



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

Soojustehnika instituut  
Soojusenergeetika õppetool

MSE70LT

*Raimo Urgard*

**Eramaja liginullenergia hooneks viimine palkhoone näitel**

Autor taotleb  
tehnikateaduse magistri  
akadeemilist kraadi

Tallinn  
2015

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....” .....201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....” .....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” .....201... a.

..... allkiri

## **MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE**

2015 aasta IV semester

Üliõpilane: Raimo Urgard, 132534  
Õppekava: MASM02/09  
Eriala: Soojusenergeetika  
Juhendaja: Professor, õppetooli juhataja, Aadu Paist

### **MAGISTRITÖÖ TEEMA:**

(eesti keeles) Eramaja liginullenergia hooneks viimine palkhoone näitel  
(inglise keeles) Transferring private log house into nearly zero-energy building

### **Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

<b>Nr</b>	<b>Ülesande kirjeldus</b>	<b>Täitmise tähtaeg</b>
<b>1</b>	<b>Madalenergia ja liginullenergia hoone nõuete uurimine.</b>	<b>12. aprill</b>
<b>2.</b>	<b>Soojuskadude arvutused</b>	<b>22. aprill</b>
<b>3.</b>	<b>Objektiks oleva hoone kaardistamine</b>	<b>25. aprill</b>
<b>4.</b>	<b>Objektiks oleva hoone energiatõhususe määramine</b>	<b>15. mai</b>
<b>5.</b>	<b>Objektiks oleva hoone võimalused energiatõhususe parandamiseks</b>	<b>25. mai</b>
<b>6.</b>	<b>Tasuvusarvutus</b>	<b>01.mai</b>

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:** Soojuskadude arvutamine, soojuskadude vähendamise ettepanekud, Energiatõhususarvu leidmine, ventilatsiooni arvutus, tasuvusarvutus.

**Töö keel:** Eesti

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 12. 05.2015

**Töö esitamise tähtaeg** 04.05.2015

**Üliõpilane** Raimo Urgard

/allkiri/ .....

kuupäev.....

**Juhendaja** Aadu Paist

/allkiri/ .....

kuupäev.....

## SISUKORD

1.	SISSEJUHATUS.....	6
2.	MADALENERGIA- JA LIGINULLENERGIA HOONE.....	8
2.1.	Taust .....	8
2.2.	Energiatõhusa hoone kontseptsioon .....	10
2.3.	Energiatõhususe ja sisekliima eesmärgid. ....	11
3.	PALKMAJAD.....	12
3.1.	Palkmajade soojapidavus tänapäeval.....	12
3.2.	Palkmajade vooderdamine.....	12
4.	NÄIDISHOONE KAARDISTAMINE .....	13
4.1.	Üldine kirjeldus .....	13
4.2.	Küttesüsteem .....	14
5.	PALKMAJA SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE .....	17
5.1.	Piirdetarindite soojusjuhtivustegur .....	17
5.2.	Soojuskadude arvutamise meetodika .....	19
5.3.	Soojuskadude arvutamine.....	22
5.3.1.	Keldri põrandapinna soojuskadude arvutamine .....	22
5.3.2.	Keldri soojuskadude arvutamine läbi piirdetarindite. ....	23
5.3.3.	Esimese korruse soojuskadude arvutamine läbi piirdetarindite. ....	23
5.3.4.	Teise korruse soojuskadude arvutamine läbi piirdetarindite.....	24
5.3.5.	Soojuskadu läbi katuse .....	25
5.3.6.	Hoone summaarne soojuskadu läbi piirete.....	25
5.4.	Soojuskoormuse määramise meetodika. ....	26
5.4.1.	Soojuskoormus ventilatsioonile .....	26
5.4.2.	Tarbevee soojuskoormus .....	27
5.5.	Soojuskoormuse arvutamine.....	28
5.6.	Kogu hoone soojuskaod.....	28
6.	SOOJUSTARVE JA ENERGIATÕHUSUS .....	29
6.1.	Soojustarve arvutamine .....	29
6.2.	Energiatõhususe arvutamine.....	30
7.	Energiatõhususe parandamine.....	32
7.1.	Soovitused palkmajade soojustamiseks.....	32
7.2.	Palkhoone soojustamine .....	32
7.3.	Katuse soojustamine .....	34
7.4.	Pinnasel asuva põranda soojustamine.....	34
8.	UUTE SOOJUSTATUD PIIRDETARINDITE SOOJUSKADUDE ARVUTUSED. ....	36
8.1.	Piirdetarindite soojuslähikande tegurid .....	36

