9 \text{ €/a}$$

Rahaline sääst on

$$23094,3\text{€}/a - 12782,9\text{€}/a = 10311,4\text{€}/a,$$

mis teeb lihttasuvusajaks

$$\frac{146782,9\text{€}}{10311,4\text{€}/a} = 14,2a.$$

Tegemist on lihttasuvusaja meetodiga, mis ei arvesta raha väärtuse muutust ajas ja võimalike energiahindade kallinemist tulevikus.

6.3. Lihttasuvusaeg õhk-vesi soojuspumba, küttesüsteemi renoveerimise ja kaugkütte kasutamise korral

Uurime lihttasuvusaega juhul, kui oleks rakendatud ainult õhk-vesi soojuspump ja kaugküte võrreldes hoone seisukorraga, kui see on soojustatud ja kogu soojus tarbitaks kaugküttest. Kogu soojuse tarbimine on 319,6 MWh/a, mis teeb aastaseks rahaliseks kuluks soojusele

$$319,6 \cdot MWh/a \cdot 72,26\text{€}/MWh = 23094,3\text{€}/a.$$

Õhk-vesi soojuspumba ja kaugkütte kasutamise korral on kogu soojuse tarbimine 269 MWh/a. Sellest 174,4 MWh on soojuspumba toodang, mille tootmiseks tarbitakse 54810 kWh/a elektrit. Õhk-vesi soojuspumba poolt genereeritud soojuse aastane maksumus on

$$54810\text{kWh}/a \cdot 0,1231\text{€}/\text{kWh} = 6747\text{€}/a.$$

Kaugküttest tarbitav soojus on 94,6 MWh/a, mis teeb aastaseks maksumuseks

$$94,6\text{MWh}/a \cdot 72,26\text{€}/MWh = 6835,8\text{€}/a.$$

Aastased kulutused soojusele on

$$6747\text{€}/a + 6835,8\text{€}/a = 13582,8\text{€}/a.$$

Rahaline sääst on

$$23094,3\text{€}/a - 13582\text{€}/a = 9512,3\text{€}/a,$$

mis teeb lihttasuvusajaks

$$\frac{146782,9\text{€} - 20200\text{€}}{9512,3\text{€/a}} = 13,3a.$$

6.4. Kogu investeeringu lihttasuvusaeg

Võrdleme esialgset olukorda lõpptulemusega. Enne õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite paigaldamist tarbiti soojust ainult kaugküttest. Aastas tarbiti 329,3 MWh soojusenergiat, mis maksab

$$329,3\text{MWh} \cdot 72,26\text{€/MWh} = 23795,2\text{€}.$$

Aastane kokkuvõide võrreldes lõppolukorraga

$$23795,2\text{€} - 12782,9\text{€} = 11012,3\text{€}.$$

Võttes arvesse piirete renoveerimistööde hinna ning õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite hinna koos küttesüsteemi renoveerimistöödega, saame lihttasuvusajaks võrreldes esialgse olukorraga

$$\frac{194581,2\text{€} + 146782,9\text{€}}{11012,3\text{€/a}} = 31a.$$

6.4. Hoone energiamärgis

Energiamärgis näitab, kui palju hoone tarbib energiat, mis kulub hoone kütmisele, jahutamisele, vee soojendamisele, ventilatsioonile ja valgustusele. [17]

Hoone energiamärgis on leitud olukorrale, kui hoonel on renoveeritud piirded ja küttesüsteem ning töötavad õhk-vesi soojuspump ja päikesekollektorid.

Energiamärgise määramiseks on vaja leida hoone seadmete ja valgustuse elektritarve

$$\frac{(\text{Olmeelektter} + \text{üldelektter}) \cdot 2}{\text{hoone köetav pindala}} = \frac{(61640\text{kWh/a} + 6913,5\text{kWh/a}) \cdot 2}{2367\text{m}^2} =$$

$$= 58 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot a).$$

Märkus: Valemis on kaalumistegur 2.

