



Aadress:

Haimre küla, Märjamaa vald, Rapla maakond

E-post:

Tellija andmed:

Tellija: Haimre

ridaelamu ENERGIAAUDIT



Haimre küla, Märjamaa vald, Rapla maakond

Aruanne esitatud: 5.05.2022

Tallinn 2022

Eessõna

Käesolevas energiaauditi aruandes on esitatud Raplamaal Haimre külas kahekorruselise ridaelamu 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 energიაauditi juhendmaterjal.

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

Hoone auditeerimisel analüüsiti 2019...2021 aasta elektrienergia kulu ning vastavaid rahalisi kulusi. Meetmete tasuvuse hindamisel võeti arvesse elektrienergia hindade hetke seisu.

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 hinnapakumiste küsimisel.

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

Objekti ülevaatusel abistas audiitorit KÜ juhatuse liige.

Elamu energeetilise auditeerimise viis läbi energიაaudiitor (tase 6 täiskutse)

Sisukord

1. Energiaauditi tulemuste kokkuvõte ja ülevaade säästuettepanekutest	5
1.1. Ülevaade hoone soojusenergia kuludest	5
1.2. Hoone sisekliima parandamise ja energiasäästu meetmete paketid	5
1.3. Kokkuvõte meetmete pakettidest	10
2. Auditeeritava hoone üldine iseloomustus	11
2.1. Asukoht ja paiknemine	11
2.2. Hoone olulisemad andmed	11
2.3. Läbiviidud renoveerimis-/ rekonstrueerimistööd	12
2.4. Hoone välistarindite kirjeldus	12
2.4.1. Välisseinad ja sokkel	12
2.4.2. Katus	12
2.4.3. Esimese korruse põrand	12
2.4.4. Avatäited	13
2.5. Tehnosüsteemid	13
2.5.1. Soojusvarustus	13
2.5.2. Ventilatsioonisüsteem	14
2.5.3. Vee- ja kanalisatsioonisüsteemid	15
2.5.4. Elektrisüsteem	15
3. Sisekliima mõõtmistulemused	16
4. Energiatarbimise analüüsi tulemused	18
4.1. Elektrienergia kulu analüüs	18
5. Hoone soojusbilanss	19
6. Pargi ridaelamu renoveerimislahendused	22
6.1. Hoone soojuskaod peale renoveerimist renoveerimispakettides pakutud meetmete rakendamisel	22
6.2. Renoveerimislahenduste kirjeldamine	23

6.2.1. Välisseinad ja soklikorrus.....	23
6.2.2. Katus.....	23
6.2.3. Avatäited: aknad ja välisüksed	24
6.2.4. Soojusvarustus	25
6.2.5. Ventilatsioonisüsteem.....	26
6.2.5.1. Värskeõhuklappide paigaldus koos väljatõmbeventilaatoritega köögis ja sanitaarruumides	27
6.2.5.2. Soojustagastusega mehaaniline sissepuhke-/ väljatõmbeventilatsioon	28
6.2.5.3. Fassaadialune soojustagastusega ventilatsioonisüsteem.....	29
7. Lisad.....	30
7.1. Vabasoojuskooormuse ja tasakaalutemperatuuri leidmine	30
7.2. Illustreerivad pildid	32
7.3. Kasutatud kirjandus.....	34

1. Energiaauditi tulemuste kokkuvõte ja ülevaade säästuettepanekutest

Käesolevas peatükis on esitatud kokkuvõte ridaelamu energiaauditi läbiviimise tulemustest. Energiaauditi analüüsi aluseks on 2019...2021 aasta energiatarbimise andmed (elektrienergia).

1.1. Ülevaade hoone soojusenergia kuludest

elamu vajalik (hoida hoones õhutemperatuuri 21 kraadi) kütteenergia kogukulu on 97 MWh/a aastas ja lähtuvalt hoone kőetavast pinnast 464,8 m² on normaalaasta keskmine soojusenergia tarbimine pinnaühikule 208 kWh/m² aastas.

1.2. Hoone sisekliima parandamise ja energiasäästu meetmete paketid

Käesolevas peatükis on toodud ettepanekud seoses hoone renoveerimisega. Välja on toodud ettepanekud hoone täisrenoveerimiseks, mis võimaldab Kredexi toetust taotleda. Lisaks ka lihtsamad ettepanekud kütteenergia kokkuhoiuks.

Elamu terviklik rekonstrueerimine võimaldab suurendada hoone energiatõhusust, pikendab selle eluiga, tõstab väärtust kinnisvaraturul ning toob kaasa paranenud sisekliima.

Tehtavate tööde maksumuse määramisel kasutatakse konstruktiivilemendi maksumuse määramise metoodikat. Ühikhinnad sisaldavad ehitamise otsekulusid (tööjõud, materjalid, ehitusmasinad-seadmed), ehitusplatsi ja -firma üldkulusid, mõistlikku kasumit ja käibemaksu (20 %). Projekti raames koostatud maksumushinnang on orienteeruv, st Pargi elamu renoveerimiseks tuleb koostatud projektdokumentide alusel korraldada hinnapakkumiste küsimine potentsiaalsetelt ehitustõid tegevate ettevõtjatelt. Ehitusmaksumus sõltub nii ajahetkest, objekti asukohast kui ka tellija poolt koostatud töövõtu programmist. 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.