8.2.	Soojuskadu läbi soojustatud põranda .....	37
8.3.	Uute soojustatud piirdetarindite soojuskadude arvutamine.....	37
8.3.1.	Soojuskadu läbi esimese korruse välispiirete .....	37
8.3.2.	Teise korruse soojuskadude arvutamine läbi piirdetarindite.....	38
8.3.3.	Soojuskadu läbi katuse .....	38
8.3.4.	Hoone summaarne soojuskadu läbi piirete pärast soojustuskihtide lisamist.....	38
9.	VENTILATSIOON .....	40
9.1.	Liigitus.....	40
9.1.1.	Ilma soojustagastuseta süsteem.....	40
9.1.2.	Soojustagastusega süsteem.....	40
9.2.	Soojustagastusega ventilatsiooni soojuskoormuse arvutamine .....	41
9.3.	Ventilatsioonisüsteemi elektritarbe arvutamine .....	43
10.	ENERGIATÕHUSUSARV PÄRAST SOOJUSKADUDE OPTIMEERIMIST.....	45
11.	PÄIKESEENERGIA KASUTAMINE .....	46
11.1.	Päikese kollektorid.....	46
11.2.	Päikesepaneelid.....	47
11.3.	Päikesekollektorite valik .....	48
11.4.	PV-paneelide valik.....	50
11.5.	Lõplik energiatõhususarv pärast soojuskadude optimeerimist ja PV-paneelide paigaldamist. ....	51
12.	TASUVUSARVUTUSED .....	52
	KOKKUVÕTE.....	54
	SUMMARY .....	56
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	57

# 1. SISSEJUHATUS

Magistritöö eesmärgiks on palkelamu liginullenergia hooneks viimise analüüsimine. Vaatlusalune eramaja asub Harjumaal, Keila vallas. Teema valikul mängis rolli reaalne vajadus vähendada antud hoone soojuskadusid ning tagada parem sisekliima, eriti talvistel perioodidel. Lähteandmed pärinevad valdavalt hoone tehnilisest projektist ning vajalik lisainfo on päritud hoone omanikult. Teooria osa on koostatud erinevates raamatutest ja interneti allikatest.

Tänapäeval on energia ja keskkonna sääst väga aktuaalne, ning palkmajast liginullenergia hoone planeerimine küllaltki uudne. Töö põhiosas on toodud välja ka hoone kirjeldus ja hetkeline olukord. Lühike ülevaade on antud ka palkmajadest ning nende soojustamise võimalustest. Kirjutatud on ka sisekliima nõuetest ning selle parandamise võimalusest.

Eraldi peatükk kirjeldab ka madal – ja liginullenergia hoone nõuetest ja kontspetsioonist. Välja on toodud näitajad, millele hoone kindlasti vastama peab ning mis on kahe eelnevalt nimetatud ehitise erinevused.

Soojuskadude arvutused hõivavad suure osa kogu tööst. Alustuseks on leitud arvutuslikud soojuslähikande tegurid ning soojuskaod vanadele, hetkel olemasolevatele piiretele ning kogu hoone aastane soojustarve. Soojuskoormuse vähendamiseks on töös vaadeldud ka soojustagastusega ventilatsiooni kasutuselevõtmist ning sellest tulenevat energiasäästu.

Soojuskadude arvutused ja ka ettepanekud nende vähendamiseks on tehtud ka katuse ja soojustamata keldri jaoks. Need tõstavad küll märkimisväärselt nii kulutust ehitusmaterjalidele kui ka ehitustööde maksumusele, aga saavutatav energiasääst on suur.

Hoone lõpuosas on kirjeldatud päikeseenergia kasutamise võimalusi. Välja on toodud nii süsteemid veesoojendamiseks kui ka elektritootmiseks. Väljavalitud seadmed on varustatud ka maksumustega ning PV-paneelide puhul on arvatud ka aastane elektritoodang, arvestades elektri kaalumisteguriga.

Hoone konstruktsioonide soojustamisega ei ole võimalik saavutada liginullenergia hoonele seatud nõudeid. Vajaliku energiatõhususarvu saavutamiseks on vajalik lisada hoonele ka

päikesekollektorid ja PV-paneelid. Kahjuks tänu nendele seadmetel läheb hoone rekonstrueerimise tasuvuse aeg liiga kõrgeks. Ilma päikesepaneeli kasutusele võtmata jääb hoone energiatõhususarv madalenergia hoone piiresse.

