



Tellija andmed:

Tellija: KÜ Esku 14

Address: Pilstvere tee 12, Esku küla, Põltsamaa vald, Jõgevamaa

Kontaktisik: Roland Sälik

Tel. +372 5044947

E-post: esku014@gmail.com

**Pilstvere tee 12 korterelamu
ENERGIAAUDIT**



Pilstvere tee 12, Esku küla, Põltsamaa vald, Jõgeva maakond

Logeritega sisekliima mõõtmine: 5.02.2018 – 9.02.2018

Aruanne esitatud: 26.02.2018

Auditeerija andmed:

Ettevõte: Energiasäästubüroo OÜ

MKM reg. nr. : EHA000019, EP000163, EEK000048

Address: Paevälja puiestee 5, Tallinn

Tel: +372 6 606 656

E-post: hello@energiaaudit.ee

Energiaauditi teostaja: Pavel Titov (6. taseme energiaaudiitor)

Eessõna

Käesolevas energiaauditi aruandes on esitatud Jõgevamaal, Põltsamaa vallas, Esku külas, aadressil Pilstvere tee 12 kolmekorruselise korterelamu piirdetarindite, kütte- ja ventilatsioonisüsteemide hetkeolukord ning võimalused energiatarbe vähendamiseks. Säästuettepanekutes on ära toodud nende realiseerimise üldine mõju, saavutatav sääst ja investeeringute tasuvusajad.

Auditeerimise mahu ja mudeli aluseks on võetud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ning Tallinna Tehnikaülikooli poolt väljatöötatud hoonete energiaauditi juhendmaterjal.

Ülevaatus tugineb insenertehnilistel mõõdistustöödel, hoone projektdokumentatsiooni analüüsil ja valdaja küsitlusandmetel. Auditeerimine viidi läbi kolmeastmelisena: a) hoone lähteandmete kogumine (üldandmed, energiatarve) valdajale väljasaadetud küsitluslehe abil; b) hoone inspekteerimine ja küsitluslehe täitmine; c) kogutud andmete põhjal insenertehniliste ja majanduslike arvutuste sooritamine ning auditiraporti koostamine.

Hoone auditeerimisel analüüsiti 2015...2017. aasta elektrienergia, tarbevee ja küttepuude kulu ning vastavaid rahalisi kulutusi. Meetmete tasuvuse hindamisel võeti arvesse kehtivad küttepuude ja elektrienergia hinnad.

Aruanne sisaldab hoone piirdetarindite ning tehnosüsteemide tehnilis-majanduslikku analüüsi, energia tarbimise alandamise potentsiaali lähtuvalt võimalikest energiasäästumeetmetest. Energiasäästu potentsiaal on esitatud vajalike investeeringute, eeldatava energeetilise säästu ning lihttasuvusaja kujul.

Optimaalne renoveerimis-/ rekonstrueerimispakett valitakse välja tellija poolt vastavalt rahalise finantseerimise võimalustele. Osa säästumeetmeid on selliseid, mille rakendamine annab reaalselt säästu ainult rakendatuna koos teiste meetmetega, seetõttu esitatakse säästumeetmed pakettidena. Välja toodud energiasäästumeetmete pakettide rakendamisel paraneb ka hoone sisekliima. Tuleb tähele panna, et erinevate meetmete rakendamisel saadavad säästud ei ole otseselt liidetavad.

Väljapakutud energiasäästu ettepanekute realiseerimine võib nõuda vastavate tööde jaoks vastava projekti koostamist (erijuhul ka ehitusluba), mida tuleks arvestada ehitusfirmadelt tööde hinnapakkumiste küsimisel.

Säästupotentsiaal, energiahinnad ja kõik kulutused auditis on arvestatud käibemaksuga 20%.

Objekti ülevaatusel abistas audiitorit KÜ Esku 14 juhatuse liige Roland Sälik.

Korterelamu energeetilise auditeerimise viis läbi energiaaudiitor (tase 6 täiskutse) Pavel Titov.

Sisukord

1. ENERGIAAUDITI TULEMUSTE KOKKUVÕTE JA ÜLEVAADE SÄÄSTUETTEPANEKUTEST	4
1.1. ÜLEVAADE HOONE SOOJUSENERGIA KULUDEST	4
1.2. HOONE SISEKLIIMA PARANDAMISE JA ENERGIASÄÄSTU MEETMETE PAKETID	4
1.3. KOKKUVÕTE MEETMETE PAKETTIDEST	12
2. AUDITEERITAVA HOONE ÜLDINE ISELOOMUSTUS	13
2.1. ASUKOHT JA PAIKNEMINE	13
2.2. HOONE OLULISEMAD ANDMED	13
2.3. HOONE VÄLISTARINDITE KIRJELDUS	14
2.3.1. Välisseinad ja sokkel	14
2.3.2. Katus	14
2.3.3. Esimese korruse põrand	15
2.3.4. Avatäited	15
2.4. TEHNOSÜSTEEMID	15
2.4.1. Kütte- ja sooja tarbevee ettevalmistamise süsteemid	16
2.4.2. Ventilatsioonisüsteem	17
2.4.3. Vee- ja kanalisatsioonisüsteemid	18
2.4.4. Elektrisüsteem	18
3. SISEKLIIMA MÕÖTMISTULEMUSED	19
3.1. SISEÕHUTEMPERatuur MÕÖTMISPERIOODIL	19
3.2. SUHTELINE ÕHUNIISKUS MÕÖTMISPERIOODIL	19
4. ENERGIA TARBIMISE ANALÜÜSI TULEMUSED	21
4.1. KÜTUSE JA ARVUTUSLIKU SOOJUSE KULU ANALÜÜS	21
4.2. ELEKTRIENERGIA TARBIMISE ANALÜÜS	22
4.3. TARBEVEE TARBIMISE ANALÜÜS	23
4.4. PILISTVERE TEE 12 KORTERELAMU KAALUTUD ENERGIAKASUTUSE KLASS	23
5. HOONE SOOJUSBILANSS	24
6. PILISTVERE TEE 12 KORTERELAMU RENOVEERIMISLAHENDUSED	27
6.1. HOONE SOOJUSKAOD PEALE RENOVEERIMIST RENOVEERIMISPAKETTIDES PAKUTUD MEETMETE RAKENDAMISEL	27
6.2. RENOVEERIMISLAHENDUSTE KIRJELDAMINE	30
6.2.1. Välisseinad ja sokkel	30
6.2.2. Katus ja pööningu põrand	30
6.2.3. Avatäited: aknad ja välisuksed	31
6.2.4. Küttesüsteem	32
6.2.5. Ventilatsioonisüsteem	33
6.2.5.1. Värskeõhuklappide paigaldus koos väljatõmbeventilaatoritega köögis ja sanitaariumides	34
6.2.5.2. Värskeõhuradiaatori paigaldamine	35
6.2.5.3. Soojustagastusega mehaaniline sissepuhke- / väljatõmbeventilatsioon	36
6.2.5.4. Fassaadialune soojustagastusega ventilatsioonisüsteem	37
7. LISAD	38
7.1. VABASOOJUSKOORMUSE JA TASAKAALUTEMPERAATUURI LEIDMINE	38
7.2. ILLUSTREERIVAD PILDID	40
7.3. KASUTATUD KIRJANDUS	42

1. Energiaauditi tulemuste kokkuvõte ja ülevaade säästuettepanekutest

Käesolevas peatükis on esitatud kokkuvõte Pilistvere tee 12 korterelamu energiaauditi läbiviimise tulemustest. Energiaauditi analüüsi aluseks on 2015...2017 aasta energiatarbimise andmed (küttepuud, elektrienergia).

1.1. Ülevaade hoone soojusenergia kuludest

Pilistvere tee 12 elamu normaalaasta soojuse tarbimine on 231 MWh aastas ja lähtuvalt hoone köetavast pinnast 1139,4 m² on normaalaasta keskmine soojusenergia tarbimine pinnauhikule 203 kWh/m² aastas, mis on palju.

Käesoleva aruande peatükis 1.2. on ära toodud kolm põhilist energiakokkuhoiu meetmete paketti. Peamiseks eesmärgiks pakettide koostamisel on soojusenergiakulude vähendamine ning ruumide parema sisekliima saavutamine.

1.2. Hoone sisekliima parandamise ja energiasäästu meetmete paketid

Käesolevas peatükis on ära toodud kolm põhilist sisekliima parandamise ja energiakokkuhoiu meetmete paketti. Põhiliseks eesmärgiks pakettide koostamisel on tervisliku sisekliima loomine, teiseks eesmärgiks on aga energiasääst. Peab silmas pidama, et energiasäästu ei tohi saavutada sisekliima arvelt.

Meetmete paketid on koostatud viisil, mis võimaldaks renoveerimistöde teostamiseks taotleda KredEx-i toetust¹.

Energiaauditis on välja toodud kolm renoveerimispaketti:

- ✓ 2 energiakasutuse vähendamise paketti (võimaldab taotleda 15% ja 25% toetust);
- ✓ energiakasutuse vähendamise ja taastuenergia kasutuse pakett (võimaldab taotleda 40% toetust).

Tehtavate tööde maksumuse määramisel kasutatakse konstruktiivemendi maksumuse määramise meetodikat. Ühikhinnad sisaldavad ehitamise otsekulusid (tööjõud, materjalid, ehitusmasinad-seadmed), ehitusplatsi ja -firma üldkulusid, mõistlikku kasumit ja käibemaksu (20 %). Projekti raames koostatud maksumushinnang on orienteeriv, st. Pilistvere tee 12 elamu renoveerimiseks tuleb koostatud projektdokumentide alusel korraldada hinnapakumuste küsimine potentsiaalsetelt ehitustöid tegevatelt ettevõtjatelt. Ehitusmaksumus sõltub nii ajahetkest, objekti asukohast kui ka tellija poolt koostatud töövõtuprogrammist. Siinkohal tuleb rõhutada renoveerimise kavandamise, s.o. tehniliste lahenduste projekteerimise olulisust. Projektlahenduste põhjendatus, detailsus ja põhjalikkus parandavad ilmselgelt tööde kvaliteeti ja ka renoveerimise tehnilist ning majanduslikku tulemust.

¹ Rohkem infot saab Kredexi kodulehelt:

<http://www.kredex.ee/korteriuhistu/korteriuhistu-toetused/rekonstrueerimise-toetus/>

Märkused renoveerimistöde maksumuse kalkulatsiooni kohta:

- ✓ arvutuste aluseks olev hinnainfo pärineb tööde maksumuse eelarvestamisel näidiselanutele võetud hinnapakkumistest, analoogobjektide tegelikest hinnapakkumustest ning sarnaste objektide renoveerimistöde tegelikust maksumusest;
- ✓ arvutustes, kus on arvestatud pangalaenu intressiga, eeldatakse, et renoveerimist rahastatakse täies mahus laenurahaga;
- ✓ kui meede viiakse ellu täies ulatuses, eeldatakse olukorda, et eelnevalt ei ole meetme osas töid tehtud.

Lisaks elamu renoveerimistöde tegemisele (kulutused ehitusettevõtjale tehtud tööde eest) tekivad renoveerimisega seondult üldjuhul järgmised kulutused (lihtsustatud loetelu):

- korterelamu olemasoleva tehnilis-majandusliku olukorra hindamine vastavate spetsialistide poolt – kulutused uuringutele ja ekspertiisidele (nt termoülevaatus, ventilatsioonišahtide ülevaatus);
- arhitektuursete ja tehniliste projektdokumentide koostamine ning ehitusloa taotlemine – projekteerimiskulutused ja vastavate lubade taotlemisega seotud kulud;
- renoveerimistöde hanke korraldamine – kulutused (aeg, raha) hanke ettevalmistamiseks; vajadusel kulutused konsultantidele;
- kulutused omanikujärelevalvele.

Majandusarvutustes kasutatavate sisendandmete puhul lähtutakse järgnevast:

- hoone energiatõhususe parandamiseks võetava laenu intressimäär vastavalt hetkel kehtivale KredEx-i renoveerimisläänule on 2,9 % (laen alates 100 000 eur) kuni 5 % (laen kuni 100 000 eur) kogu laenu tagasimakse ajale;
- laenu tagasimaksmise aeg korterelamutele on kuni 20 aastat;
- laenu tagasimaksmise ajal on konstantseks soojuse maksumuseks võetud:
 - ✓ küttepude kehtiv hind 2018. aastal 38 €/rm + kütja miinimumpalk (9 kuud).