Märkused renoveerimistööde maksumuse kalkulatsiooni kohta:

- ✓ arvutuste aluseks olev hinnainfo pärineb tööde maksumuse eelarvestamisel näidiselamutele võetud hinnapakkumistest, analoogobjektide tegelikest hinnapakkumistest ning sarnaste objektide renoveerimistööde 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 renoveerimistööde tegemisele (kulutused ehitusettevõtjale tehtud tööde eest) tekivad renoveerimisega seonduvalt üldjuhul järgmised kulutused (lihtsustatud loetelu):

- korterelamu olemasoleva tehnilis-majandusliku olukorra hindamine vastavate spetsialistide poolt – kulutused uuringutele ja ekspertiisidele (nt 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 renoveerimislaenule on 3 % (laen alates 100 000 eur) kuni 5 % (laen kuni 100 000 eur) kogu laenu tagasimakse ajale;
- laenu tagasimaksmise aeg korterelamutele on kuni 20 aastat;

Elamu täisrenoveerimise pakett (võimaldab taotleda Kredexi toetust kuni 50 % ulatuses):

- ❖ õhuvahtuse suurendamist tagatakse kas korteripõhiste või tsentraalsete soojustagastusega (soojustagastus 70 - 80%) mehaanilise sissepuhke-/ väljatõmbe agregaatide paigaldamisega (vt ptk 6.2.5.2.)
- ❖ hoone välisseinte (sh sokli) soojustamine 15 cm paksuse soojustusmaterjaliga. Seinte soojapidavus peale soojustamist vähemalt $U = 0,21 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$; soojustatakse ka aknapaaled;
- ❖ hoone katuse soojustamine puistevillaga (katuse soojajuhtivus peale soojustamist $U = 0,12 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$). Katuse katte väljavahetamine;
- ❖ hoone vahetamata akende väljavahetamine soojapidavamate vastu (uue akna soojuslähivus $U = 1,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$);
- ❖ tsentraalse küttesüsteemi väljaehitamine koos kütteallika paigaldamisega (õhk-vesi tüüpi soojuspump või maasoojuspump).

Tabel 1. Täisrenoveerimise pakett

Hoone osad	Parendusmeetme kirjeldus ³	Meetme maksumus, EUR*	Soojus-energia-sääst, MWh/a	Säästuväärtus EUR/a ²	Lihttasuvusaeg, aastad ¹	Märkus
Välisseinad	Välisseinte ja sokli soojustamine 15 cm	~ 50 000				
Katus	Katuse soojustamine ja katusekatte väljavahetamine	~ 40 000				
Aknad	Puitakende väljavahetamine	~ 2 000				
Küte	Tsentraalse küttesüsteemi väljaehitamine koos kütteallika paigaldamisega	~ 45 000				
Ventilatsioon	Soojustagastusega mehaanilise ventilatsioonisüsteemi väljaehitus	~ 30 000				
Siseviimistlus	Taastamine	~ 5 000				
Ehitusplatsi kulud		~ 10 000				
Kokku:		~ 182 000	59			

¹ – intresse ja KredEx-i toetust arvestamata

² – arvesse võetud auditeerimise ajal kehtiv energia hind

³ – täpsem renoveerimismeetmete loetelu on toodud meetmete loetelus

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

Elamu täisrenoveerimise pakett on koostatud viisil, mis võimaldaks renoveerimistööde teostamiseks taotleda KredEx-i toetust 50% ulatuses.

Renoveerimistööde korrektsel teostamisel eeldatav energiatõhususarvu klass on D (energiatõhususarv ≤ 151 $\text{ETA} \leq 180 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$).

Kaugküttevõrguga ühendamata korterelamu rekonstrueerimisel tuleb rekonstrueerimistööde elluviimisel saavutada toetuse saamiseks energiatõhususarv, mis vastab vähemalt energiatõhususarvu klassile D.

Elamu katuse soojustamine koos katusekatte vahetamisega (ei võimalda taotleda Kredexi toetust):

- ❖ hoone katuse soojustamine puistevillaga (katuse soojajuhtivus peale soojustamist $U = 0,12 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$). Katuse katte väljavahetamine;

Tabel 2. Täisrenoveerimise pakett

Hoone osad	Parendusmeetme kirjeldus ³	Meetme maksumus, EUR*	Soojus-energia-sääst, MWh/a	Säästuväärtus EUR/a ²	Lihttasuvusaeg, aastad ¹	Märkus
Katus	Katuse soojustamine ja katusekatte väljavahetamine	~ 40 000				
Siseviimistlus	Taastamine	~ 5 000				
Ehitusplatsi kulud		~ 5 000				
Kokku:		~ 50 000	22			

¹ – intresse ja KredEx-i toetust arvestamata

² – arvesse võetud auditeerimise ajal kehtiv energia hind

³ – täpsem renoveerimismeetmete loetelu on toodud meetmete loetelus

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

1.3. Kokkuvõte meetmete pakettidest

Tabel 3. Investeeringute maksumused

	Taisrenoveerimise pakett
Tööde maksumus, EUR	182 000
KredEx-i toetus (40%)	91 000
Laenu summa, EUR	91 000
Igakuine makse (intress 3%), EUR	505
Kuumakse korterite pinnale, EUR/krt ^x m ² (sh 20% kohustuslik remondifond)	1,36

* - laenu tagasimakse periood 20 aastat

2. Auditeeritava hoone üldine iseloomustus

2.1. Asukoht ja paiknemine

Uuritav elamu asub aadressil ridaelamu, Haimre küla, Märjamaa vald, Rapla maakond (vt. Foto 1).



Foto 1. ridaelamu asukoht

2.2. Hoone olulisemad andmed

Tegemist on 1998. aastal ehitatud 2-korruselise ridaelamuga. Hoones on 6 neljatoalist elamuboksi kogupinnaga 464,8 m². Hoone köetavaks pindalaks ehitusregistri andmetel 464,8 m².

Uuritava korterelamu ehitisregistri andmed on välja toodud Tabelis 4.