Käesoleva töö viimastes osades on arvatud uus energiatõhususarv, mis arvestab soojuskadude vähenemisega piirete arvelt ning päikeseenergia kasutamisega. Kõige lõpuks on sooritatud tasuvusarvutus.

## 2. MADALENERGIA- JA LIGINULLENERGIA HOONE

### 2.1. Taust

Aastaks 2021, tulenevalt Euroopa Liidu Energiatõhususe direktiivist, peavad kõik uued hooned vastama liginullenergia hoone nõuetele. Avaliku sektori uued hooned peavad nendele nõuetele vastama juba aastaks 2019. Nii ülemaailmselt kui ka Eestis tähistatakse energiatõhusaid hooneid mitmeti, nagu näiteks passiivmaja, madalenergiamaaja, A- klassi hoone, A+++ klassi maja, liginullenergia hoone, nullenergiahoone jne. Suur hulk erinevaid nimetusi tekitab eri osapoolte vahel arusaamatusi ning mõni osapool ei pruugi valminud hoonega rahul olla ja seda isegi vaatamata asjaolule, et kõik osapooled on teinud parima. Probleemi alge peitub üksteisest mööda rääkimisest – osapooltel on energiatõhusast majast erinev arusaam. Seetõttu määratleti Targo Kalamehe ja Teet Tarki uuringus „Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine: Juhend väikeelamute projekteerijale, ehitajale ja tellijale“ valdkonda puudutavad mõisted.[4][5]

Antud uuring defineerib Eesti tingimuste jaoks järgmised hoonete energiatõhususe mõisted:

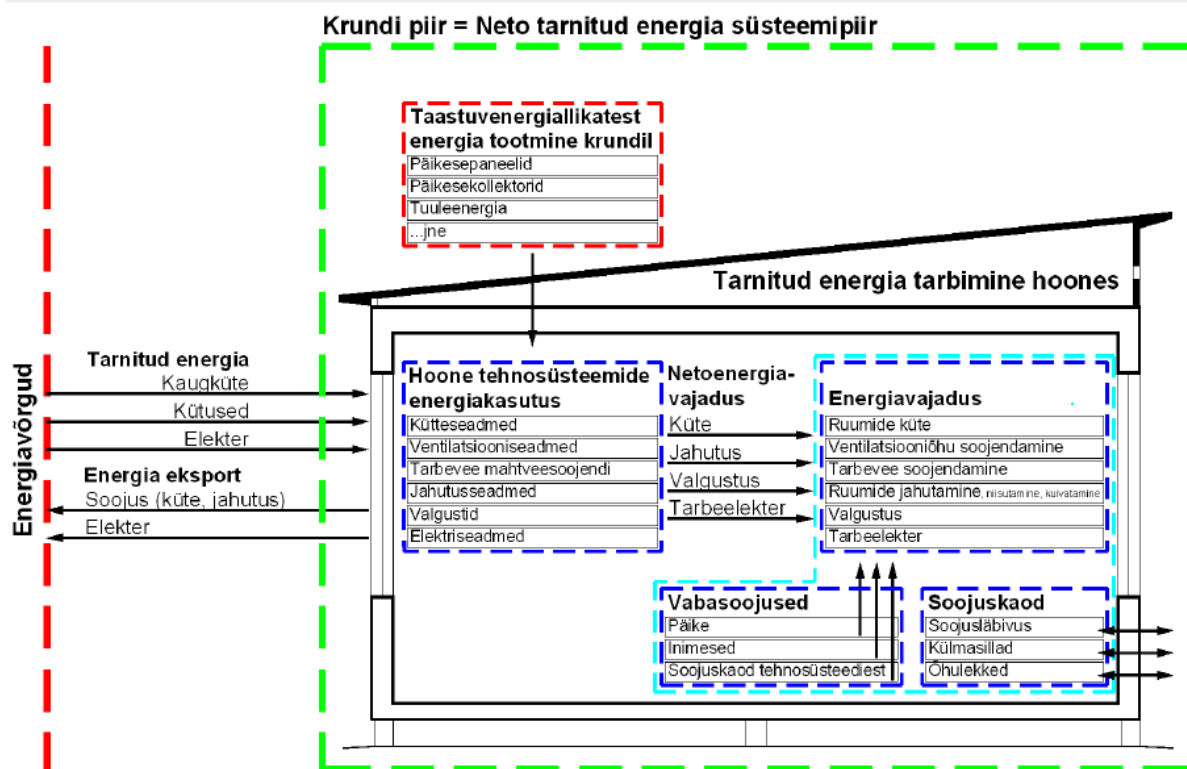
- Madalenergiahoone;
- Liginullenergiahoone;
- Energiatõhususe miinimumnõuetele vastav uus hoone;
- Energiatõhususe miinimumnõuetele vastav oluliselt rekonstrueeritav hoone[4]