I meetmete pakett ehk nn energiakasutuse vähendamise pakett (toetus 15%, värskeõhuklappidega sundväljatõmbeventilatsioon):

- ❖ korterite õhuvahetuse suurendamist tagatakse korterelamu ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel (korterites pidev ventilatsioon õhuvahetuskordsusega vähemalt 0,5 1/h). Olemasolevad ventilatsioonikorstnad puhastatakse (vajadusel tihendatakse või paigaldatakse uued väljatõmbekanalid), köögi ja sanitaarruumide väljatõmbelõõridesse (või katusele) väljatõmbeventilaatorite paigaldamine, vaheustesse paigaldatakse siirdeõhuretid, korterite elu- ja magamistubadesse radiaatorite taha/ kohale paigaldatakse värskeõhuklapid;
- ❖ välisseintele 15 cm välimise lisasoojustuse paigaldus ($\lambda_D \leq 0,04$ W/(mK), viimistlus; soojustatakse ka aknapaled 2,5 – 5 cm paksuselt;
- ❖ sokli soojustamine (kinnise ja tiheda kärestruktuuriga, $\lambda_D \leq 0,04$ W/(mK)) väljast poolt 10 cm, sokli uuestiviimistlus;
- ❖ pööningu põranda soojustamine ca. 40 cm soojustusmaterjaliga (puistevill);

Tabel 1. Meetmete pakett 1

Hoone osad	Parendusmeetme kirjeldus ³	Meetme maksumus, EUR*	Soojusenergia-sääst, MWh/a	Säästuväärtus EUR/a ²	Lihttasuvusaeg, aastad ¹	Märkus
Sisekliima parandamise ja energiasäästu meetmete pakett I:						
Välisseinad	Välisseinte soojustamine 150 mm; sokli soojustamine 100 mm	~ 80 000				
Katus	Soojustamine puistevillaga, ca 40 cm	~ 15 000				
Ventilatsioon	Süsteemi renoveerimine, värskõhuklappide ja väljatõmbeventilatorite paigaldus	~ 11 000				
Kokku:		~ 106 000	94	3 016	36	

¹ – intresse ja KredEx-i toetust arvestamata

² – arvesse võetud auditeerimise ajal kehtiv soojuse hind (küttepuude hind + kütja palk)

³ – täpsem renoveerimismeetmete loetelu on toodud I paketi meetmete loetelus

* - koostatud maksumushinnang on orienteeriv, st. konkreetse objekti renoveerimiseks tuleb koostatud projektdokumentide alusel korraldada hinnapakkumuste küsimine potentsiaalsetelt ehitustööid tegevatest ettevõtjatest

I renoveerimismeetmete pakett on koostatud viisil, mis võimaldaks renoveerimistööde teostamiseks taotleda KredEx-i toetust 15% suuruses.

Korterelamu rekonstrueerimisega saavutatakse vähemalt 20%-lise arvutusliku energiasäästu soojusenergia tarbimiselt. Renoveerimistööde korrektsel teostamisel eeldatav energiatõhususarvu klass on F (energiatõhususarv $ETA \leq 280 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$).

Kaugküttevõrguga mitte ühendatud ja kaugkütte piirkonnas mitte asuva korterelamu terviklahendusena rekonstrueerimisel, tuleb rekonstrueerimistööde elluviimisel saavutada 15% osakaaluga toetuse saamiseks energiatõhususarv, mis vastab vähemalt energiatõhususarvu klassile „F”.

II meetmete pakett ehk nn energiakasutuse vähendamise pakett (toetus 25%, värskeõhuklappidega sundväljatõmbeventilatsioon):

- ❖ korterite õhuvahetuse suurendamist tagatakse korterelamu ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel (korterites pidev ventilatsioon õhuvahetuskordsusega vähemalt 0,5 1/h). Olemasolevad ventilatsioonikorstnad puhastatakse (vajadusel tihendatakse või paigaldatakse uued väljatõmbekanalid), köögi ja sanitaarruumide väljatõmbelõõridesse (või katusele) väljatõmbeventilaatorite paigaldamine, vaheustesse paigaldatakse siirdeõhuretid, korterite elu- ja magamistubadesse radiaatorite taha/ kohale paigaldatakse värskeõhuklapid;
- ❖ välisseintele 15 cm välimise lisasoojustuse paigaldus ($\lambda_D \leq 0,04 \text{ W/(mK)}$), viimistlus; soojustatakse ka aknapaale 2,5 – 5 cm paksuselt;
- ❖ sokli soojustamine (kinnise ja tiheda kargstruktuuriga, $\lambda_D \leq 0,04 \text{ W/(mK)}$) väljast poolt 10 cm, sokli uuestiviimistlus;
- ❖ pööningu põranda soojustamine ca. 40 cm soojustusmaterjaliga (puistevill);
- ❖ kõik projekti alustamise hetkel vahetamata akende vahetamine kolmekordse klaaspaketiga energiasäästlike akende vastu, mille avatäite kompleksne soojuslähivuse tase paigaldatuna on $U \leq 1,10 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$;
- ❖ keldri puituste ja puitraamiga akende väljavahetamine;
- ❖ korterelamu keskküttesüsteemi rekonstrueerimine kahetorusüsteemiks korteripõhiselt reguleeritavana ja radiaatorite piirajatega varustatud termostaatventiilide paigaldamine, mis võimaldaks reguleerida ruumi temperatuuri vahemikus 18–23 kraadi; hind sisaldab torustiku väljavahetamist koos keldris asuvate magistraalitorude isoleerimisega, uute radiaatorite paigaldamist, radiaatoritele termostaatventiilide paigaldamist;
- ❖ olemasolevate katelde asendamine pelletikatlaga.

Tabel 2. Meetmete pakett 2

Hoone osad	Parendusmeetme kirjeldus ³	Meetme maksumus, EUR*	Soojus-energia-sääst, MWh/a	Säästuväärtus EUR/a ²	Lihttasuvusaeg, aastad ¹	Märkus
Sisekliima parandamise ja energiasäästu meetmete pakett II:						
Välisseinad	Välisseinte soojustamine 150 mm; sokli soojustamine 100 mm	~ 80 000				
Katus	Soojustamine puistevillaga, ca 40 cm	~ 15 000				
Avatäited	Trepikoja akende ja uste väljavahetamine; Korterite puitraamiga akende väljavahetamine	~ 10 000				
Küttesüsteem	Küttesüsteemi ümberehitamine sh radiaatorite väljavahetamine	~ 30 000				
Kütteallikas	Olemasolevate katelde asendamine pelletikatlaga	~ 30 000				
Ventilatsioon	Süsteemi renoveerimine, värskõhuklappide ja väljatõmbeventilatorite paigaldus	~ 11 000				
Kokku:		~ 176 000	112	8 800⁴	20	

¹ – intresse ja KredEx-i toetust arvestamata

² – arvesse võetud auditeerimise ajal kehtiv puidugraanulite hind

³ – täpsem renoveerimismeetmete loetelu on toodud II paketi meetmete loetelu

⁴ – ei ole arvestatud kütja palgaga (puidugraanulite punkerisse lisamine vaid kord 3-4 päeva jooksul)

* - koostatud maksumushinnang on orienteeriv, st. konkreetse objekti renoveerimiseks tuleb koostatud projektdokumentide alusel korraldada hinnapakkumuste küsimine potentsiaalsetelt ehitustööid tegevatelt ettevõtjatelt

II renoveerimismeetmete pakett on koostatud viisil, mis võimaldaks renoveerimistööde teostamiseks taotleda KredEx-i toetust 25% suuruses.

Renoveerimistööde korrektsel teostamisel eeldatav energiatõhususarvu klass on E (energiatõhususarv $ETA \leq 220 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$).

Kaugküttevõrguga mitte ühendatud ja kaugkütte piirkonnas mitte asuva korterelamu terviklahendusena rekonstrueerimisel, tuleb rekonstrueerimistööde elluviimisel saavutada 25% osakaaluga toetuse saamiseks energiatõhususarvu, mis vastab vähemalt energiatõhususarvu klassile „E”.

III meetmete pakett ehk nn energiakasutuse vähendamise ja taastuenergia kasutuse pakett (toetus 40%, soojustagastusega mehaaniline sissepuhke-/ väljatõmbeventilatsioonisüsteem):

- ❖ õhuvahetuse suurendamist tagatakse kas korteripõhiste või tsentraalsete soojustagastusega mehaanilise sissepuhke-/ väljatõmbe agregaatide paigaldamisega; korterites pidev ventilatsioon õhuvahetuskordsusega vähemalt 0,5 1/h;
- ❖ välisseintele 15 cm välimise lisasoojustuse paigaldus ($\lambda_D \leq 0,04 \text{ W/(mK)}$), viimistlus; soojustatakse ka aknapaled 2,5 – 5 cm paksuselt;
- ❖ sokli soojustamine (kinnise ja tiheda kärgstruktuuriga, $\lambda_D \leq 0,04 \text{ W/(mK)}$) väljast poolt 10 cm, sokli uuestiviimistlus;
- ❖ pööningu põranda soojustamine ca. 40 cm soojustusmaterjaliga (puistevill);
- ❖ kõik projekti alustamise hetkel vahetamata akende vahetamine kolmekordse klaaspaketiga energiasäästlike akende vastu, mille avatäite kompleksne soojusläbivuse tase paigaldatuna on $U \leq 1,10 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$;
- ❖ keldri puituste ja puitraamiga akende väljavahetamine;
- ❖ korterelamu keskküttesüsteemi rekonstrueerimine kahetorusüsteemiks korteripõhiselt reguleeritavana ja radiaatorite piirajatega varustatud termostaatventiilide paigaldamine, mis võimaldaks reguleerida ruumi temperatuuri vahemikus 18–23 kraadi; hind sisaldab torustiku väljavahetamist koos keldris asuvate magistraalitorude isoleerimisega, uute radiaatorite paigaldamist, radiaatoritele termostaatventiilide paigaldamist;
- ❖ olemasolevate katelde asendamine õhksoojuspumpadega.

Tabel 3. Meetmete pakett 3

Hoone osad	Parendusmeetme kirjeldus ³	Meetme maksumus, EUR*	Soojus-energia-sääst, MWh/a	Säästuväärtus EUR/a ²	Lihttasuvusaeg, aastad ¹	Märkus
Sisekliima parandamise ja energiasäästu meetmete pakett III:						
Välisseinad	Välisseinte soojustamine 150 mm; sokli soojustamine 100 mm	~ 80 000				
Katus	Soojustamine puistevillaga, ca 40 cm	~ 15 000				
Avatäited	Trepikoja akende ja uste väljavahetamine; Korterite puitraamiga akende väljavahetamine	~ 10 000				
Küttesüsteem	Küttesüsteemi ümberehitamine sh radiaatorite väljavahetamine	~ 30 000				
Kütteallikas	Olemasolevate katelde asendamine õhksoojuspumbaga	~ 45 000				
Ventilatsioon	Soojustagastusega mehaanilise ventilatsioonisüsteemi väljaehitamine	~ 57 000				
Kokku:		~ 237 000	162	10 660	22,2	

¹ – intresse ja KredEx-i toetust arvestamata

² – arvesse võetud auditeerimise ajal kehtiv elektrienergia hind

³ – täpsem renoveerimismeetmete loetelu on toodud III paketi meetmete loetelus

* - koostatud maksumushinnang on orienteeriv, st. konkreetse objekti renoveerimiseks tuleb koostatud projektdokumentide alusel korraldada hinnapakkumuste küsimine potentsiaalsetelt ehitustööid tegevatest ettevõtjatest

III renoveerimismeetmete pakett on koostatud viisil, mis võimaldaks renoveerimistööde teostamiseks taotleda KredEx-i toetust 40% suuruses.

Renoveerimistööde korrektsel teostamisel eeldatav energiatõhususarvu klass on D (energiatõhususarv $ETA \leq 180 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$).