Tabel 4. Hoone üldandmed (EHR)

Hoone aadress	Haimre küla, Märjamaa vald, Rapla maakond
Ehitise nimetus	Ridaelamu
Ehitisregistri kood:	
Hoone kasutusotstarve	Ridaelamu
Maapealsete korruste arv	2
Suletud netopind (m ²) (EHR)	670,6
Köetav pind (m ²)	464,8
Hoone maht, m ³	2601

2.3. Läbiviidud renoveerimis-/ rekonstrueerimistööd

Käesolevas ridaelamu hoones üldisi renoveerimistöid pole tehtud. Küll aga on teostatud väiksemaid töid. Ridaelamu boksid, boksi piirides vastavalt oma vajadustele teostatud rida väiksemaid töid näiteks akende ja uste vahetus, torustiku väljavahetamine jne.

2.4. Hoone välistarindite kirjeldus

2.4.1. Välisseinad ja sokkel

Hoone vundament on laotud raudbetoonplokkidest.

Hoone seintes on ehitusmaterjalina kasutatud silikaltsiitplokk. Välisseinad krohvitud (Foto 2). Seinte paksuseks on 30 cm. Vastavalt teostatud arvutustele uuritava hoone välisseina keskmiseks soojusjuhtivuseks on $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Foto 2. Hoone külgeseinad

Välisseinte soojapidavus on ebahütlane, esinevad külmasillad. Välisseinte suure soojusjuhtivuse ja seinas paiknevate külmasildade tõttu võib välisseinte lisasoojustamist pidada möödapääsmatuks ohutu ja tervisliku sisekliima nõudeid ning energiasäästu vajadust arvestades.

2.4.2. Katus

Auditeeritaval hoonel on välimise sadevee äravooluga viilkatus. Katuse kandekonstruktsiooniks on puitsarikad. Katusekatteks on ehitusaegne eterniit. Katuse soojustuseks kasutatud saepuru.

Katuse keskmiseks soojusjuhtivuseks võetud $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.4.3. Esimese korruse põrand

Vundament on laotud raudbetoonplokkidest. Hoonel üldkasutust omav soklikorrus puudub. Seevastu ridaelamu boksidel olemas keldriruumiga 0-korrus. Keldrid üldiselt jahedad ning ridaelamubokside küttesüsteemid enamasti sinnani ei ulatu.

Esimese korruse põranda soojusjuhtivuseks võetud $U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.4.4. Avatäited

Hoone aknad on osaliselt vahetatud plastikraamiga pakettakende vastu. Osa akendest on aga kahekordsed puitraamiga aknad, mille soojusjuhtivuseks on $U = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. PVC-raamiga pakettakende soojajuhtivuseks võetud $U = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Välisüksed on nii metall- kui ka puituksed.

2.5. Tehnosüsteemid

Tabel 5. Energia- ja veevarustuse üldiseloostus

Põhiline kütteviis	Kohtküte
Küttesüsteemi ja soojusvarustuse põhimõtteline lahendus	Elektriradiaatorid Õhksoojuspumbad Ahjud
Ventilatsiooni liik	Loomulik
Tarbevee tarnija	Majal on oma puurkaev
Olmeveekanalisatsioon	Tsentraalne, juhitakse võrku
Sooja tarbevee valmistamine	Elektriboilerid
Elektrienergia tarnija	Elektrilevi AS

2.5.1. Soojusvarustus

Pargi elamus on kasutusel kohtküte. Korterite kütmine on lahendatud ahju- ja elektriküttega. Kasutusel on nii elektriradiaatorid kui ka õhksoojuspumbad.

Sooja tarbevett saadakse iga korteri puhul individuaalse elektriboileriga.

Elanike poolt elekterkütteseadmete soojusväljastuse individuaalse reguleerimise tõttu on raskendatud kõikides korterites stabiilselt ühesuguse sisetemperatuuri hoidmine.

Juhul kui korteri kütteseadmete soojusväljastust piiratakse rohkem optimaalselt otstarbekast säästurežiimist (individuaalse kütmise või seadistamise tulemusena sisetemperatuuri viimine alla $+18 \text{ }^{\circ}\text{C}$), on raskendatud ka teistes korterites stabiilselt ühesuguse sisetemperatuuri hoidmine. Kui korterite lõikes sisetemperatuurid erinevad oluliselt, siis hakkavad „soojemad“ korterid läbi vaheseinte kanduva soojusega kütma „külmema“ kortereid. Samas ei ole aga „soojade“ naaberkorterite kütteseadmete võimsuse valikul arvestatud sellise lisakütmise vajadusega ning tekib olukord, kus ka naaberkorterite ruumitemperatuur langeb alla soovitusliku taseme.

2.5.2. 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 korterites 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 väljatõmbekanali 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”.

2.5.3. Vee- ja kanalisatsioonisüsteemid

Ridaelamus on lokaalne ühisveevärk, mis lahendatud tsentraalselt puurkaevust ning suunatud ühise kanalisatsiooniga üldvõrku.

Siiani teostatud remonttööd teostatud vastavalt vajadustele vaid bokside siseselt. Üldine hoonesse tuleva ja bokside vahelise torustiku tööd teostamata või teostatud osaliselt.