Eestis on nii uute kui ka oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususe määramise aluseks energiatõhususarv. See leitakse Vabariigi Valitsuse määruse nr. 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ alusel. Energiatõhususarv  $ETA W/(m^2K)$  on aastane arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, mis võtab arvesse primaarenergia kasutuse ja selle keskkonnamõju ning krundil taastuvatest energiallikatest toodetud energia. Skeemina on see seletatud joonisel sele 1.1.[4]

Liginullenergia hoone (nearly zero energy building) all peetakse silmas ehitist, mis on parima võimaliku ehituspraktika, energiatõhusus- ja taastuvenegiatehnoloogiate lahendustega ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui  $0 kWh/(m^2 a)$ , kuid väikeelamute puhul ei tohi see ületada  $50 kWh/(m^2 a)$ . Liginullenergia hoone puhul peab olulisel määral kasutatud energia pärinema kohapeal või lähiümbruses toodetud taastuvatest energiallikatest. Kui hoone tarbib krundivälist energiat või on ühendatud näiteks gaasi- või elektrivõrguga, on tegemist ikkagi liginullenergia hoonega. [4]



Sele 1.1 Energiatõhususe mõisted ja komponendid. [4]



Madalenergiahoone (low energy building) on hoone, mille energiatõhususarv väikeelamu puhul on  $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Antud tüüpi ehitise energiatõhusus sõltub hoone arhitektuursest lahendusest, piirdetarindite ehitusfüüsikalistest omadustest, tehnosüsteemidest ja energiaallikatest. Madalenergiahoone on üldiselt teostatav liginullenergia hoone lahendustega, kuid puudub lokaalse elektri tootmise vajadus. [4]

Madalenergiahoone kavandamisel tuleb silmas pidada, et tagatud oleksid järgmised tingimused: hoone soojuskaod peavad olema väikesed, tehnosüsteemid energiatõhusad ja vabasoojust tuleb kasutada otstarbekalt. Need komponendid mõjutavad hoonesse tarnitava energia kogust. Energiatõhususarvu mõjutavad ka hoonesse tarnitavate energiakandjate kaalumistegurid, mis arvestavad keskkonnamõjusid ja tarnitava energiakandja tootmiseks vajalikku primaarenergiat. [4]

Liginullenergia hoone primaarenergia bilanss väljendub energiatõhususarvus ning seda käsitletakse aasta arvestuses. Näiteks talviti võib hoone primaarenergiatarve (kaalumisteguritega läbikorrutatud tarnitud energia) olla taastuvatest energiaallikatest toodetud primaarenergiast suurem. Suvel võib olla vastupidi – energiavõrku tarnitakse

primaarenergiat rohkem, kui seda tarbitakse. Sellest tulenevalt on liginullenergia hoone primaarenergia bilanss aasta arvestuses positiivne, st aastane summaarne kaalumisteguritega läbikorrutatud tarnitud energia on toodetust suurem. Energiatõhususarv jääb vahemikku 0–50 kWh/(m<sup>2</sup> a). [4]

## 2.2. Energiatõhusa hoone kontseptsioon

Juba alates 1970-ndatest aastatest on püütud hoonete energiavajadust ja sellega kaasnevaid keskkonnamõjusid vähendada. Nõnda nimetatud *low-energy house* arendused ei saavutanud soovitud eesmärki. Järjest parandati üksikuid komponente ning võeti kasutusele aina rohkem taastuvaid energiaallikaid, aga see tõstis omakorda ehitusmaksumust. Energiavajaduse vähenemine ei olnud piisav, et ehituskulusid tasa teha. Ei pööratud ka tähelepanu õhuvahetuse lahendusele ning tekkisid hallituse ja siseõhu kvaliteedi probleemid.[6]

Nende probleemide lahendamiseks püüti arendada kontseptsiooni, mis lähtuks maja kui terviku toimimisest ja leiaks võimaluse hea või senisest isegi parema siseõhu kvaliteedi tagamiseks koos võimalikult väikese ehitusmaksumuse ja energiavajadusega. Sellest tulenevalt on energiatõhusate majade ideeks küttesüsteemi radikaalne lihtsustamine, mis tõstab oluliselt hoone energiatõhusust – see loob teatud taseme saavutamisel võimaluse investeeringuid vähendada. [6]