Kaugküttevõrguga mitte ühendatud ja kaugkütte piirkonnas mitte asuva korterelamu terviklahendusena rekonstrueerimisel, tuleb rekonstrueerimistööde elluviimisel saavutada 40% osakaaluga toetuse saamiseks energiatõhususarvu, mis vastab vähemalt energiatõhususarvu klassile „D”.

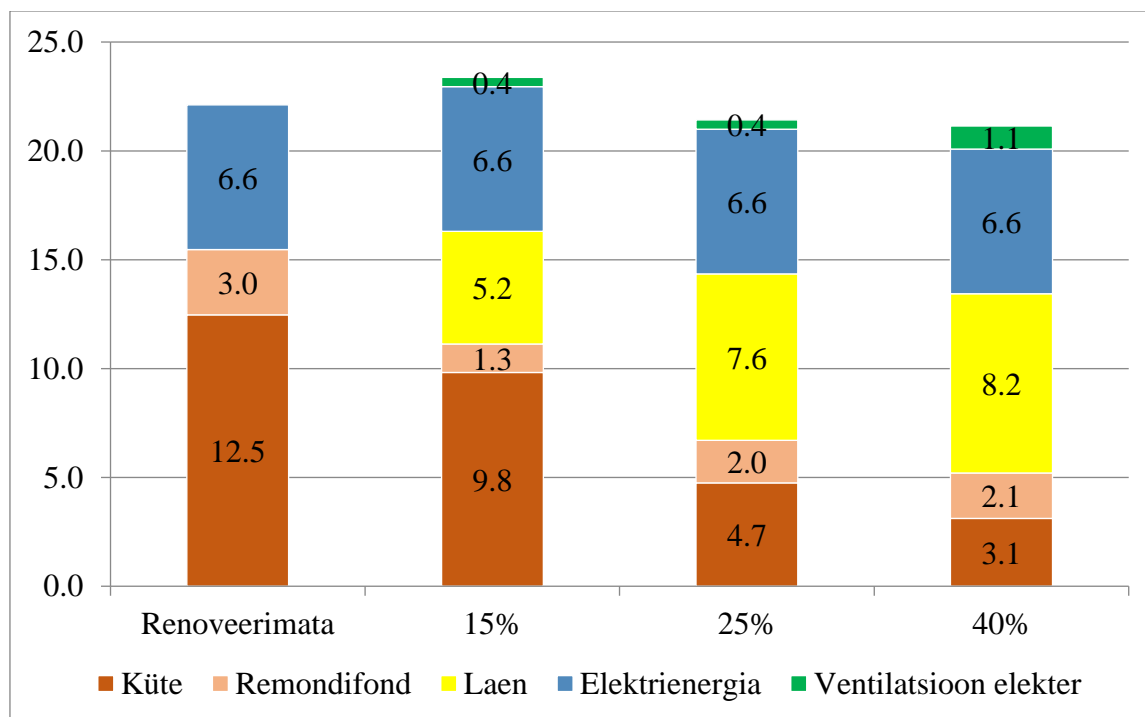
1.3. Kokkuvõte meetmete pakettidest

Tabel 4. Investeeringute maksumused

	Enne renoveerimist	Meetmete pakett I	Meetmete pakett II	Meetmete pakett III
Hoone soojusenergiakulu normaalaastal, MWh/a	231	137	119	69
Tööde maksumus, EUR		106 000	176 000	237 000
KredEx-i toetus		15 900	44 000	94 800
Laenu summa KredEx-i toetust arvestades, EUR		90 100	132 000	142 200
Igakuine makse (intress 2,9%), EUR		491	725	782
Kuumakse korterite pinnale (sh 20% kohustuslik remondifond), EUR/krt × m ²		0,54	0,80	0,86

* - laenu tagasimakse periood 20 aastat

Järgmine graafik näitab Pilistvere tee 12 elamu aastased kommunaalkulud ja kulud laenu maksmisele erinevate renoveerimistöde teostamisel Kredexi toetusega (€/×m²). Laenu tagasimakse perioodiks on 20 aastat.



Graafik 1. Pilistvere tee 12 aastased kulud

2. Auditeeritava hoone üldine iseloomustus

2.1. Asukoht ja paiknemine

Uuritav korterelamu asub aadressil Pilistvere tee 12, Esku küla, Jõgevamaa (vt. Foto 1).



Foto 1. Pilistvere tee 12 korterelamu asukoht

2.2. Hoone olulisemad andmed

Tegemist on 1989. aastal ehitatud 3-korruselise kolme trepikojaga korterelamuga. Hoones on 4 neljatoalist, 8 kolmetoalist, 2 kahetoalist ja 4 ühetoalist korterit üldpinnaga 1139,4 m². Hoone trepikojad on samuti köetavad.

Hoone on tervikuna suhteliselt rahuldavas seisukorras, kuigi konstruktsioonide lagunemise takistamiseks ja energiasäästu saavutamiseks ning sisekliima parandamiseks vajab kompleksrenoveerimist koos tehnosüsteemide rekonstrueerimisega.

Uuritava korterelamu ehitisregistri andmed on toodud Tabelis 5.

Tabel 5. Hoone üldandmed (EHR)

Hoone aadress	Pilistvere tee 12, Esku küla, Jõgevamaa
Ehitise nimetus	Elamu
Ehitusaasta	1989
Ehitisregistri kood:	114009841
Hoone kasutusotstarve	Muu kolme või enama korteriga elamu
Maapealsete korruste arv	3
Suletud netopind (m ²) (EHR)	1601,6
Köetav pind (m ²)	1139,4
Hoone maht, m ³	5653

2.3. Hoone välistarindite kirjeldus

2.3.1. Välisseinad ja sokkel

Hoone vundament on laotud r/b-plokkidest, paksusega 400 mm. Sokkel on krohvitud.

Hoone olemasolevad seinad on silikaltsiitplokkidest laotatud. Välisseina kogupaksus on ~ 30 cm. Vastavalt teostatud arvutustele külvälisseinte keskmiseks soojusjuhtivuseks on $U = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Välisseinte nõrgaks kohaks on sisse ehitatud külmasillad. Külmasildadeks on välisseina ja vahelae liitekohad, akna ümbrus ja välisseina ja katuslae liitekohad.



Foto 2. Hoone fassaad

2.3.2. Katus

Auditeeritaval hoonel on välimise sadevee äravooluga viilkatus. Katusekatteks on eterniit. Katusekandetarinditeks on puitsarikad. Pööningu põranda kandekonstruktsiooniks on õõnespaneelid. Pööningu põranda soojustuseks on kasutatud saepuru.

Pööningu põranda keskmiseks soojusjuhtivuseks võetud $U = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Foto 3. Hoone katus

2.3.3. Esimese korruse põrand

Pilistvere tee 12 korterelamu on keldrikorrusega. Vundament on laotud r/b-plokkidest. Esimese korruse põranda kandekonstruktsiooniks on raudbetoon-õõnespaneelid. Soojustuskihiks on tõenäoliselt kasutatud tselluvillplaat ja pealmiseks kihiks on parkett. Esimese korruse põranda soojusjuhtivuseks võetud $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (kütmata kelder).

2.3.4. Avatäited

Korteriomaniku strateegilise käitumise hindamiseks (nii otseselt kui ka kaudselt) võib kasutada akende vahetamist. Igal juhul näitab akende vahetamine korteriomaniku hoolitsust ja huvi teha kulutusi. Aknaraami materjalidest on levinuim plastraam (peamiselt uued, vahetatud aknad): 97 %, seejärel puitraam (peamiselt vanad, vahetatamata aknad), mis moodustavad 3 % hoone akendest.

PVC raamiga pakettakende soojuslähivuseks hinnati $U = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, puitraamiga akende soojusjuhtivuseks on $U = 2,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.

Trepikoja aknad on puitraamiga aknad. Välisüksed on puituksed.

2.4. Tehnosüsteemid

Tabel 6. Energia- ja veevarustuse üldiseloomustus

Põhiline kütteviis	Lokaalküte (katlamaja)
Kasutatav kütus	Halupuu
Küttesüsteemi ja soojusvarustuse põhimõtteline lahendus	Malmradiaatoritega ühetoru küttesüsteem
Ventilatsiooni liik	Loomulik ventilatsioon
Veevarustuse liik	Tsentraalne
Olmeveekanaliseerimine	Tsentraalne
Sooja tarbevee valmistamine	Korterites elektriboileritega
Tarbevee arvestus	Sissetuleva külma veega veearvesti
Elektrivõrgu pingeline	230/ 400 V
Toidu valmistamine	Elekter

2.4.1. Kütte- ja sooja tarbevee ettevalmistamise süsteemid

Pilistvere tee 12 korterelamu kasutusel on lokaalkesküte. Kütteallikaks on kaks Atmos puidukatelt (vt. Foto 4).



Foto 4. Hoone katlaruumi seadmed

Tabel 7. Katlaruumi seadmed

Osa nimetus	Kirjeldus
Katel	Puidukatlad Atmos
Küttesüsteemi ringluspump	Wilo Top S30/10
Sooja tarbevee valmistamine	Elektriboilerid

Hoone küttesüsteem on alumise jaotusega malmradiaatoritega ühetorusüsteem.

Püstikud ja jaotustorud paiknevad lahtiselt ruumi seintel.

Katlaruumis paiknev torustik on isoleerimata. Kelris asuv magistraaltorustik on ehituseagse isolatsiooniga, mis on kehv. Püstakutele on pandud tasakaalustusventiile (Foto 5).



Foto 5. Hoone küttestorustik

2.4.2. Ventilatsioonisüsteem

Hoones on ehitusaegne loomuliku väljatõmbega ventilatsioonisüsteem. Värske õhk antakse ruumidesse piirete ning akende ebatiheduste kaudu ja väljatõmme toimub väljatõmberestide ja ehituslike ventilatsioonikanalite süsteemi kaudu. Loomulik ventilatsioon toimib tänu õhurõhkude erinevusele ruumi väljatõmbeelemendi ja kanali ülaosa vahel. Õhurõhkude erinevus on omakorda tingitud sooja väljatõmbeõhu ja külma välisõhu temperatuuride vahest. Samuti on loomuliku ventilatsiooni mõjuteguriteks tuul, kanali kõrgus, hoone asukoht ja aastaaeg. Kuna välisõhu temperatuur ja tuule tugevus ning suund on muutlikud suurused, ei suuda loomulik ventilatsioon tagada hoones stabiilset õhuvahetust aastaringselt.

Projektijärgse lahenduse järgi toimub väljatõmme korteritest köögist ja sanitaarruumidest. Elamute ventilatsioonisüsteem on dimensioneeritud välisõhu temperatuurile +5 °C. Loomuliku ventilatsiooni puhul langeb arvestuslikust kõrgemate temperatuuride ja tuulevaikuse korral hoonete õhuvahetus ettenähtust madalamale tasemele.

Ehitusaegsed eksimused avalduvad eelkõige ventilatsioonikanalite vähesel hermeetilisusel ja kanali sisepindade suurel karedusel.

Elamute kompensatsiooniõhu juurdevool oli ette nähtud põhiliselt akende ebatiheduste kaudu. Akende vahetamine tänapäevaste õhutihedate puit- või plastikakende vastu tähendab kompensatsiooni õhuvooluhulga olulist vähenemist. Seega on uute akende panek üks peamiseid õhuvahetuse vähenemise põhjuseid. Samuti tekitab probleeme piirete tihendamisel vähenev infiltratsiooni õhuvooluhulk, mis ehitusjärgselt aitas õhuvahetust tagada. Seega peituvad alaventileerituse põhjused ka elanike enda poolt tehtud projektijärgsete lahenduste muutmises. Lisaks võiks mainida veel köögikubude või väljatõmbekanalide ühendamist valedesse ventilatsioonilõõridesse, mille tulemusena võib lõpuks ühele kanalile olla ühendatud mitmeid kortereid. Lisaks tekitab probleeme ka köögi väljatõmberesti asemele kubu ühendamine. Selline tegevus viib olukorrani, kus väljaspool kubu kasutusaega köögi väljatõmme korralikult enam ei toimi, kuna selle takistus on loomuliku ventilatsiooni korraliku toimimise jaoks liiga suur. Samas tekitavad probleeme ka kubude ebatihedad ühendused ventilatsioonilõõridega

Köögist eespool loetletud põhjustest tulenevalt ei suuda loomulik ventilatsioon tagada korterites normidele vastavat õhuvahetust aastaringselt. Halvasti töötav ventilatsioon või selle puudumine tähendab, et saastunud õhku ei eemaldata ruumist piisavas koguses. Siit tulenevalt ei ole kindlustatud ka õhu loomulik ringlus korteris ning ei ole tagatud tasemel mikrokliima. Puuduliku ventilatsiooni tõttu võivad hoonetes hakata vohama hallitus ja selle laguproduktid ning välja kujuneda „haige hoone sündroom”.