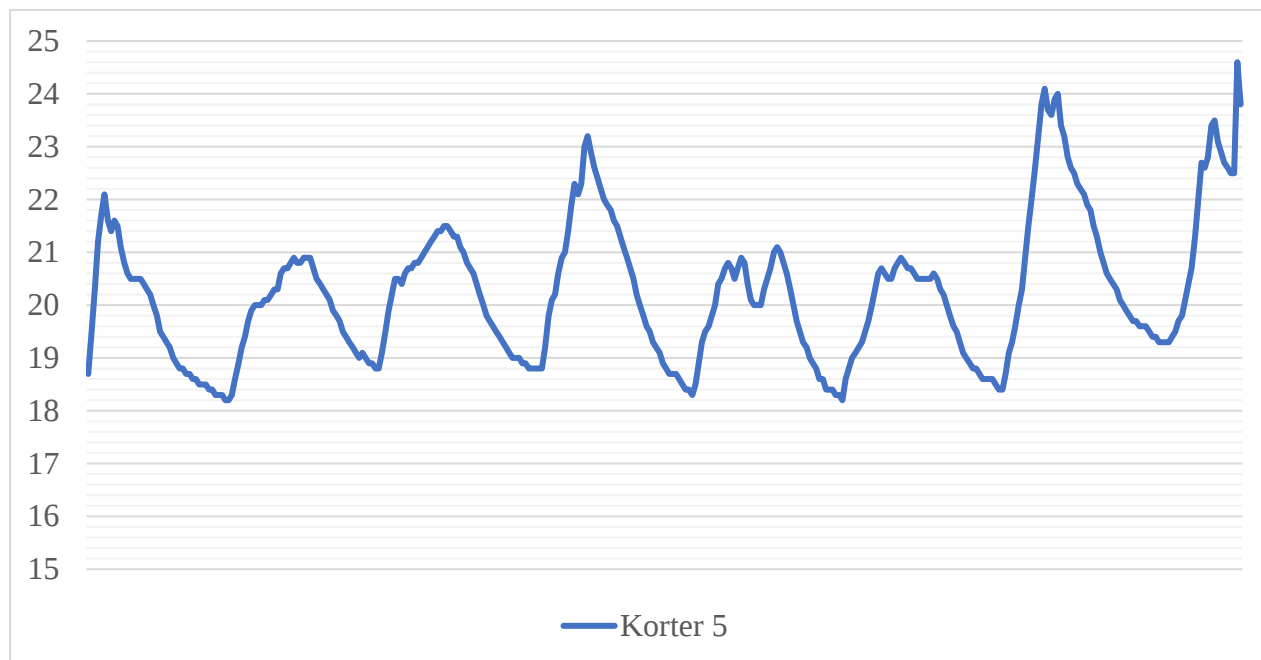
2.5.4. Elektrisüsteem

Hoone elektripaigaldis on pingega 400/230 V. Elektrienergiat kasutatakse hoones peamiselt ruumide ja tarbevee kütmiseks, valgustuseks ja elektriseadmete töötamiseks.

3. Sisekliima mõõtmistulemused

Alates 6. märtsist 2022 kuni 13. märtsini 2022 teostati ühes elamuboksis mõõtmised hoone siseõhu parameetrite väljaselgitamiseks. Saadud tulemuste alusel on koostatud graafikuid, mis näitavad siseõhu temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust. Graafikute horisontaalne telg näitab aja kulgemist.

3.1. Siseõhutemperatuur mõõtmisperioodil



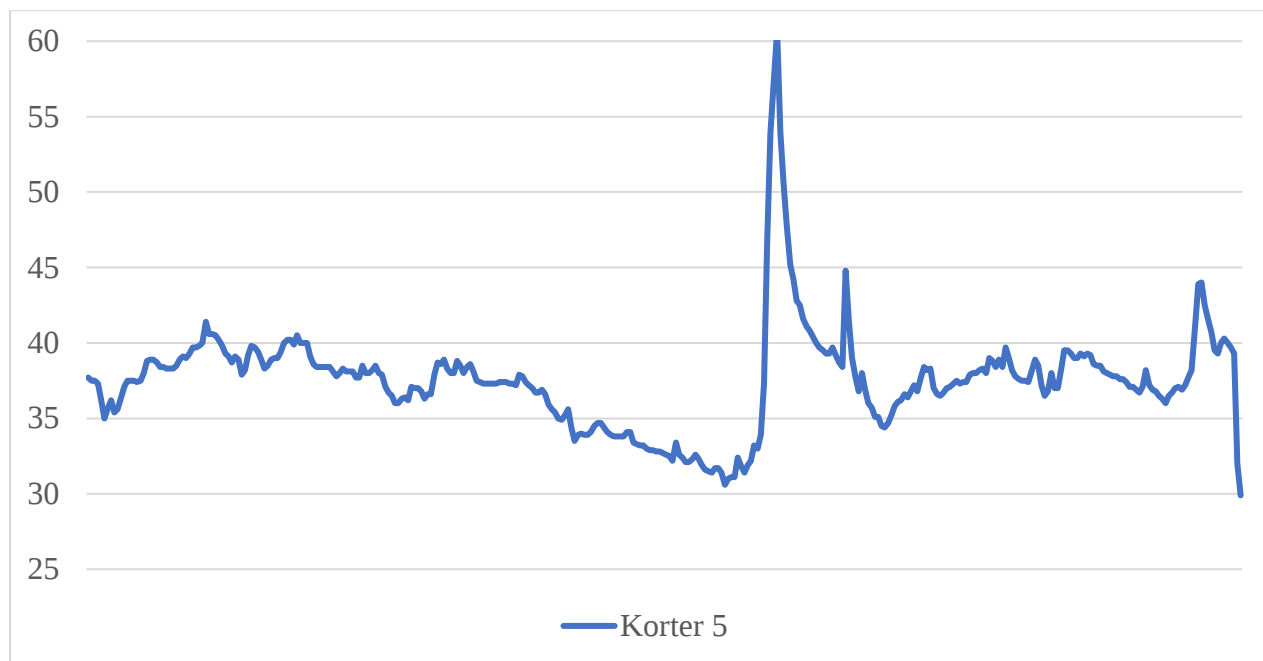
Graafik 1. Korteris mõõdetud siseõhutemperatuurid

Mõõtmisperioodil maksimaalse siseõhutemperatuuriks oli mõõdetud 24,6 °C ja minimaalseks 18,2 °C. Mõõtmisperioodi keskmiseks siseõhutemperatuuriks elamuboksis oli **20,3 °C**.

3.2. Suhteline õhuniiskus mõõtmisperioodil

Maksimaalseks õhuniiskuseks oli mõõdetud 61 %. Minimaalseks õhuniiskuseks oli 30 %. Mõõtmisperioodi keskmiseks õhuniiskuseks elamuboksis oli **38** %. Suhtelise õhuniiskuse mõõtmistulemused on toodud Graafikus 2.