Selle eesmärgi saavutamist mõjutavad kaks aspekti: nõuded soojuslikule mugavusele seotuna kiirgusliku asümmeetriaga ning vajalik küttekoormus. Kui ruumiõhk on piisavalt lähedane välisseinte ja akende sisepinna temperatuuridega, võimaldab see teha palju lihtsama soojuse laialijagamise süsteemi. Sellises olukorras ei ole meil vaja paigaldada radiaatoreid välisseinte või akende juurde.[6]

Ruumide piisavalt väikese soojusvajaduse puhul tekib võimalus, et soojuse majas laiali jagamiseks kasutatakse üksnes ventilatsioonisüsteemi, mis toob ruumidesse vajaliku õhuhulga hea õhukvaliteedi tagamiseks. Seega saab luua väga kompaktselt ja potentsiaalselt rahaliselt kokkuhoidliku küttesüsteemi, mis ei baseeru radiaatoritel.[6]

### **2.3. Energiatõhususe ja sisekliima eesmärgid.**

Soojusliku sisekliima parameetrid mõjutavad inimese soojusliku heaolu tunnetamist. Õhu kvaliteedi mõistes on oluline, et õhk oleks puhas saasteainetest, millel võiks sissehingamisel olla inimestele kahjulik mõju. Teatud saasteaineid ei tohi esineda spetsiaalsete operatsioonide ja protsesside puhul ning nende jaoks on õhu puhtus väga tähtis. [14]

Koheselt peale ruumi hõivamist, saab hea õhu kvaliteet primaarseks. Õhupuhtuse saavutamiseks on tavaliselt tarvis suurt õhuvoolu ja seda tuleb efektiivselt puhastada. Sellises olukorras võib õhu kvaliteet tihti olla nõutust parem. Ehitiste energiatõhususe eesmärk on tagada hoonete keskkonnasäästlikus ja hea sisekliima ning seda majanduslikult võimalikult tõhusal viisil. Liginullenergia hoonete ja passiivmajade puhul peab olema tagatud hea ja tervislik sisekliima ning selle arvelt ei tohi energiat säästa.[4][14]

Ruumis, kus viibivad inimesed, on peamine, et õhukvaliteet ja sisekliima vastaksid alati tervise ja heaolu nõuetele. Nõuded sisekliimale võivad olla erinevad vastavalt ruumi otstarbele. Teatud eriotstarbega hoonetes tuleb tihti õhu niiskust hoida kindlate suuruste juures. Näiteks raamatukogud, muuseumid, haiglad jne. [14]

Niiskusprobleemide vältimiseks ja ruumiõhu puhtuse garanteerimiseks on hoonesse vaja korralikku õhuvahetust. Ventilatsioonisüsteem peaks olema selline, mis ei oleks sõltuv välisõhu tingimustest ning samaaegselt ei raiskaks ka liigselt soojust. Selle jaoks on hädavajalik heitsoojusetagastusega mehaaniline ventilatsioon.[4]

### **3. PALKMAJAD**

#### **3.1. Palkmajade soojapidavus tänapäeval**

Sageli on levinud arusaam, et palkmajad pole piisavalt soojapidavad ja nende kütmine on väga kulukas. Mõõtmistulemused aga näitavad, et 200 mm paksuse seinaga palkmaja soojapidavus on igati normidekohane. Soojusjuhtivustegur on  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Liitekohtadesse paigaldatakse ehitamise käigus mineraalvillast ribad ning palkide vahele pannakse spetsiaalsed tihendid. Need meetmed muudavad hoone ilmastikukindlaks. [2]

Varemlevinud arvamus palkmajade halvast soojapidavusest ei pea enam paika. Soojakaost ligi 25 % moodustab läbi seinte kaduv soojus. Kõige suurem soojuse kadu toimub läbi katuse. Seinade soojapidavuse määravad seinaprofiili tuulelukud. Sooja- ja tuulepidavuse tagamiseks on vajalik palkide liitekohtade tihendamine vastavalt projektdokumentatsioonile või kasutatava materjali eripäradele. Kui paigaldamise käigus on palkide vahelt nähtavaks jäänud tihendusmaterjal, tuleb see õigeaegselt ära lõigata, et selle kaudu ei satuks vett palkide vahele. Palkide vahel kasutatakse polüpropeenkiust, linavildist või klaasvillast tihendusriba. Vahelagede ja katuste vahel kasutatakse klaasvilla või kivivilla. Valatud põrandaid soojustatakse benoplastiga, teistel juhtudel ka klaasvilla või kivivillaga. [1][3]