2.4.3. Vee- ja kanalisatsioonisüsteemid

Veevarustus ja kanalisatsioon on ühendatud küla vastavate võrkudega. Külma vee kulu mõõdetakse veemõõdusõlmes. Vajalik veerõhk on tagatud veevõrgu survega.

Hoone tarbeveesüsteem on plastiktorudest.

Hoone kanalisatsioonisüsteem on uuendatud. Püstakud on vahetatud plastiktorude vastu (Foto 6).



Foto 6. Hoone kanalisatsiooni ja tarbevee torustik

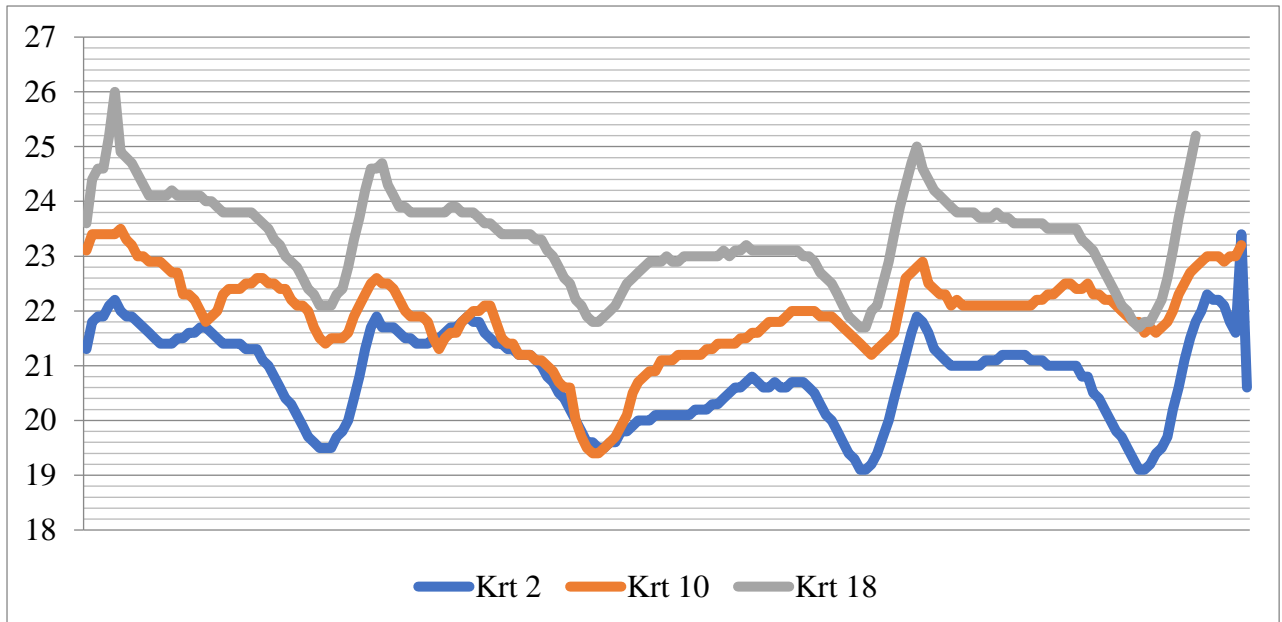
2.4.4. Elektrisüsteem

Hoone elektripaigaldis on pingega 400/230 V. Elektrienergiat kasutatakse hoones peamiselt sooja tarbevee valmistamiseks, toidu valmistamiseks, valgustuseks, seadmete töötamiseks ja tehnosüsteemide käitamiseks.

3. Sisekliima mõõtmistulemused

Alates 5. veebruarist 2018 kuni 9. veebruarini 2018 teostati kolmes korteris mõõtmised hoone siseõhu parameetrite väljaselgitamiseks. Saadud tulemuste alusel on koostatud graafikuid, mis näitavad siseõhu temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust. Graafikute horisontaalne telg näitab aja kulgemist. Graafikus 2 on kujutatud kolme korteri siseõhutemperatuurikõverad.

3.1. Siseõhutemperatuur mõõtmisperioodil



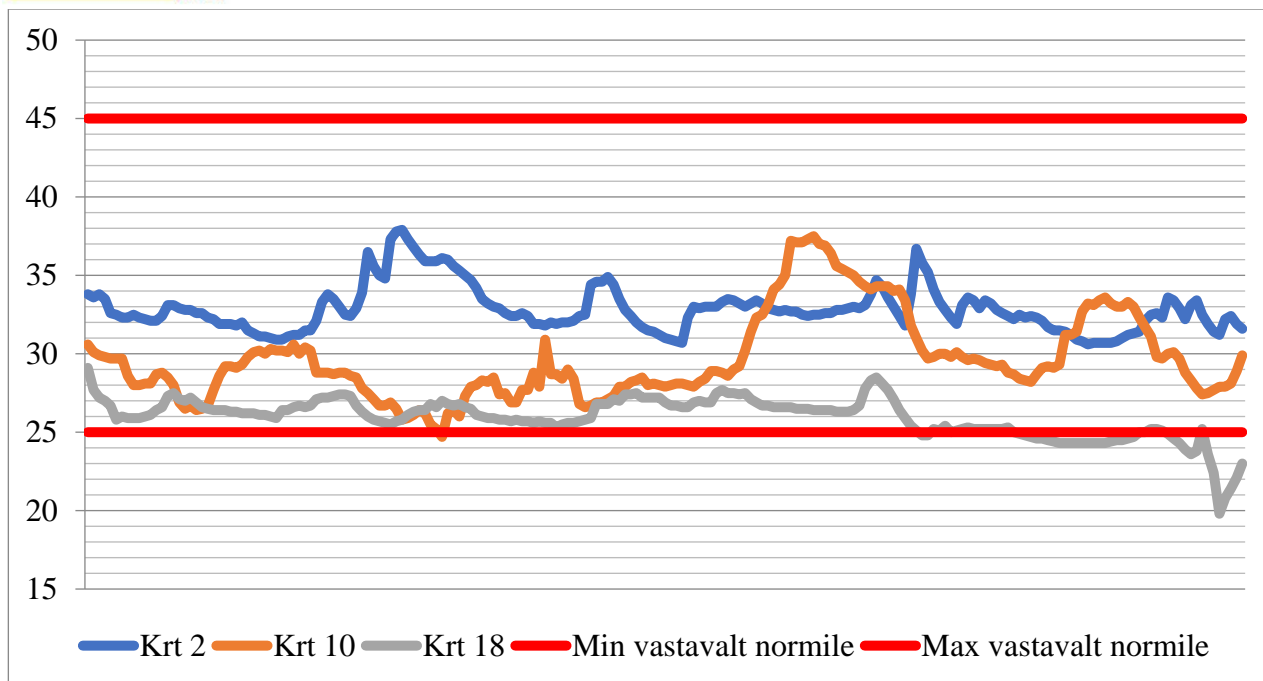
Graafik 2. Korterites mõõdetud siseõhutemperatuurid

Mõõtmisperioodil maksimaalse siseõhutemperatuuri fikseeris korteris nr. 18 asetsev andur 26,0 °C ja minimaalse korteris nr. 2 paiknev andur 19,1 °C. Mõõtmisperioodi keskmiseks siseõhutemperatuuriks korteris nr. 2 oli 20,8 °C, korteris nr. 10 oli 21,9 °C ja korteris nr. 18 oli 23,3 °C.

3.2. Suhteline õhuniiskus mõõtmisperioodil

Maksimaalne fikseeritud õhuniiskus oli korteris nr. 2 ja nr. 10, kus on mõõdetud 38 %. Minimaalne õhuniiskus oli fikseeritud korteris nr. 18 paikneva anduriga, mis mõõtis 20 %. Mõõtmisperioodi keskmiseks õhuniiskuseks korteris nr. 2 oli 33 %, korteris nr. 10 – 30 % ja korteris nr. 18 oli 26 %. Suhtelise õhuniiskuse mõõtmistulemused on toodud Graafikus 3.

Õhuniiskuse optimaalseks väärtuseks talveperioodil on alates 25 kuni 45 %.



Graafik 3. Korterites mõõdetud suhteline õhuniiskus

Korterites mõõdetud keskmine, maksimaalne ja minimaalne siseõhutemperatuur ja suhteline õhuniiskus on esitatud koondtabelis 8.

Tabel 8. Korterites mõõdetud siseõhutemperatuurid ja suhtelised õhuniiskused

Korteri number		Nr. 2	Nr. 10	Nr. 18
Temperatuur, °C	Keskmine	20,8	21,9	23,3
	Min	19,1	19,4	21,7
	Max	23,4	23,5	26,0
Suhteline õhuniiskus, %	Keskmine	33	30	26
	Min	31	25	20
	Max	38	38	29
Mõõtmisperiod:		05.02.2018 – 09.02.2018		

4. Energiatarbimise analüüsi tulemused

Pilistvere tee 12 korterelamu kommunaalkulude andmed on saadud KÜ juhatuselt. On teada hoone 2015...2017 aasta küttepuude ja elektrienergia kulu.

4.1. Kütuse ja arvutusliku soojuse kulu analüüs

	2017	Ühik
Kütuse tarbimine		
Kütus	halupuu	
Kogus	220	rm
Tarbimisaine kütteväärtus	1300	kWh/rm
Katla keskmine kasutegur	0,75	
Arvutatud energiakulu kütteks	286	MWh/a
Tegeliku aasta kraadpäevade arv ($t_b = 18,3 \text{ °C}$)	4501,0	°Cd
Normaalaasta kraadpäevade arv ($t_b = 18,3 \text{ °C}$)	4834,8	°Cd
Kraadpäevadega korrigeeritud soojustarbimine kütteks	231	MWh/a

Kraadpäevade võtmepiirkonnaks on „II Võtmepiirkond“ (Tartu).

Oluline tähtsus on kraadpäevadel hoone erinevate aastate soojustarbe adekvaatsel hindamisel, kuna nende kasutamisel toimub erinevate aastate välisõhu temperatuuri erinevuste mõju kompenseerimine. See võimaldab soojuskasutuse viia ühtsele nn normaalaasta baasile, kus erinevate aastate soojuskasutus on taandatud keskmise aasta tarbimisele, millega on elimineeritud erinevate kliimaoludega aastate välistemperatuuri mõju soojuskasutusele.

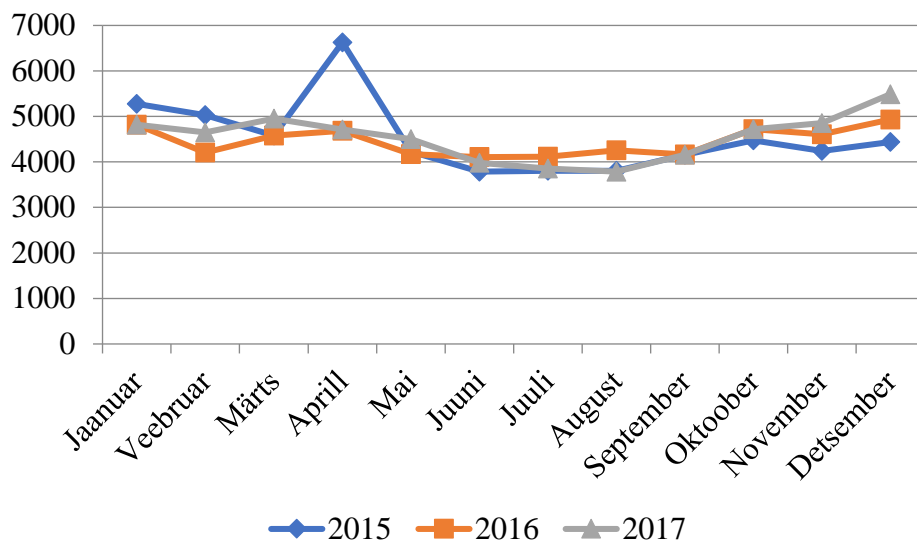
Üks kraadpäev väljendab 1 °C erinevust arvutusliku sisetemperatuuri ja ööpäeva (24-tunnise ajavahemikku) keskmise välisõhutemperatuuri vahel.