Elekter, mis on kulunud normaalaastal kütteks

$$\frac{\text{Kütteks kulunud elekter} \cdot 2}{\text{hoone k\o etav pindala}} = \frac{47211\text{kWh} \cdot 2}{2367\text{m}^2} = 39,9\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}).$$

Kaugk\ute, mis on kulunud normaalaastal k\uteks

$$\frac{\text{K\uteks kulunud kaugk\ute} \cdot 0,9}{\text{hoone k\o etav pindala}} = \frac{32500\text{kWh/a} \cdot 0,9}{2367\text{m}^2} = 12,4\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}).$$

M\arkus: Valemis on kaalumistegur 0,9.

Elekter, mis on kulunud sooja vee valmistamiseks

$$\frac{\text{Sooja vee elekter} \cdot 2}{\text{hoone k\o etav pindala}} = \frac{5384\text{kWh/a} \cdot 2}{2367\text{m}^2} = 4,5\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}).$$

Kaugk\uttest tarbitud soojus tarbevee soojendamiseks

$$\frac{\text{Kaugk\utte soe vesi} \cdot 0,9}{\text{hoone k\o etav pindala}} = \frac{54800\text{kWh/a} \cdot 0,9}{2367\text{m}^2} = 20,8\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}).$$

Hoone kaalutud energiakasutus

$$58 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + 39,9\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + 12,4\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + 4,5\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \\ + 20,8\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) = 136\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}).$$

Kortermaja, mille kaalutud energia kasutus on 136 kWh/(m²·a) kuulub kaalutud energiat\ohususe klassi C. [18]

6.5. CO₂ emissioon hoone k\utmisel

Majanduslikele arvutustele lisaks on arvatatud primaarenergia vajadus ja CO₂ emissioon, mis on toodud tabelis 6.3. Maagaas on p\ohiline k\utus, mida kasutatakse Tallinnas kaugk\utteks. Tallinna kaugk\utte v\orgukaod on 16 % ja katlamajade aastane kasutegur on 92 %. [16] Need andmed on kasutatud kaugk\utte primaarenergia arvutamiseks. CO₂ emissioon kaguk\utte puhul on arvatatud l\ahitudes v\alis\ohku eralduva s\usiniikkioksiidi heitkoguse m\aaramise meetodist. [19] Elektriv\orgu kaod on 7,1 % ja keevkihtkatla aasta keskmine netokasutegur on 35 %. Need andmed on kasutatud primaarenergia arvutamiseks, mis on vaja elektri tootmiseks. [20]

Ligikaudu 90 % elektrist on toodetud põlevkivist. [21, 22] Keevkihtkatla CO₂ emissioonitegur on 1,01 t/MWh_e. [21]

Võrreldud on omavahel esialgset olukorda lõpptulemusega. Esialgu saadi kogu soojus kaugküttest, mis oli 329 MWh/a ning hoone piirded olid renoveerimata. Pärast renoveerimist saadakse soojus õhk-vesi soojuspumba, päikesekollektorite ning kaugkütte abil. Kogu tarbitud soojus on 269 MWh/a.

Tabel 6.3 CO₂ emissioon [23]

Näitaja	Ühik	100% kaugküte	Kaugküte+õhk-vesi soojuspump+päikesekollektorid
Kaugkütte tarbimine	MWh/a	329	87
Kaugküttevõrgu suhtelised kaod	%	16	16
Katlamaja aastakeskmine kasutegur	%	92	92
Primaarenergia	MWh/a	426	113
Maagaasi kütteväärtus	MWh/1000 m ³	9,3	9,3
Maagaasi tarbimine	1000 m ³	45,8	4,6
Kaugkütte CO₂ heide	t/a	85	22
Elektri tarbimine	MWh/a		53
Elektrivõrgu suhtelised kaod	%	7,1	7,1
Elektritootmise kasutegur	%	35	35
Primaarenergia	MWh/a	0	163
CO₂ emissioonitegur	t/MWh _{el}	1,01	1,01
Elektri CO₂ heide	t/a	0	58
Primaarenergia	MWh/a	426	276
CO₂ heide kokku	t/a	85	80