Õhuniiskuse optimaalseks väärtuseks talveperioodil on alates 25 % kuni 45 %.



Graafik 2. Korterites mõõdetud suhteline õhuniiskus

Korterites mõõdetud keskmine, maksimaalne ja minimaalne siseõhutemperatuur ja suhteline õhuniiskus on esitatud koondtabelis 6.

Tabel 6. Korterites mõõdetud siseõhutemperatuurid ja suhtelised õhuniiskused

Korteri number		Boks nr. 5
Temperatuur, °C	Keskmine	20,3
	Min	18,2
	Max	24,6
Suhteline õhuniiskus, %	Keskmine	38
	Min	30
	Max	61

4. Energiatarbimise analüüsi tulemused

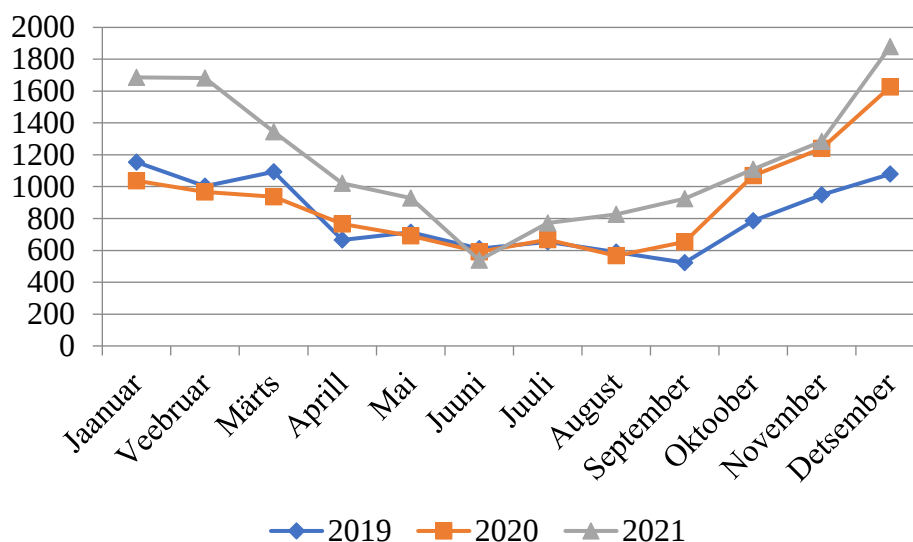
Pargi ridaelamu kommunaalkulude andmed on saadud tellijalt. On teada hoone 2019...2021 aasta elektrienergia kulu.

4.1. Elektrienergia kulu analüüs

Auditeeritava hoone kütmine on osaliselt lahendatud elektriradiaatorite ja õhksoojuspumpadega. Kogu elektrienergia kulu mõõdetakse elektriarvestiga. Tabelis 8 on esitatud andmed auditeeritava hoone elektrienergia tarbimise kohta.

Tabel 7. Pargi elamu elektrienergia tarbimine 2019...2021

Elektrienergia tarbimine	2018	2019	2021	Ühik
Mõõdetud tarbimine	9 819	10 811	13 995	kWh
Kõetav pind	464,8			m ²
Elektri eritarbimine kõetava pinna kohta	21,1	23,3	30,1	kWh/m ² · a



Graafik 3. Elektrienergia tarbimine kuude lõikes 2019...2021

5. Hoone soojusbilanss

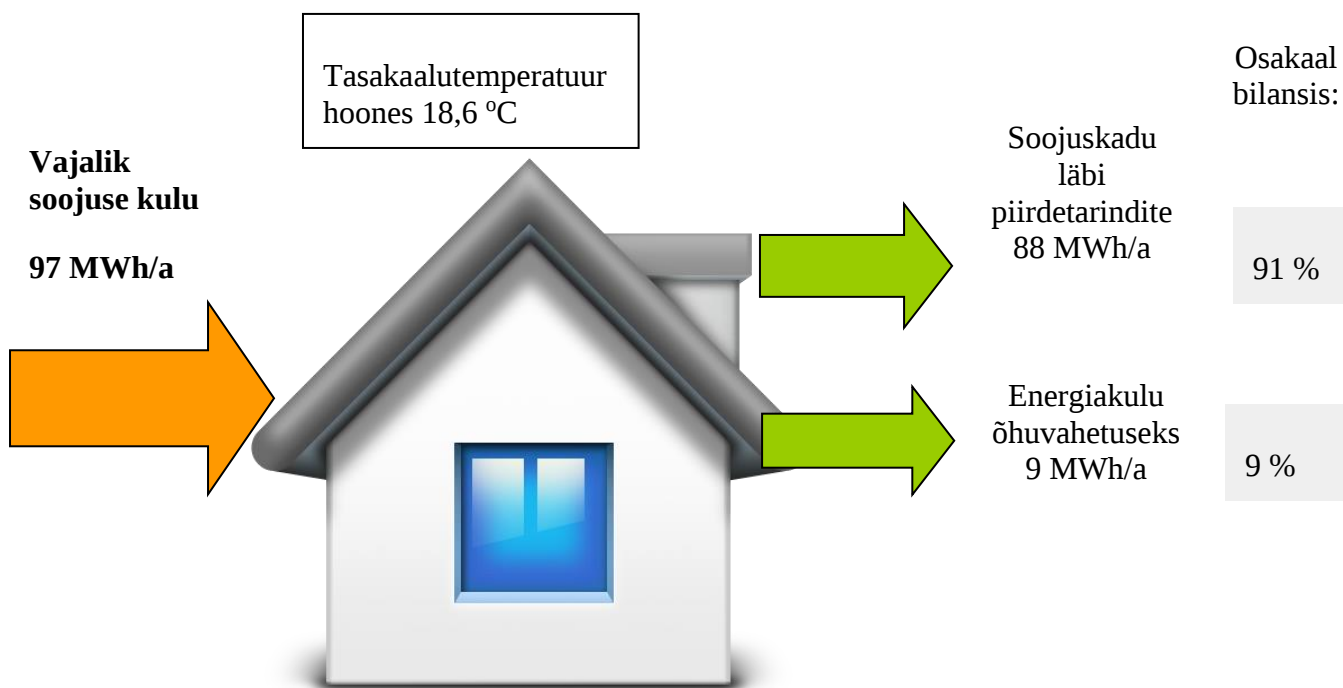
Hoones tarbitud energia ja inimestest, valgustusest ning seadmetest eralduv vabasoojus moodustab hoone energiabilansi ühe poole. Soojuskaod läbi välispiirete ja ventilatsiooniks vajaliku õhu soojendamise energiakulu moodustavad hoone energiabilansi teise poole.