Kraadpäevade määramise aluseks on vaadeldava ajavahemiku kõikide päevade arvestusliku sisetemperatuuri (tasakaalutemperatuuri t_B) ja välisõhu temperatuuri vahede summa. Tasakaalutemperatuur on temperatuur, milleni katab sojuskaod küttesüsteem.

4.2. Elektrienergia tarbimise analüüs

Tabel 9. Pilstvere tee 12 korterelamu elektrienergia tarbimine

Elektrienergia tarbimine	2015	2016	2017	Ühik
Mõõdetud elektrienergia kulu	54447	53362	54478	kWh
Kõetav pind	1139,4			m ²
Eritarbimine kasuliku pinna kohta	48	47	48	kWh/m ² · a



Graafik 4. Pilstvere tee 12 elektrienergia tarbimine kuude lõikes 2015...2017

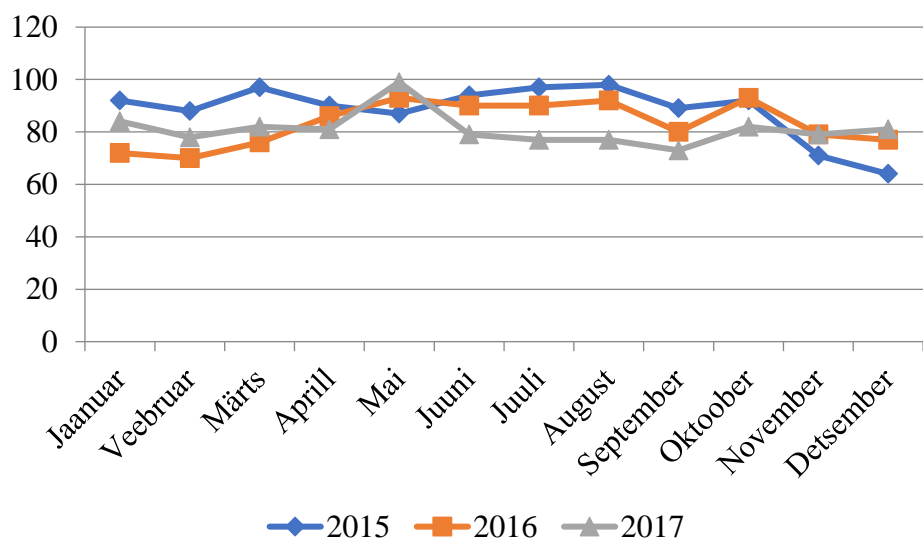
4.3. Tarbevee tarbimise analüüs

Alljärgnevas tabelis on toodud mõõdetud tarbevee kulu.

Tabel 10. Tarbevee kulu Pilistvere tee 12 korterelamus

Tarbimine	2015	2016	2017	Ühik
Tarbevesi	1059	998	972	m ³ /a
Tarbevee eritarbimine köetava pinna kohta	0,93	0,88	0,85	m ³ /(m ² × a)

Veetarbimine on olnud erinevatel aastatel suhteliselt stabiilne (Graafik 5).



Graafik 5. Hoone veetarbimised kuude lõikes 2015...2017

4.4. Pilistvere tee 12 korterelamu kaalutud energiakasutuse klass

Hoone energeetilise auditeerimise raames on hoonele määratud energiaerikasutuse klass (KEK).

Olemasoleva hoone energiamärgise väljastamiseks vajaliku hoone kaalutud energiaerikasutuse arvutamisel on hoone tasakaalutemperatuuriks alati 17°C.

Pilistvere tee 12 elamu kaalutud energiaerikasutus – 300 kWh/(m²·a). Korterelamute kaalutud energiaerikasutuse skaala järgi Pilistvere tee 12 korterelamu kuulub G klassi.

Tabel 11. Korterelamu kaalutud energiaerikasutus

	Küte	Elekter	MWh
	311	54	
<i>Kaalumistegur:</i>	0,75	2,0	
KEK: 300 kWh/m² · a			
KEK: G			

5. Hoone soojusbilanss

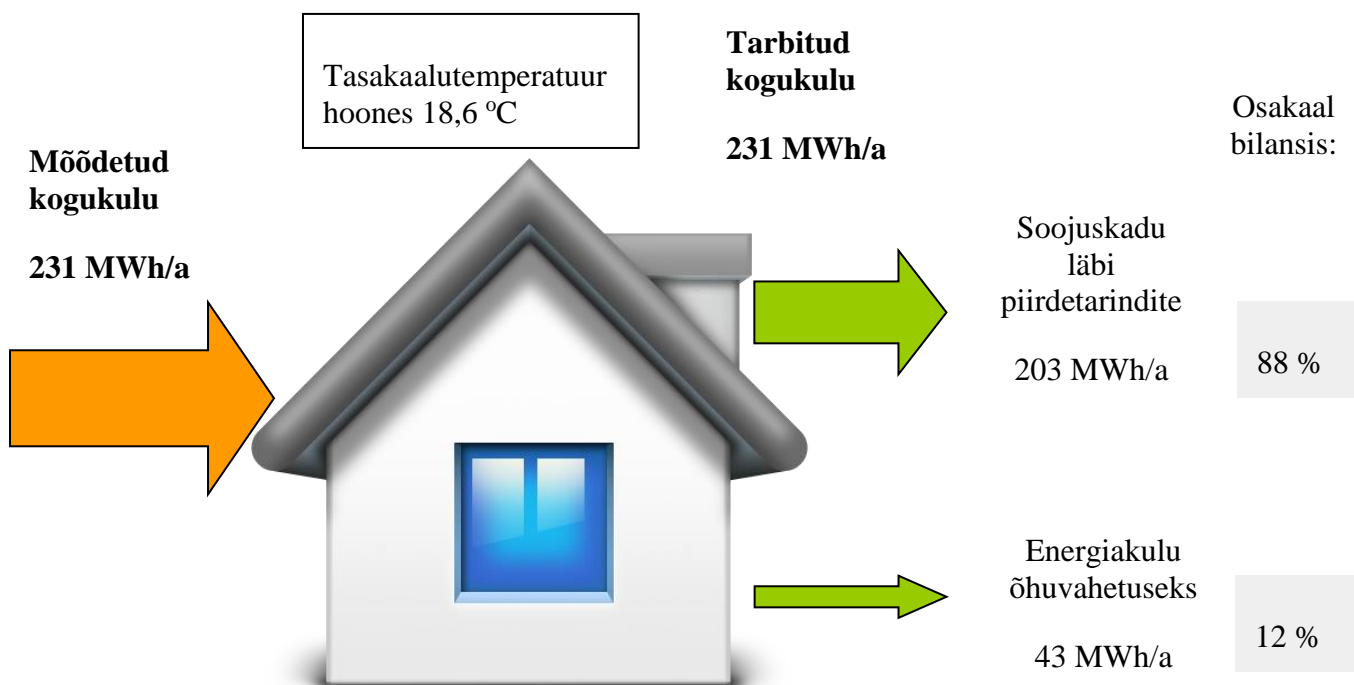
Hoones tarbitud energia ja inimestest, valgustusest ning seadmetest eralduv vabasoojus moodustab hoone energiabilansi ühe poole. Soojuskadod läbi välispiirete ja ventilatsiooniks vajaliku õhu soojendamise energiakulu moodustavad hoone energiabilansi teise poole.

Soojuskadude arvutamisel on oluline arvestada hoone tasakaalutemperatuuri, mis antud hoonel on vabasoojuse arvutuste ja soojusenergia kasutamise kaudu määratud 18,6 °C (tasakaalutemperatuuri leidmise arvutuskäik on esitatud Ptk 7.1.). Kõik soojuskadude arvutused on teostatud Tartu piirkonna normaalaasta kraadpäevadega.

Energiaauditi raames koostati hoone energiabilanss, kus määratleti kuidas on reaalselt ühe aasta jooksul hoonesse antud soojusenergia kasutust leidnud, ehk kui palju on sellest kulunud kadudeks läbi erinevate välispiirete (seinad, katus, põrand, ukсед, aknad jne) ja infiltratsiooniohu soojendamiseks (vt Tabel 12).

Tabel 12. Pilistvere tee 12 korterelamu soojuskadude jaotus

Soojuskadu läbi piirdetarindite	Energiakulu õhuvahetuseks ja õhuinfiltratsiooniks	Arvutatud kogukulu
MWh/a	MWh/a	MWh/a
203	28	231



Joonis 1. Pilistvere tee 12 elamu soojuste kasutamise visuaalne jaotus

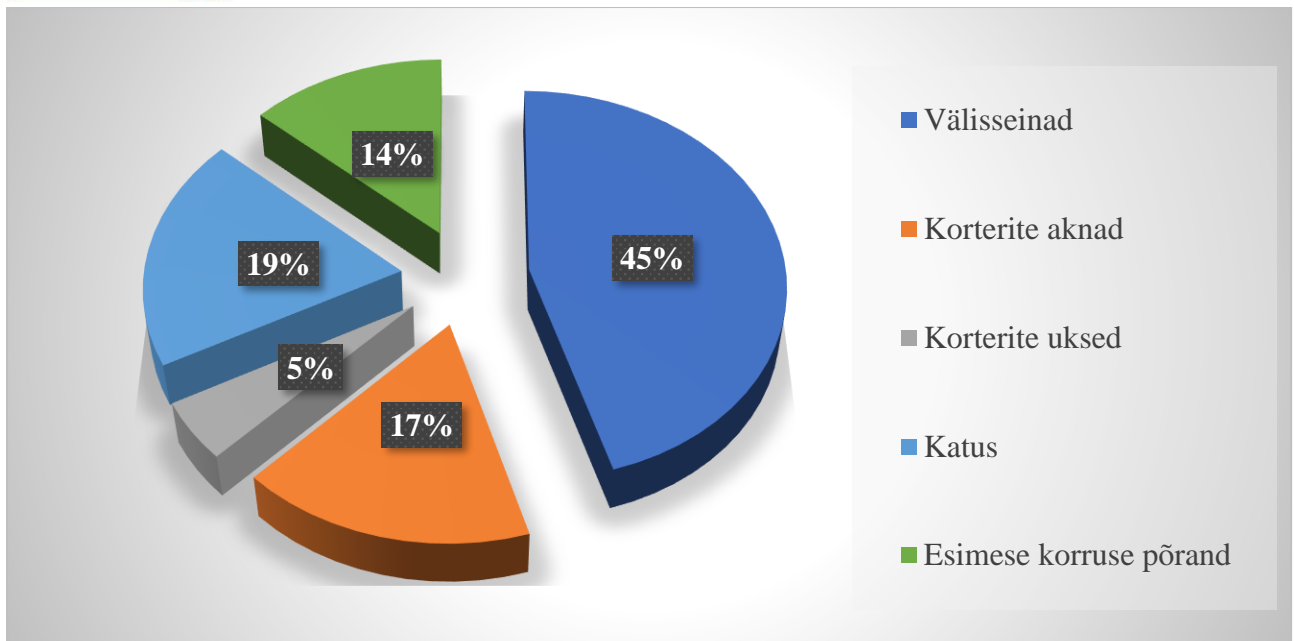
Soojuskadod läbi piirdetarindite (välisseinad, aknad, katus, esimese korruse põrand, külmasillad) moodustavad 88 % arvutatud soojuskadudest. Ülejäänud 12 % kadudest on infiltratsiooniohu soojendamiseks kuuluv energia.