Tulemustest järeldub, et peale lõpliku renoveerimist on soojuse tarbimine vähenenud, kuid see tuleneb õhuvahetuse vähenemise arvelt. Õhuvahetuse vähenemisest tulenevalt annab soojuspumba kasutamise lahendus primaarenergia ja CO₂ heite seisukohalt parema tulemuse võrreldes kaugkütte kasutamisega. Samade tarbimisandmete korral on kaugkütte kasutamisel primaarenergia vajadus samaväärne õhk-vesi soojuspumba rakendamisel koos kaugküttega. Teisest küljest on CO₂ heide kaugkütte kasutamisel hoone poolt tarbitava energia tootmiseks sama tarbimise juures väiksem võrreldes soojuspumba rakendamisega koos kaugkütte kasutamisega. [23] Päikesekollektorite rakendamine vähendab antud töös vaadeldud soojusvarustusalternatiivi (kaugküte+õhk-vesi soojuspump+päikesekollektor) korral nii primaarenergia vajadust kui CO₂ heidet.

KOKKUVÕTE

Uuritavale kortermajale paigaldati õhk-vesi soojuspump ja 10 päikesekollektorit. Õhk-vesi soojuspump on Alpha-Inno Tec LW 310A ning selle maksimaalne võimsus on 35 kW. Ühes päikesekollektoris on kokku 30 vaakumtoru ja kollektori tootev absorberpind on 2,41m². Kollektorid asetsevad kortermaja katusel ja on horisontaalpinna suhtes 60° nurga all. Sellise kaldenurga puhul töötavad kollektorid paremini kevad-sügisel perioodil ning halvemini suvel võrreldes 45° nurga alla paigaldatud päikesekollektoritega. Paigaldatud kollektorid asuvad 59 põhja laiuskraadil ning asimuut on 18°.

Kortermajal renoveeriti piirdetarindid, mille tulemusel vähenesid soojuserikaod läbi piirete 1,1 kW/K-ni. Enne renoveerimist olid soojuserikaod läbi piirete 1,8 kW/K. Samuti järeldub soojusbilansist, mis on tehtud soojustatud piirete korral, et kortermajal ei vähendatud kütet ning seetõttu „köeti õhku“. Sellel aastal inimesed ei saavutanud säästu, mida oleks eeldanud soojustatud piirete korral.

Õhk-vesi soojuspumba ja päikesekollektorite paigaldamise korral tehtud soojusbilansist on näha, et soojustarbimine on märkimisväärselt vähenenud. Kui soojustamata piirete korral tarbiti aastas 329,3 MWh soojust, siis lõpptulemusena tarbitakse aastas soojust 269 MWh. Sellele aitab kindlasti kaasa ka see, et radiaatoritele paigaldati termostaatventiilid, mille abil saavad inimesed reguleerida ruumi temperatuuri vastavalt vajadusele. Kaugkütteettevõtte vaatevinklist on see kahjulik, sest nende poolt müüdava soojuse potentsiaalne ostja on üle läinud paralleelsele küttesüsteemile ja tarbib kaugkütet minimaalselt, st nn tippude katteks. Juhul, kui sellist küttelehendust hakatakse kasutama laialdaselt, siis kaugküte kaotab oma mõtte.

Päikesekollektori, õhk-vesi soojuspumba ja küttesüsteemi renoveerimistöode lihttasuvusajaks on saadud 14,2 aastat. See on pikk aeg ja seda mõjutab suuresti päikesekollektorite kõrge hind. Kogu investeeringu lihttasuvusajaks on saadud 31 aastat. Kuigi majanduslikult selliste süsteemide korral päikesekollektorite lisamine ei ole põhjendatud, siis renoveerimistoetuste saamiseks nõutava kaalutud energia erikasutuse klassi saavutamiseks võib osutuda see siiski vajalikuks.

Päikesekollektorite põhiline soojuse toodang langeb suveperioodile, mil on välisõhutemperatuur suhteliselt kõrge ja seega ka soojustegur. Teisiti öeldes võtavad päikesekollektorid ära soojuspumbalt töötunde, ajal kui soojuspumba efektiivsus on kõige kõrgem.

Lisaks on arvutuste teel määratud kortermajale energiamärgis, mis näitab, kui palju hoone tarbib energiat, mis kulub hoone kütmisele, jahutamisele, vee soojendamisele, ventilatsioonile ja valgustusele. Hinnanguline kaalutud energia erikasutus on $136 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, mis kuulub klassi C.