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, uksed, aknad jne) ja infiltratsiooniõhu soojendamiseks (vt Tabel 8).

Tabel 8. ridaelamu soojuskadude jaotus

Soojuskadu läbi piirdetarindite	Energiakulu õhuvahetuseks ja õhuinfiltratsiooniks	Arvutatud kogukulu
MWh/a	MWh/a	MWh/a
88	9	97



Joonis 1. elamu soojuse kasutamise visuaalne jaotus

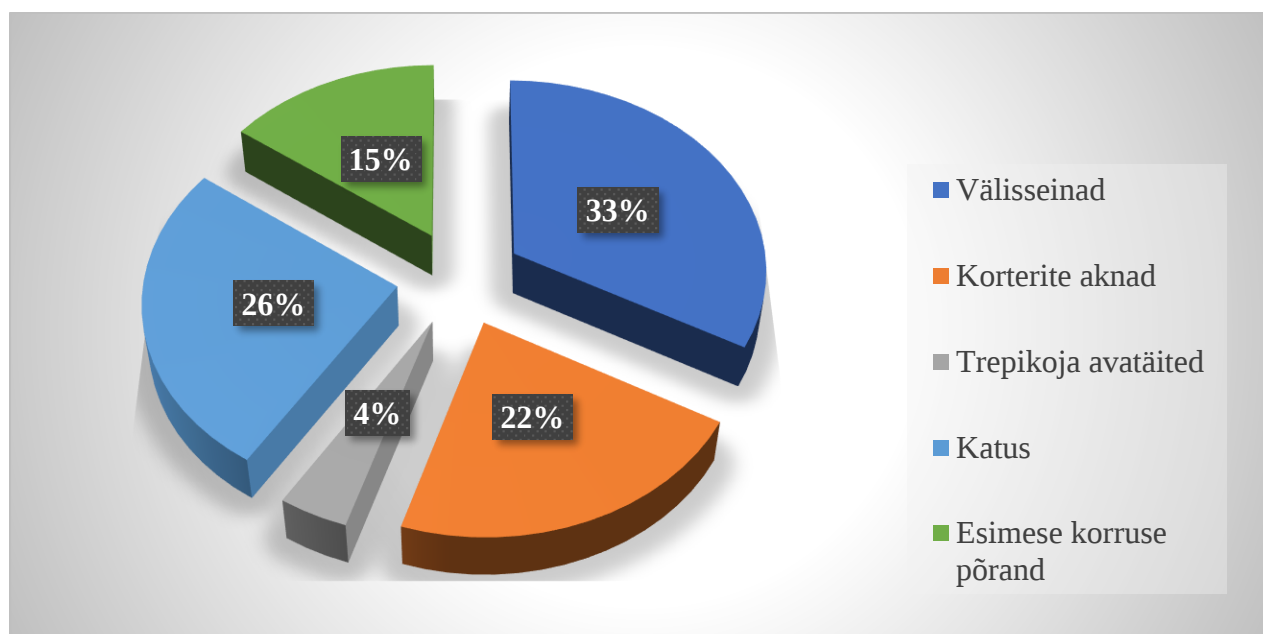
Soojuskadud läbi piirdetarindite (välisseinad, aknad, katus, esimese korruse põrand, külmasillad) moodustavad 91 % arvutatud soojuskadudest. Ülejäänud 9 % kadudest on infiltratsiooniõhu soojendamiseks kuuluv energia.

Piirdetarindite soojuskaod on leitud arvutuslikul meetodil projektdokumentatsiooni analüüsimisel (vt Tabel 9).

Tabel 9. 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	Silikaltsiit	Halb soojapidavus, külmasillad	333	0,8	29
Hoone aknad	PVC-raamiga pakettaknad	Korras	87	1,7	16
	Puitraamiga aknad	Halb sooja- ja helipidavus	10	2,7	3
Välisuksed	Puituksed Metall	Puitustel halb sooja- ja helipidavus	13	2,5	4
Katus	Puitsarikad, ehitusaegne soojustus, eterniit	Halb soojapidavus, külmasillad	301	0,7	23
Põrand	Õõnespaneelid, ehitusaegne soojustus	Konstruksioon on tehniliselt korras	301	0,4	13
Kokku					88

Kõige suurem soojakadu on läbi välisseinte ja katuse (vt. Graafik 4).



Graafik 4. Välispiirete soojakadude jaotus

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

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

Infiltratsiooni õhuvooluhulk määrati kordarvuna soojusbilansist lähtuvalt. Õhuvahetus on võrdne $0,2 \text{ 1/h}$.

Leitud infiltratsiooni õhuvooluhulk on võrdne $q_i = 65 \text{ l/s}$. Soojusenergiakulu infiltratsiooniõhu soojendamiseks on **9 MWh/a**.