Piirdetarindite soojuskaod on leitud arvutuslikul meetodil projektdokumentatsiooni analüüsimisel (vt Tabel 13).

Tabel 13. Hoone piirdetarindite soojuskaod

Piirdetarind või selle osa	Materjal/ tüüp	Olukorra kirjeldus ja/või tuvastatud puudused	Pindala, m ²	Hinnanguline U-väärtus, W/m ² K	Hinnangulised soojuskaod, MWh/a
Välisseinad	Silikaltsiitplokk	Halb soojapidavus, külmasillad	900	0,85	88,7
Trepikoja aknad	Puitraamiga aknad	Halb sooja- ja helipidavus	11	2,7	3,6
Välisüksed	Puituksed	Halb sooja- ja helipidavus	28	3,0	9,9
Korterite PVC aknad	PVC-raamiga pakettaknad	Korras	166	1,7	32,8
Korterite puitaknad	Puitraamiga kahekordsed aknad	Halb sooja- ja helipidavus	5	2,7	1,6
Katus	R/b-õõnespaneel, saepuru	Halb soojapidavus, külmasillad	471	0,72	39,4
Esimese korruse põrand	R/b-õõnespaneel, ehitusaegne soojustus	Tehniliselt korras	471	0,5	27,3
Kokku					203

Kõige suurem soojakadu on läbi välisseinte ja katuse (vt. Graafik 6). Soojusenergiäsäästu saavutamiseks on tarvis välisseinad ja katus esmajärjekorras renoveerida ja lisasoojustada. Välisseinte ja katuse lisasoojustamisel saab samuti oluliselt vähendada külmasildade mõju.



Graafik 6. Välispiirete soojakadude jaotus

Vastavalt Energiatõhususe miinimumnõuete määrusele nr. 55 peavad olema hoone välispiirde pikaajaliselt õhkupidavad ja piisavalt soojustatud. Elamute välispiirete valikul võib esmase lähenemisena lähtuda järgmistest väärtustest:

- 1) välisseinte soojusläbivus $0,12-0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- 2) katuste ja põrandate soojusläbivus $0,1-0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- 3) akende ja uste soojusläbivus $0,6-1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, kusjuures lõplikud valikud tuleb teha, lähtudes hoone kompaktsusest ja kütte- ja ventilatsioonilahendustest”.

Infiltratsiooni õhuvooluhulk määrati kordarvuna soojusbilansist lähtuvalt. Õhuvahetus on võrdne $0,25 \text{ l/h}$.

Leitud infiltratsiooni õhuvooluhulk on võrdne $q_i = 198 \text{ l/s}$. Soojusenergiakulu infiltratsiooniõhu soojendamiseks on **28 MWh/a**.

6. Pilistvere tee 12 korterelamu renoveerimislahendused

6.1. Hoone soojuskaod peale renoveerimist renoveerimispakettides pakutud meetmete rakendamisel

Tabel 14. Meetmete pakett I (15% toetus)

Siseõhutemperatuur: $t = 21\text{ °C}$ KP = 4395,2 °Cd			Tasakaalutemperatuur: $t_b = 17,3\text{ °C}$ Olemasolev küttesüsteem		
Piirdetarindid või selle osa	Materjal/ tüüp	Parendusmeede, soovitud energiasäästuks	Arvutuslik U-väärtus peale meetme rakendamist	Hinnangulised soojuskaod peale meetme rakendamist, MWh/a	Energiasääst, MWh/a
Välisseinad	Silikaltsiitplokk, ca 30 cm	Lisasojustamine 150 mm	0,21	19,9	68,8
Trepikoja aknad	Puitraamiga aknad	Ei soovitata	2,7	3,2	0,3
Välisüksed	Puitüksed	Ei soovitata	3,0	9,0	0,9
Korterite PVC aknad	PVC-raamiga pakettaknad	Ei soovitata	1,7	29,8	3,0
Korterite puitaknad	Puitraamiga kahekordsed aknad	Ei soovitata	2,7	1,5	0,1
Katus	R/b-õõnespaneelid, saepuru	Puistevillaga soojustamine min. 40 cm	0,12	6,0	33,4
Esimese korruse põrand	Õõnespaneel, ehitusaegne soojustus	Ei soovitata	0,35 ¹	17,4	9,9
Ventilatsioon	Õhuvahetuse intensiivistamiseks välisseintesse paigaldatakse värkseõhuklapid (keskkütte radiaatorite taha/kohal), lokaalsed või tsentraalsed väljatõmbeventilaatorid; õhuvahetus peale värkseõhuklappide paigaldamist võrdne 0,5 l/h			50,3	-22,6
Kokku				137	94

¹ – tagatakse sokli lisasojustamisega

Tabel 15. Meetmete pakett II (25% toetus)

Siseõhutemperatuur: $t = 21\text{ °C}$ KP = 4007 °Cd			Tasakaalutemperatuur: $t_b = 16,1\text{ °C}$ Pelletikatla paigaldus		
Piirdetarindid või selle osa	Materjal/ tüüp	Parendusmeede, soovitused energiasäästuks	Arvutuslik U-väärtus peale meetme rakendamist	Hinnanguli- sed soojuskaod peale meetme rakendamist, MWh/a	Energia- sääst, MWh/a
Välisseinad	Silikaltsiitplok, ca 30 cm	Lisasoostamine 150 mm	0,21	18,2	70,6
Trepikoja aknad	Puitraamiga aknad	Soojapidavamatega asendamine	1,1	1,2	2,4
Välisüksed	Puitüksed	Soojapidavamatega asendamine	1,6	4,4	5,5
Korterite PVC aknad	PVC-raamiga pakettaknad	Ei soovitata	1,7	27,2	5,6
Korterite puitaknad	Puitraamiga kahekordsed aknad	Soojapidavamatega asendamine; $U \leq 1,10\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	1,1	0,6	1,1
Katus	R/b-õõnespaneelid, saepuru	Puistevillaga soojustamine min. 40 cm	0,12	5,4	33,9
Esimese korruse põrand	Õõnespaneel, ehitusaegne soojustus	Ei soovitata	0,35 ¹	15,9	11,5
Ventilatsioon	Õhuvahetuse intensiivistamiseks välisseintesse paigaldatakse värkseõhuklapid (keskkütte radiaatorite taha/kohal), lokaalsed või tsentraalsed väljatõmbeventilaatorid; õhuvahetus peale värkseõhuklappide paigaldamist võrdne 0,5 l/h			45,9	- 18,2
Kokku				119	112

¹ – tagatakse sokli lisasoostamisega

Tabel 16. Meetmete pakett III (40% toetus)

Siseõhutemperatuur: $t = 21\text{ °C}$ KP = 3349,4 °Cd			Tasakaalutemperatuur: $t_b = 13,9\text{ °C}$ Õhksoojuspumba paigaldus		
Piirdetarindid või selle osa	Materjal/ tüüp	Parendusmeede, soovitud energiasäästuks	Arvutuslik U-väärtus peale meetme rakendamist	Hinnangulised soojuskad peale meetme rakendamist, MWh/a	Energiasääst, MWh/a
Välisseinad	Silikaltsiitplok, ca 30 cm	Lisasojustamine 150 mm	0,21	15,2	73,5
Trepikoja aknad	Puitraamiga aknad	Soojapidavamatega asendamine	1,1	1,0	2,6
Välisüksed	Puituksed	Soojapidavamatega asendamine	1,6	3,7	6,2
Korterite PVC aknad	PVC-raamiga pakettaknad	Ei soovitata	1,7	22,7	10,1
Korterite puitaknad	Puitraamiga kahekordsed aknad	Soojapidavamatega asendamine; $U \leq 1,10\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	1,1	0,5	1,2
Katus	R/b-õõnespaneelid, saepuru	Puistevillaga soojustamine min. 40 cm	0,12	4,5	34,8
Esimese korruse põrand	Õõnespaneel, ehitusaegne soojustus	Ei soovitata	0,35 ¹	13,3	14,1
Ventilatsioon	Soojustagastusega (vähemalt 70%) sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi väljaehitamine (vt ptk 6.2.5.3 ja 6.2.5.4); süsteem peab teenindama kõiki korterite ruume; õhuvahetuskordarv peale ventilatsioonisüsteemi ehitamist võrdne 0,5 1/h			7,7	20,0
Kokku				69	162

¹ – tagatakse sokli lisasojustamisega

6.2. Renoveerimislahenduste kirjeldamine

6.2.1. Välisseinad ja sokkel

Enne renoveerimistöid ja lisasoojustamist tuleb alati kontrollida välisseinte üldist ehitustehnilist seisukorda:

- külmasildade kontroll: hallitus, veeauru kondenseerumine sisepindadel, eriti välisseinte nurkade ja katuse piirkonnas;
- vuukide seisukorra kontroll.

Välisseinte suure soojusjuhtivuse ja seinas paiknevate külmasildade tõttu võib välisseinte lisasoojustamist pidada möödapääsmatuks ohutu ja tervisliku sisekliima nõudeid ning energiasäästu vajadust arvestades.

Välisseinte lisasoojustamise peamised lahendused on:

- puit- või metallkarkassi vahel soojustus + tuuletõke + tuulutusvahega fassaadikate (näiteks tsementkiudplaat, kerged fassaadikivid, tellisimitatsiooniga liitpaneelid vms.);
- mineraalvilla või vahtpolüstüreensoojustusega liitsüsteem.

Konkreetne lisasoojustuse lahendus projekteeritakse lähtuvalt elamu energiatõhususe eesmärkidest, materjalide omadustest ja olemasolevast seinatarindist.

Energiatõhususe seisukohalt on otstarbekas soojustuse paksus 15-20 cm.

Kuivõrd soojustuskiht kaitseb edaspidi seinu väliskeskkonna lagundava mõju eest, aitab lisasoojustamine ühtlasi ka pikendada hoone kasutusaega.

Seinte soojustamisel on lisaks energia kokkuhoiule ka täiendavaid efekte, millised omavad olulist väärtust küll maja kasutusmugavuse tõstmisel, kuid millele on raske tasuvust arvutada. Nimelt pärast soojustamist tõuseb seinte sisepinna temperatuur, mille tulemusena suureneb oluliselt hoone kasutusmugavus.

Soklikonstruksiooni soojustamise tulemusena vähenevad keldriruumide välisjahtumise kaod, ja keldri sisetemperatuur hakkab kasvama. Sisetemperatuuri tõusuga koos vähenevad soojusvood läbi I korruse põranda.

6.2.2. Katuse ja pööningu põrand

Katuse renoveerimise juures tuleb vaadelda mitut aspekti:

- katusekatte veepidavust;
- katusekonstruktsioonide kandevõimet;
- katuse soojus- ja niiskustehnilist toimimist.

Pööningu vahelagi on ülevalt poolt viimase korruse köetavate siseruumide piirdeks. Olemasolev soojustus ei ole piisav ega ühtlane ja ei vasta kaasaegsetele nõuetele.

Kuna pööningu vahelae soojustamine ei nõua täiendavaid tarindimuutusi, võib soojustuse paksus olla 40...50 cm. Vana soojustuse võib eemaldada, siis saab tulemuslikumat soojustust paigaldada rohkem. Korstna ja katuseluugi juurde või teistesse liikumispiirkondadesse tuleb rajada käiguteed, et soojustust ära ei tallutaks.