Töö tulemustest järeldub, et pärast hoone renoveerimist on vähenenud hoone õhuvahetus, mis toob kaasa ka energiatarbe vähenemise. Sellest tulenevalt on uues olukorras primaarenergia vajadus ja CO₂ heide madalam võrreldes enne soojusvarustuse rekonstrueerimist. Kui pärast soojusvarustuse rekonstrueerimist oleks õhuvahetus säilinud samal tasemel, oleks uue soojusvarustussüsteemi korral eeldatav CO₂ heide oluliselt suurem, mida on ka näidanud varasemad uurimistööd.

SUMMARY

An air-water heating pump and 10 solar collectors were installed to the apartment building. The air-water heating pump is Alpha-Inno Tec LW 310A and it produces 35 KW. One solar collector has 30 vacuum tubes and the productive absorbent surface of collectors is 2.41m^2 . The collectors are located on the roof of the apartment building and form a 60-degree angle with the flat roof. With this angle the collectors work at the best efficiency during spring-autumn, and a bit worse in the summer compared to the collectors which are used at 45-degree angle. The installed collectors are located at 59 northern latitude and azimuth is 18.

The walls of apartment were renovated and the heat loss rate decreased to 1.1kW/K . Before renovation the heat loss rate through the walls was 1.8 kW/k . Despite the house being renovated, the heat balance shows that the usage of heat did not reduce. It may be caused by not turning the heat down. During that year the residents of the house did not receive any expected profits from the investment.

The heat balance shows that when the air-water heating pump and sun collectors were installed, the usage of heat has reduced. When the house was not renovated, it used $329,3\text{ MWh}$ of heat per year and due to the renovation it decreased to 269 MWh of heat per year. The heat usage might have reduced because a thermostat valve was installed to a radiator, which in turn allows residents to adjust the temperature in apartments. Companies that provide customers with long distance heat find it harmful because the potential users of their product have started to produce heat by themselves and use less the heat produced in their companies. If this heat solution is widely used, the companies will lose their purpose.

The profitability time of solar collectors, air-water pump and renovation of the heat system is 14,2 years. It is a long time and is negatively affected mainly by high price of solar collectors. The profitability of the whole investment is 31 years.

All apartment houses have added an energy tag that has been added together to calculate how much the building really uses energy for heating or cooling down the temperature in buildings, also how much energy is used for ventilation, electricity and heating water. The result of the calculations of current houses is $136\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$, which makes up class C.

The result of work shows that after renovation of the building it is possible to save primary energy and, in addition, there has also been reduction of CO₂ emission. The whole investment is very expensive but it compensates itself in a long perspective.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Eesti soojuspumba liidu kodulehekülg [WWW] <http://www.soojuspumbaliit.ee/> (15.05.2014)
- [2] ABC Kliima kodulehekülg [WWW] <http://www.abckliima.ee/erakliendile/tooted/grupp/ohk-vesi-soojuspumbad> (22.03.2014).
- [3] Õhus, pinnases ja vees salvestunud energia [WWW] http://www.e-ope.ee/download/euni_repository/file/2287/HOONE%20JA%20SOOJUSAUTOMAATIKA.zip/351_hus_pinnases_ja_vees_salvestunud_energia.html (22.03.2014).
- [4] Actrol kodulehekülg [WWW] <http://www.actrol.com.au/> (15.05.2014)
- [5] Kalogirou, S.A.. (2004). Solar thermal collectors and applications. - *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 231-295
- [6] Kaygusuz, K. (1995). Performance of solar-assisted heat pump systems. - *Applied Energy* 51, 93–109
- [7] TopTerm OÜ [WWW] <http://www.topterm.ee/kuttessysteemid.html> (22.03.2014).
- [8] KÜ Koskla 7 Energiatõhusus renoveerimisprojekt
- [9] Maa-ameti Geoportaal [WWW] <http://xgis.maaamet.ee> (24.03.2014).
- [10] AIT Nord kodulehekülg [WWW] <http://ait-nord.ee/ohk-vesi-soojuspumbad/lwa-seeria/> (02.05.2014)
- [11] AIT Nord kodulehekülg [WWW] <http://ait-nord.ee/paikesequite/> (02.05.2014).
- [12] Ingermann, K. Soojusvarustussüsteemid. Tallinn: TTÜ kirjastus, 2003.