6. Pargi ridaelamu renoveerimislahendused

6.1. Hoone soojuskaod peale renoveerimist renoveerimispakettides pakutud meetmete rakendamisel

Tabel 10. Täisrenoveerimise pakett (50% toetus)

Siseõhutemperatuur: t = 21 °C KP = 3670 °Cd			Tasakaalutemperatuur: t _b = 15,3 °C Tsentraalne küttesüsteem		
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	Silikaltsiit	Olemasoleva seina soojustamine 15 cm paksuse soojustus- materjaliga	0,21	6	
Välisuksed	Puituksed Metalluksed	Ei soovitata	2,5	3	
Korterite aknad	Puitaknad PVC-raamiga aknad	Puitakende soojapidavamatega asendamine	1,7 1,1	14	
Katus	Puitsarikad, ehitusaegne soojustus, eterniit	Katuse soojustamine puistevillaga Katusekatte vahetus	0,12	3	
Esimese korruse põrand	Õõnespaneel	Ei soovitata	0,3*	8	
Ventilatsioon	Soojustagastusega (vähemalt 70-80%) sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi väljaehitamine (vt ptk 6.2.5.2); süsteem peab teenindama kõiki korterite ruume; õhuvahetuskordarv peale ventilatsioonisüsteemi ehitamist võrdne 0,5 1/h			3	
Kokku				38	59

* - tagatakse sokli soojustamisega

6.2. Renoveerimislahenduste kirjeldamine

6.2.1. Välisseinad ja soklikorrus

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.

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.

6.2.2. Katus

Katuse renoveerimise juures tuleb vaadelda mitut aspekti:

- katusekatte vettpidavust;
- 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.

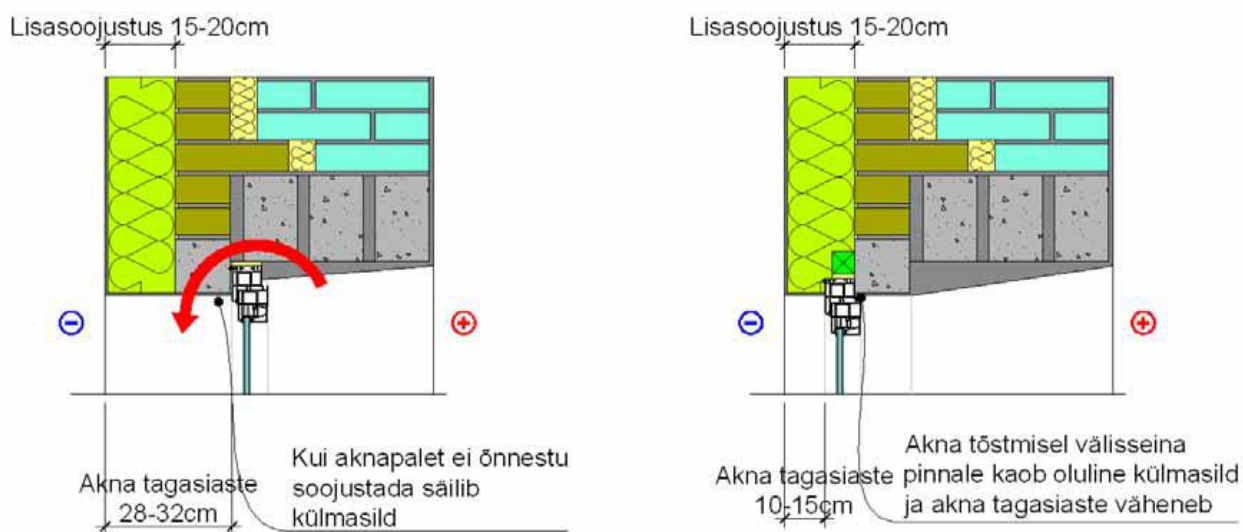
Kuna pööningu vahelae soojustamine ei nõua täiendavaid tarindimuutusi, võib soojustuse paksus olla 40...50 cm. Vana soojustuse võib eemaldada, siis saab tulemuslikumat soojustust paigaldada rohkem. Korstna ja katuseluugi juurde või teistesse liikumispiirkondadesse tuleb rajada käiguteed, et soojustust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

6.2.3. Avatäited: aknad ja välisukused

Pargi ridaelamu aknad on osaliselt vahetatud plastikraamiga pakettakende vastu. Hoone soojapidavuse parandamiseks on soovitatav ülejäänud puitraamiga aknad asendada soojapidavamatega.

Fassaadide lisasoojustamist on võimalik teha elamu üldist arhitektuurset ilmet kahjustamata. Hoone arhitektuurse ilme säilimisel tuleb tähelepanu pöörata ka detailidele, näiteks akna ja seina liitekohtadele. 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 välispinnale. 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 külmasild. Kuna akende vahetamine ja sisemiste palede viimistlemine on korteri kohta 1–2 päeva töö, ei võta kauem aega ka akende paigaldus välisseina välispinnale ja palede uuesti viimistlemine.



Joonis 2. Akna tõstmine soojustuskihti

6.2.4. Soojusvarustus

Peamised soojusallikad ridaelamus on:

- otsene elekterküte (elektriradiaatorid, õhksoojuspumbad);
- ahjud, kaminad.

Elekter on väga väärtuslik energiakandja, mida kütmiseks kasutada ei ole otstarbekas. Tema tootmiseks on kasutatud oluliselt rohkem primaarenergiat, kui kajastab hoonete energiatõhususe miinimumnõuete määruks kasutatav kaalumistegur 2,0.

Kõige mõistlikum oleks hoone kütet lahendada keskküttesüsteemi väljaehitamisega sobiva kütteallika baasil. Kütteallikaks sobiks näiteks pelletikatel või õhk-vesi soojuspump (samuti maasoojuspump).

6.2.5. Ventilatsioonisüsteem

Uuringu raames läbiviidud tehnosüsteemide ülevaatus kinnitab, et hoone loomulik ventilatsioonisüsteem on amortiseerunud ega taga nõutavat õhuvahetust.