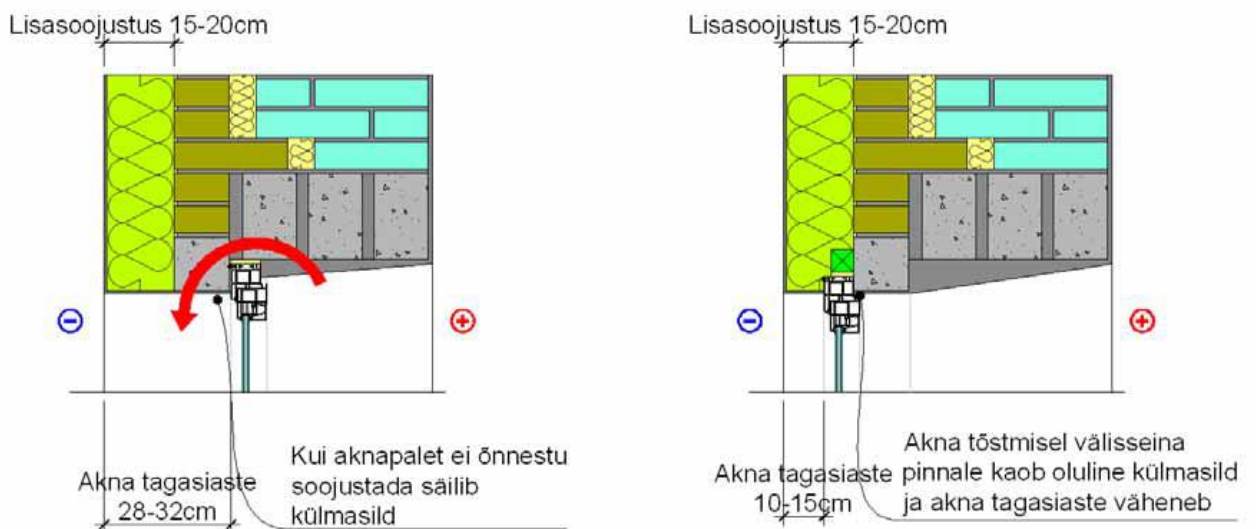
6.2.3. Avatäited: aknad ja välisused

Pilistvere tee 12 elamu osa akendest on ühe puitraamiga ja kahe-kolme klaasiga, millel on väike nii sooja-, õhu- kui helipidavus. Puitraamiga akende soojuslähivuseks võib hinnata $U = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Tänapäevaste akende soojuslähivus on kuni kolm korda väiksem.

Ehitusjärgses olukorras oli õhuleke läbi akna ebatiheduste vajalik loomuliku ventilatsiooni toimimiseks: aken oli üks peamine värsk õhu juurdevoolu allikas. Renoveeritud ventilatsiooniga hoone puhul ei pea aknad olema suure õhulekkega, kuna värsk õhu juurdevool tagatakse mehaaniliselt või värsk õhu klappide kaudu.

Fassaadide lisasoojustamist on võimalik teha elamu üldist arhitektuurset ilmet kahjustamata. Hoone arhitektuurse ilme säilimisel tuleb tähelepanu pöörata ka detailidele, näiteks akna ja seina liitekohale. Ehitusjärgse lahenduse kohaselt astub aken seina välispinnast 12 cm (osadel hoonetel ka 25 cm) tagasi. Välisseinte lisasoojustamisel (15...20 cm) on oht, et aken jääb üle 30 cm sügavusse „auku“. Selle vältimiseks tuleks aknad tõsta olemasoleva välisseina välispinda. Mida on parim teha siis, kui koos välisseinte lisasoojustamisega vahetatakse elamul ära ka aknad.

Teine, kuid mitte väheoluline põhjus, miks aknad on hea tõsta väljapoole (vt Joonis 2), on tehniline. Ilma akende väljatõstmiseta ei ole võimalik korrektselt kaotada akna ja välisseina liitekohas paiknevat külmasilda. Kuna akende vahetamine ja sisemiste palede viimistlemine on korteri kohta 1–2 päeva töö, ei võta kauem aega ka akende paigaldus välisseina välispinda ja palede uuesti viimistlemine.



Joonis 2. Akna tõstmine soojustuskihti

6.2.4. Küttesüsteem

Küttesüsteemi renoveerimise juures tuleb tähelepanu pöörata torustiku ja küttekehade tehnilisele seisukorrale ning süsteemi kui terviku toimimisele.

Küttesüsteemi renoveerimisel tuleb teha vähemalt järgmised tööd:

- süsteem seadistada õigele temperatuurigraafikule ja vooluhulgale, et kõikides korterites oleks tagatud vajalik temperatuur;
- vajadusel ehitada uus kahetoru süsteem, mis tagab üldjuhul parema soojuse ringluse ja temperatuuri reguleerimise võimaluse;
- kõikidele radiaatoritele tuleb paigaldada termostaatventiil, mis võimaldaks reguleerida õhutemperatuuri vahemikus 18-23 kraadi;
- vajadusel olemasolevate radiaatorite väljavahetamine;
- tasakaalustada tuleb kütetorustikud, sh. magistraalid ja püstikud;
- paigaldada õhutusventiilid;
- kütmata ruumides tuleb torustik isoleerida;

Olemasolevad tahkeküttekattelad on paigaldatud ~13 aastat tagasi. Pikas perspektiivis on mõtet kaaluda katelde vahetamise võimaluse. Kütteallika valimisel peab arvesse võtma kütteallika automatiseeritust, alginvesteeringut ja aastaseid hoolduskulusid.

Igal küttesüsteemil on oma plussid ja miinused. Pidev aktsiisitõus on viinud õlikütte kallinemiseni, ka elektrikütet võib suurte püsikulude tõttu järjest harvem kohata. Maakütte puhul on tegu kõige soodsama MWh hinnaga, kuid arvesse tuleb võtta ka alginvesteeringut ning hoolduskulusid pikas perspektiivis. Tõsiselt võetavad alternatiivid maaküttele on õhk-vesi soojuspump, maagaasiküte ja pelletikatel.

Õhk-vesi soojuspumba suurim miinus on vajadus lisakütteks väga külmade ilmadega, pluss aga see, et pole vaja paigaldada maakollektorit, mis muudab ka alginvesteeringu madalamaks.

Pelletikütte alginvesteering on küll madalam kui maaküttele, kuid kasutuskulud kõrgemad, lisaks on olemas palju ka pelleti kvaliteedist. Pelletikatla kasutusmugavus on väiksem kui maaküttele, sest omanik peab regulaarselt katelt pelletite varustama ja katelt puhastama.

Tahkeküttekattelaga on küttepuid ostes püsikulud madalamad kui maaküttega, kuid kasutusmugavus on tunduvalt väiksem.

6.2.5. Ventilatsioonisüsteem

Uuringu raames läbiviidud tehnosüsteemide ülevaatus kinnitab, et hoone loomulik ventilatsioonisüsteem on amortiseerunud ega võimalda nõutava õhuvahetuse tagamist.

Ainult loomuliku ventilatsioonisüsteemi kasutades ei ole võimalik tagada tänapäeva nõuetele vastavat õhuvahetust. Probleem on kõige teravam soojemate tuulevaiksete ilmadega ning viimaste korruste korterites. Korterite loomuliku ventilatsiooni väljatõmbeõhu vooluhulk muutub aasta lõikes suhteliselt suurel määral.

Piisava õhuvahetuse tagamiseks tuleb elu- ja magamistubadesse paigaldada värskõhuklapid. Samas ei taga ka tavalised värskõhu klapid tänu loomuliku ventilatsiooni liiga väiksele väljatõmberõhule soovitud õhuvahetust. Samuti on nende probleemiks talvetingimustes tekkiv külm õhuvool.

Korterite sisekliima ja õhuvahetuse parandamiseks on erinevaid võimalusi. Tuleb arvestada, et hoone piirded, küttesüsteem ja ventilatsioon moodustavad ühtse terviku, mistõttu peavad renoveerimislahendused olema kompleksed ja sobima kogu hoonele. Soovitud tulemuse saavutamiseks tuleb enne renoveerimise alustamist paika panna selle ulatus ja taotletav tase.

6.2.5.1. Värskeõhuklappide paigaldus koos väljatõmbeventilaatoritega köögis ja sanitaarruumides

Mainitud lahendust kasutatakse ainult ajutise lahendusena ventilatsiooniõhuhulkade tagamiseks. Kuna sellel lahendusel puudub ventilatsiooniõhust soojuse tagastuse võimalus, ei saa seda lahendust pidada pikas perspektiivis jätkusuutlikuks.

Tuleb iga korteri elu- ja magamistubadesse paigaldada värskeõhuklapid (vt Joonis 3). Et vältida tuuletõmbust on kõige parem paigaldada värske õhu klappid radiaatorite taha. Juhul kui see ei ole võimalik, siis akna ülapiirkonda radiaatori kohale. Värske õhu klappide valikul tuleb silmas pidada, et õhujoa suund ning õhuvooluhulk oleksid reguleeritavad. Samuti tuleb tähele panna, et kirjeldatud lahendus töötab vaid juhul, kui on tagatud ruumidevaheline õhu liikumine. See tähendab, et korteri siseuste all peavad olema vähemalt 10 mm pilud. Vajadusel võib pilude asemel ustesse paigaldada ka siirdeõhu restid.

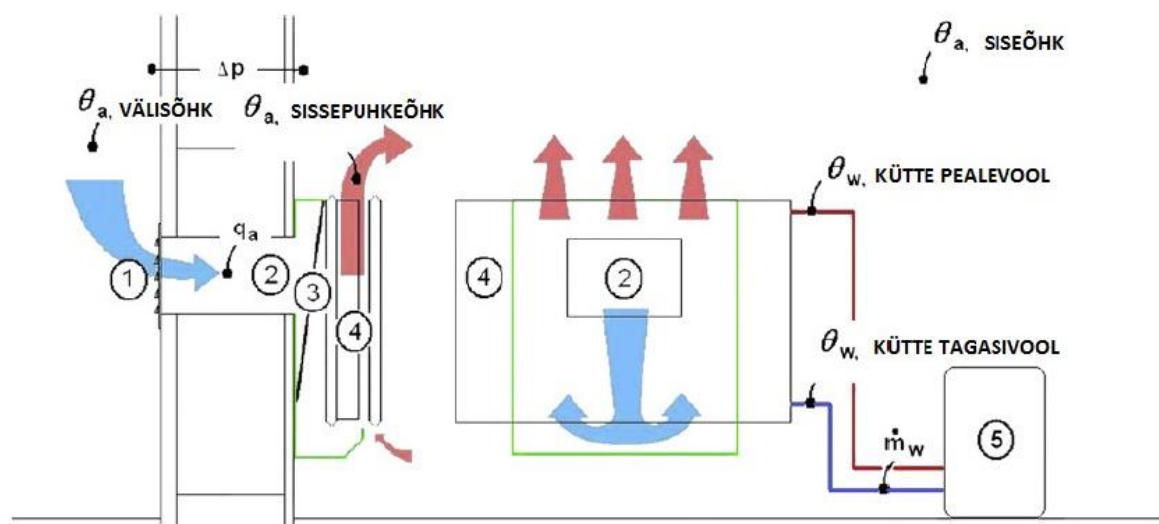
Väljatõmmet intensiivistatakse kas lokaalselt, paigaldades köögi ja sanitaarruumide väljatõmbelõõridesse väljatõmbeventilaatorid või tsentraalselt, paigaldades katuseventilaatorid.



Joonis 3. Värskeõhuklapp ja sama klapi õhujuga laboritingimustes sise- ja välistemperatuuride erinevusel 30 °C ning õhuvooluhulgal 8 l/s

6.2.5.2. Värskeõhuradiaatori paigaldamine

Värskeõhu radiaatorsüsteem koosneb välisseina rajatud õhuvõtukanalist, mis on varustatud välisrestiga, filtriga komplekteeritud seinakanalist ja paneelradiaatorist (Joonis 4).



Joonis 4. Värskeõhuradiaatori osad: (1) välisrest, (2) seinakanal, (3) filter, (4) radiaator, (5) soojuskandja pump

Õhuvõturesti ülesanne on takistada võõrobjektide sattumist seinakanalisse ning vältida sademete sisenemist süsteemi. Värske õhk juhitakse läbi õhuvõturesti ja seinakanali radiaatorisse. Seinas asuva kanali läbimõõt on 100 mm, mis võimaldab ventileerida 1 elanikuga ruumi. Õhuvoolu vähendamiseks ning sulgemiseks on võimalik kasutada komplekti kuuluvat reguleerelementi. Niiskuskahjustuste ning seadet mitteläbiva külma õhuvoolu vältimiseks on oluline kanal tihedalt isoleerida.