- [13] Hamburg, A., Hamburg, P. Koskla 7 korterelamu energiaauditi aruanne, 2013.
- [14] Hoone ja energiaaudiitorite koolitus. Kõide II. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2008.
- [15] Riigi Teataja kodulehekülj [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001> (02.05.2013).
- [16] AS Tallinna kütte kodulehekülj [WWW] www.soojus.ee (02.05.2014).
- [17] Soojusauditi kodulehekülj [WWW] <http://www.soojusaudit.ee/energiamargis> (14.05.2014).
- [18] Kaalutud energiaerikasutuse ja energiatõhususarvu klassi määramine. Energiamärgise vorm ja väljaandmise kord. Määrus nr.30, 2013.
- [19] Riigi Teataja kodulehekülj [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/12757215> (17.05.2014).
- [20] Eesti statistika kodulehekülj [WWW] www.stat.ee (17.05.2014).
- [21] Plamus, K., Soosaar, S., Ots, A., Neshumayev, D. (2011). Firing Estonian oil shale of higher quality in CFB boilers – environmental and economic impact. - *Oil Shale*, 28, 113–126
- [22] Plamus, K., Ots, A., Pihu, T., Neshumayev, D. (2011). Firing Estonian oil shale in CFB boilers - ash balance and behaviour of carbonate minerals. - *Oil Shale* 28, 58-67
- [23] Mashatin, V., Link, S., Siirde, A. The impact of alternative heat supply options on CO₂ emission and district heating system. *Chemical Engineering Transactions*, 39, 2014. Aktsepteeritud avaldamiseks.

LISA

Lisa 1

Tabel 1. Tarbimisandmed 2011/2012

	jaanuar	veebruar	märts	aprill	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember	summa	Normaal- aasta
Kaugküte, MWh	52,8	54,5	43,7	28,8	13,1	8,7	7,7	7,7	11,4	28,1	38,8	39,8	335,0	
Küte, MWh	44,8	46,5	35,6	20,8	5,1	0,0	0,0	0,0	3,3	20,0	30,8	31,8	238,7	232,9
Korterite elekter, kWh	5539	5512	6023	4571	4832	3902	3706	3662	4897	5061	6050	6479	60234	
Üldelekter, kWh	553	476	529	438	285	201	193	201	255	465	527	519	4642	

Tabel 2. Tarbimisandmed 2012/2013

	jaanuar	veebruar	märts	aprill	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember	summa
Kogu kaugküte, MWh	55,6	44,1	49,9	29,8	13,7	7,2	7,2	7,0	8,3	20,3	27,4	33,8	304,3
Küte, MWh	48,5	37,0	42,8	22,7	6,6	0	0	0	1,2	13,2	20,3	26,7	219
Normaalaasta	47,2	42,0	33,1	21,1	10,4	0	0	0	1,5	15,6	26,5	36,7	234,3
Korterite elekter, kWh	5729	5132	5504	5062	4347	3459	3708	3618	5251	5547	6463	6896	60716
Üldelekter, kWh	540	476	102	508	367	187	249	291	529	616	1785	625	6275

Tabel 3. Tarbimisandmed 2013/2014

	jaanuar	veebruar	märts	aprill	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember	summa
Õhk-vesi soojuspumba soe vesi, MWh	0,9	0,3	0,6	0,5	2,2	5,0	4,9	5,8	1,8	0,5	0,4	0,3	23,3
Õhk-vesi soojuspumba normaalaasta küte, MWh	16,7	29,2	24,3	11,7	5,9	0	0	0	4,3	10,6	16,5	21,8	140,9
Päikesekollektorid, MWh	0,628	0,457	2,5	3,66	2,33	2,57	2,65	1,73	0,78	0,16	0,02	0	17,5
Kaugküte normaalaasta, MWh	11,6	8,4	0	0	0	0	0	0	0	0	5,4	7,1	32,5
Kaugkütte soe vesi, MWh	6,9	7,2	6,8	4,6	3	0	0	0	5	6,9	7,1	7,3	54,8
Korterite elekter, kWh	6599	6639	6089	3374	4589,5	3680,5	3707	3640	5074	5304	6256,5	6687,5	61640
Üldelekter, kWh	838	911	1105	412	326	194	221	246	392	540,5	1156	572	6913,5