Ainult loomuliku ventilatsioonisüsteemi kasutades ei ole võimalik tagada tänapäeva nõuetele vastavat õhuvahetust. Loomuliku ventilatsiooni väljatõmbeõhu vooluhulk muutub aasta lõikes suhteliselt suurel määral.

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

Korteri 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.

Köigi korterite elu- ja magamistubadesse tuleb 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 üläpiirkonda 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 laiused pilud. Vajadusel võib pilude asemel ustesse paigaldada ka siirdeõhu restid.

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



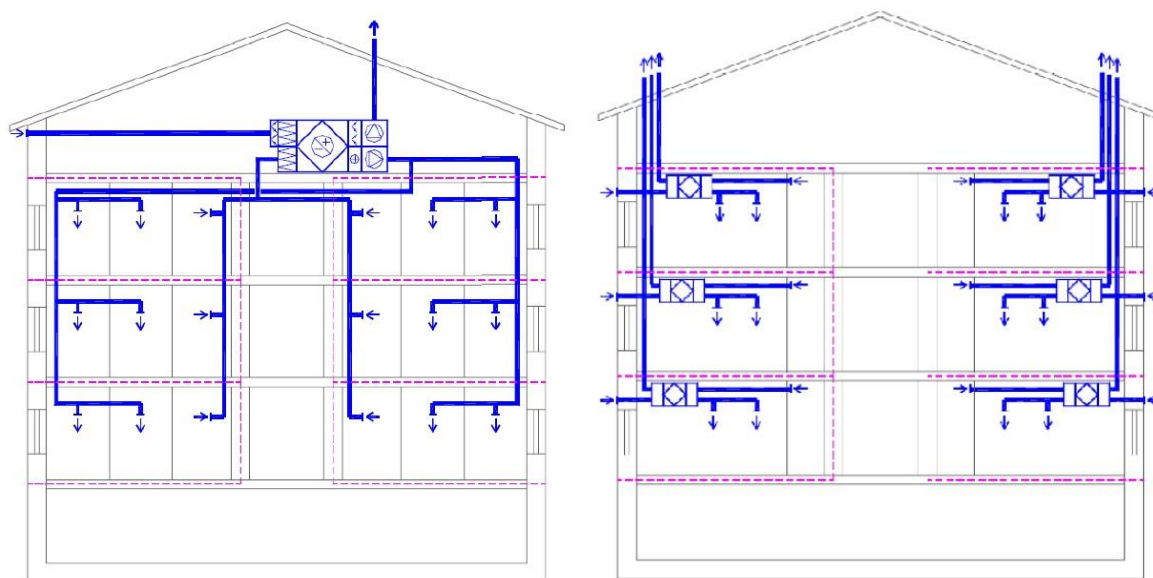
Joonis 3. Värskeõhuklapp ja sama klapi õhujuga laboritingimustes sise- ja välistemperatuuride erinevusel 30 °C ning õhuvooluhulgal 8 l/s

6.2.5.2. Soojustagastusega mehaaniline sissepuhke-/ väljatõmbeventilatsioon

Korteri õhuvahetust tagab korterisse (korteripõhine) või katusele (tsentraalne) paigaldatud ventilatsiooniagregaat (Joonis 4).

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 seina- või laeplafoone. Laeplafoonid tagavad parema õhujao, 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 elektrikaloreifer hoiab etteantud sissepuhketemperatuuri, seega on hea sisekliima tagatud ka külmal aastaajal.



Joonis 4. Soojustagastusega tsentraalne (vasakul) ja korteripõhine (paremal) mehaaniline sissepuhke ja väljatõmbeventilatsioonisüsteem

6.2.5.3. Fassaadialune soojustagastusega ventilatsioonisüsteem

Kortermaja kompleksse renoveerimise käigus rajatakse tsentraalne energiatagastusega sundventilatsioonisüsteem. Sissepuhke ja väljatõmbe kanalid kinnitatakse otse olemasolevale fassaadile (Foto 4). 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 tüpoloogiast 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 bokside kaupa. Ventilatsiooniseadmeid on võimalik vastavalt hoone võimalustele paigaldada nii pööningule kui ka keldrisse. 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 4. 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 energiasääst. 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 $q_{\text{vs}} = 50 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)}$.

Vabasoojus korterelamus	Päike	Inimesed, valgustus ja seadmed	Kokku
Kuu	kWh/m ²	kWh/m ²	KWh/m ²
Jaauar	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.

Tabel 11. Tasakaalutemperatuur enne ja peale renoveerimist

	Ühik	Praegune olukord	Täis-renoveerimine
Arvestuslik vabasoojus 1m^2 kohta, q_{vs}	kWh/m ² a	50	45
Vabasoojuse utilisatsioonitegur	-	0,55	0,7
Kogu hoone arvestuslik vabasoojus aastas, Q_{vs}	kWh/a	12 782	14 641
Keskmine vabasoojuskooormus, Φ_{vs}	kW	2,15	2,46
Erisoojuskaod läbi välispiirete, H_{vs}	kW/ °C	0,81	0,39
Õhuvahetus	1/h	0,2	0,5
Erisoojuskaod õhuvahetusele, H_{vent}	kW/ °C	0,08	0,04*
Erisoojuskaod kokku, $H=H_{vp}+H_{vent}$	kW/ °C	0,88	0,43
Temperatuuritõus vabasoojuse arvelt, $\Delta t = \Phi_{vs} / H$	°C	2,4	5,7
Kogu hoone keskmine siseõhu temperatuur kütteperioodil	°C	21	21
Tasakaalutemperatuur	°C	18,6	15,3

* - arvutatud soojustagastusega 80%

7.2. Illustreerivad pildid





7.3. Kasutatud kirjandus

1. Energiatõhususe miinimumnõuded.
2. Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika.
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 telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga”.