Süsteemi liikumapanevaks jõuks on väljatõmbeventilaatorite poolt tekitatud alarõhk. Sellest tulenevalt ei tarbi sissepuhkesüsteem iseseisvalt elektrit ja liikuvate osade puudumise tõttu ei tekita häirivat müra. Kuivõrd tegu on kanaliga väliskeskkonda, võib müraprobleeme tekkida suure liiklustihedusega tänavate juures. Sel juhul on võimalik paigaldada ka müraisolatsiooniga seinakanal. Väljatõmbeventilaatorite poolt ruumi loodavaks alarõhuks arvestatakse 10-15 Pa. Suuremate väärtuste puhul tõuseb infiltratsioonioõhu vooluhulk, madalamatel väärtustel ei ole õhuvooluhulk läbi süsteemi tagatud.

Värske õhu ruumi juhtimisel läbi radiaatori on mitmeid häid külgi. Radiaatori soojusväljastus suureneb kahel põhjusel – esiteks on soojusülekanne seda intensiivsem, mida suurem on õhu liikumiskiirus. Teiseks on küttekeha soojusväljastus seda suurem, mida suurem on radiaatori pinnatemperatuuri ja õhutemperatuuri vahe. Traditsioonilise radiaatori korral liigub küttekehast läbi toatemperatuuril õhk. Ventilatsiooniradiaatorite korral on õhu algtemperatuur võrdne välisõhu temperatuuriga, mis talveperioodil on kuni 30-35 °C madalam toatemperatuurist. Lisaks suurenenud soojusväljastusele loob kõnealune süsteem mugavama sisekliima, sest ruumi jõudev õhk on eelsoojendatud.

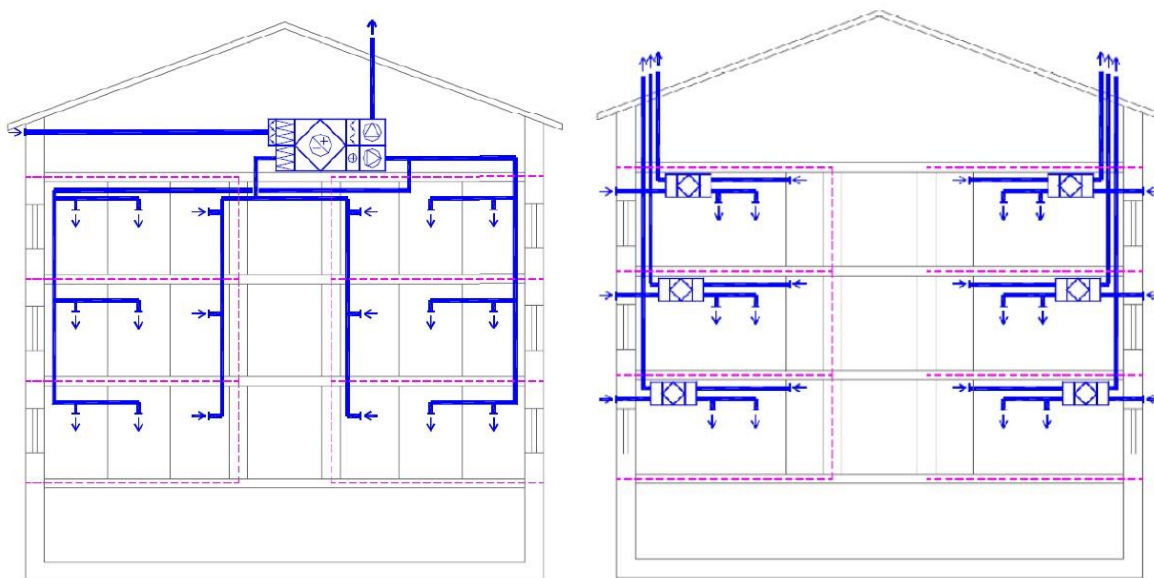
Sellise küttekeha maksumus on mõningal määral kõrgem, kui eraldi olevate tavalise küttekeha ja klapi hind kokku.

6.2.5.3. Soojustagastusega mehaaniline sissepuhke-/ väljatõmbeventilatsioon

Korteri õhuvahetust tagab korterisse (korteripõhine) või katusele (tsentraalne) paigaldatud ventilatsiooniagregaat (Joonis 5).

Sissepuhkeõhk antakse elu- ja magamistubadesse ja väljatõmme toimub köögist, vannitoast ja WC-st. Sissepuhke- ja väljatõmbekanalid paiknevad lae all ripplae taga. Kasutakse väikese läbimõõduga painduvaid plastist õhukanaleid, mis võtavad vähe ruumi, võimaldades seeläbi kanaleid interjööris paremini "peita". Sissepuhkel kasutatakse sein- või laeplafoone. Laeplafoonid tagavad parema õhujaotuse, kuid keset toa lage paigaldatud plafoonid võivad hakata inimesi häirima. Kuna ruumid ei ole reeglina piisavalt kõrged, siis ripplae ehitamine õhukanalite varjamiseks on raskesti teostatav. Väljatõmbel kasutatakse plafoone ja köögis toiduvalmistamise ajal ka pliidikubu. Lisaks eelmainitud elementidele kuuluvad ventilatsioonisüsteemi koosseisu veel mürasummutid ja reguleerklapid.

Kuna ventilatsioonisüsteemi läbib ka sanitaarruumide väljatõmbeõhk, siis ei tohi agregaadis tekkida sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvoolude segunemist. Samuti tuleb arvestada, et vannitoa niiske õhk võib talvetingimustes põhjustada soojustagasti jäätumist. Loetletud probleeme arvesse võttes, on korterisse sobivam valida plaatsoojustagastiga agregaat, mis suudab mõningal määral tagastada ka varjatud soojust. Kondensaadi eemaldamiseks tuleb plaatsoojustagastiga agregaadile ette näha vesilukk ja rajada vastav torustik. Seadmes paiknev elektrikalorifeer hoiab etteantud sissepuhketemperatuuri, seega on hea sisekliima tagatud ka külmal aastaajal.



Joonis 5. Soojustagastusega tsentraalne (vasakul) ja korteripõhine (paremal) mehaaniline sissepuhke ja väljatõmbeventilatsioonisüsteem

6.2.5.4. Fassaadialune soojustagastusega ventilatsioonisüsteem

Korterimaja kompleksse renoveerimise käigus rajatakse tsentraalne energiatagastusega sundventilatsioonisüsteem. Sissepuhke ja väljatõmbe kanalid kinnitatakse otse olemasolevale fassaadile (Foto 7). Õhukanalid jäävad fassaadisoojustuse alla, ning seega silmale nähtamatuks. Igas magamistoas ja elutoas jääb välisseina sisepinnale sissepuhke plafoon. Sanruumidesse (WC ja vannituba) ja kööki paigaldatakse väljatõmbe plafoonid. Välisseinaga mittepiirnevate sanruumide korral läbib ruumi teenindav väljatõmbekanal san-bloki ja välisseina vahele jäävat ruumi. Olemasolevad vanad sanruumide väljatõmbekanalid suletakse ja isoleeritakse.

Olenevalt hoone tüpoloogias ja soojustuskihi paksusest kasutatakse ümaraid kahekihilisi plastikust õhukanaleid välisläbimõõduga 75 või 90 mm või lamekanaleid mõõtmetega 137×51 mm. Fassaadialuse torustiku sisekiht on antibakteriaalsest materjalist.

Hoone ventilatsioonisüsteem grupeeritakse vajadusel näiteks trepikodade või korruste kaupa. Ventilatsiooniseadmeid on võimalik vastavalt hoone võimalustele paigaldada nii pööningule, keldrisse, kui ka lamekatusele välistingimustesse. Ventilatsiooniagregaat suudab üle 80% heitõhu soojusest tagastada ruumidesse sisse kanduvale sissepuhke õhule. Kuna ventilatsiooniseade kasutab vastuvoolu plaatsoojusvahetit, on välditud õhuvoolude segunemine (vastupidiselt näiteks rootor tüüpi soojusvahetitele).

Kogu süsteemi on võimalik juhtida läbi sama tootja juhtautomaatika ning valikuliselt on samuti võimalus soetada juurde üle internet juhtimise ja monitoorimise lahendus.



Foto 7. Fassaadialune ventilatsioonisüsteem

7. Lisad

7.1. Vabasoojuskooormuse ja tasakaalutemperatuuri leidmine

Tasakaalutemperatuur on temperatuur, milleni tõstetakse siseõhutemperatuur küttesoojuse arvelt. Edasine temperatuuri tõus toimub vabasoojuse (päike, inimesed, seadmed) abil. Tasakaalutemperatuur langeb peale hoone renoveerimist, millega saavutatakse energiasäästu. Hoone tasakaalutemperatuur sõltub hoone piirdetarindite soojakadudest, sisetemperatuurist, vabasoojuse hulgast ja õhuvahetuse hulgast.

Teooria:

- Piirdetarindite erisoojuskadu:

$$H_{\text{piirded}} = \Sigma (U_i \cdot A_i) \text{ [kW/}^\circ\text{C]}$$

- Õhuvahetuse erisoojuskadu:

$$H_{\text{vent}} = L \cdot \rho \cdot c \text{ [kW/}^\circ\text{C]}$$

- Hoone erisoojuskadu kokku:

$$H = H_{\text{piirded}} + H_{\text{vent}} = \Sigma (U_i \cdot A_i) + L \cdot \rho \cdot c \text{ [kW/}^\circ\text{C]}$$

Kogu vabasoojus hoones korterite 1 m² kohta on q_{vs} = 50 kWh/(m² a). Peale maja renoveerimist võib arvestada q_{vs} = 45 kWh/(m² a).

Vabasoojus korterelamus	Päike	Inimesed, valgustus ja seadmed	Kokku
Kuu	kWh/m ²	kWh/m ²	KWh/m ²
Jaanuar	0,8		
Veebruar	1,7		
Märts	4,4		
Aprill	4,5		
Mai	5,6		
September	3,4		
Oktoober	1,6		
November	0,7		
Detsember	0,3		
Kokku	23	29,1	52,1

Vabasoojuse kasutamine sõltub hoone küttesüsteemi automatiseeritusest. Välistemperatuurianduriga automaatse ilma radiaatorite termostaatventiilideta küttesüsteemi vabasoojuse kasutegur on 0,55. Radiaatoritele paigaldatud automaatsete termostaatventiilide küttesüsteemi vabasoojuse kasutegur on 0,7.

Tabel 17. Tasakaalutemperatuur enne ja peale renoveerimist

	Ühik	Praegune olukord	Pakett I	Pakett II	Pakett III
Arvestuslik vabasoojus 1m ² kohta, q_{vs}	kWh/m ² a	50	50	45	45
Vabasoojuse utilisatsioonitegur	-	0,55	0,55	0,7	0,7
Kogu hoone arvestuslik vabasoojus aastas, Q_{vs}	kWh/a	31334	31334	35891	35891
Keskmine vabasoojuskoormus, Φ_{vs}	kW	4,78	4,78	6,03	6,03
Erisoojuskaod läbi välispiirete, H_{vs}	kW/ °C	1,75	0,82	0,76	0,76
Õhuvahetus	1/h	0,25	0,5	0,5	0,5
Erisoojuskaod õhuvahetusele, H_{vent}	kW/ °C	0,24	0,48	0,48	0,1*
Erisoojuskaod kokku, $H=H_{vp}+H_{vent}$	kW/ °C	1,99	1,3	1,23	0,85
Temperatuuritõus vabasoojuse arvelt, $\Delta t = \Phi_{vs} / H$	°C	2,4	3,7	4,9	7,1
Kogu hoone keskmine siseõhu temperatuur kütteperioodil	°C	21	21	21	21
Tasakaalutemperatuur	°C	18,6	17,3	16,1	13,9

* - soojustagastus 70%

7.2. Illustreerivad pildid





7.3. Kasutatud kirjandus

1. Energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi Valitsuse 3.06.2015 määrus nr. 55 (RT I, 05.06.2015, 15).
2. Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. Vabariigi Valitsuse 5.06.2015. a määrus nr. 58 (RT I, 09.06.2015, 21).
3. Hoonete soojuslik toimivus (2008) Eesti Standard EVS-EN 13370:2008
4. T.-A. Kõiv, A. Rant (2013) Hoonete küte
5. Eesti Kraadpäevad – Kredex
6. TTÜ uuring (2011). „Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga”.