#### **3.2. Palkmajade vooderdamine**

Palkmaja parema soojapidavuse tagamiseks võib selle katta väljast või seest vooderdusega. Puidul on betoonist umbes 12 korda väiksem soojusjuhtivus. Puidu puhul ei teki ka iialgi külmasildasid. Puit sisekliima regulaatorina salvestab endasse liigse õhuniiskuse ja vabastab vajadusel selle taas kuiva õhku. Sellepärast ongi palkhoones hea sisekliima ning sellega tuleb arvestada palkseinte vooderdamisel. Selle jaoks, et palkmaja omadused säiliks, tuleks kasutada soojustamisel orgaanilisi materjale või kivivilla, millel on sarnased omadused. [17]

Olenemata sellest, kas soojustuskiht paigaldatakse välja või sissepoole, jäävad põhitõed soojustamisel samaks. Sein peab olema soojapidav, õhutihe, helikindel ning säilima peab ka niiskusesidumise võime ja vajadusel selle vabastamine. Vältima peaks kileefektiga materjalide kasutamist, sest see rikub palkhoone mikrokliimat. Üldjuhul soojustatakse palkseina väliskülge, aga sisekülje vooderdus annab ligilähedaselt sama efekti. [17]

## 4. NÄIDISHOONE KAARDISTAMINE

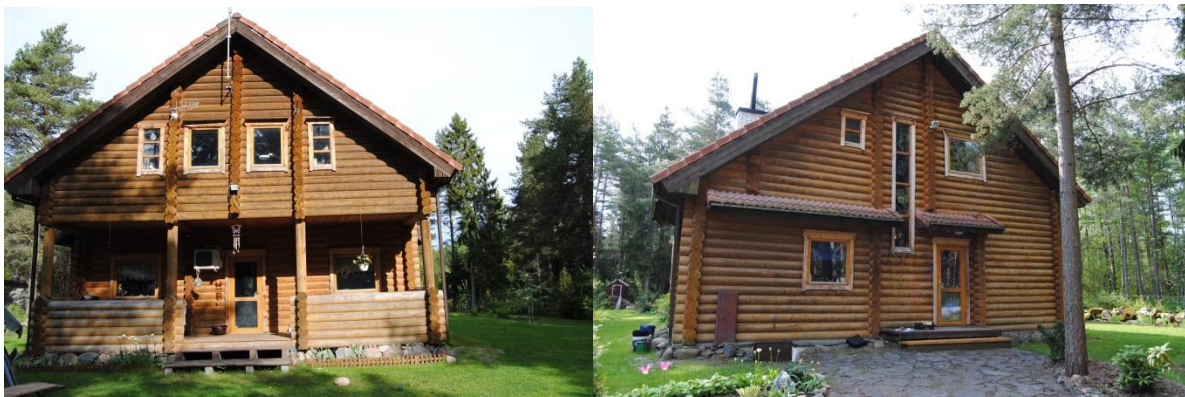
### 4.1. Üldine kirjeldus

Vaadeldavaks objektiks on Harjumaal, Keila vallas asuv palkelamu. Sele 3.1 on näidatud hoone asukoht kaardil. Hoone on ehitatud 2005. aastal. Ehitusalune ja kasulik pind ning maht on vastavalt 111,3m<sup>2</sup>, 267 m<sup>2</sup> ja 560,2 m<sup>3</sup>. Hoone kõrgus maapinnast kuni katuseharjani on 7,5 m ja hoonel on 1,5 korrust. Katusekalle on 37 kraadi. Maja tulepüsivusklass on TP3. Veevarustus on tagatud kinnistul olevast puurkaevust.

Sele 3.1. Hoone asukoht kaardil [18][19]



Sele 3.2. Maja vaated



Sele 3.2. Maja vaated

Maja projekt ei vasta sajaprotsendiliselt tegelikkusele. Selles on kirjas, et hoone on mikroviaiadest vundamendil. Tegelikkuses on hoonel lintvundament. Projektis ei ole mainitud ridagi hoone keldrist. Ometigi on majal täies ulatuses 111 ruutmeetrine köetud kelder. Kuna

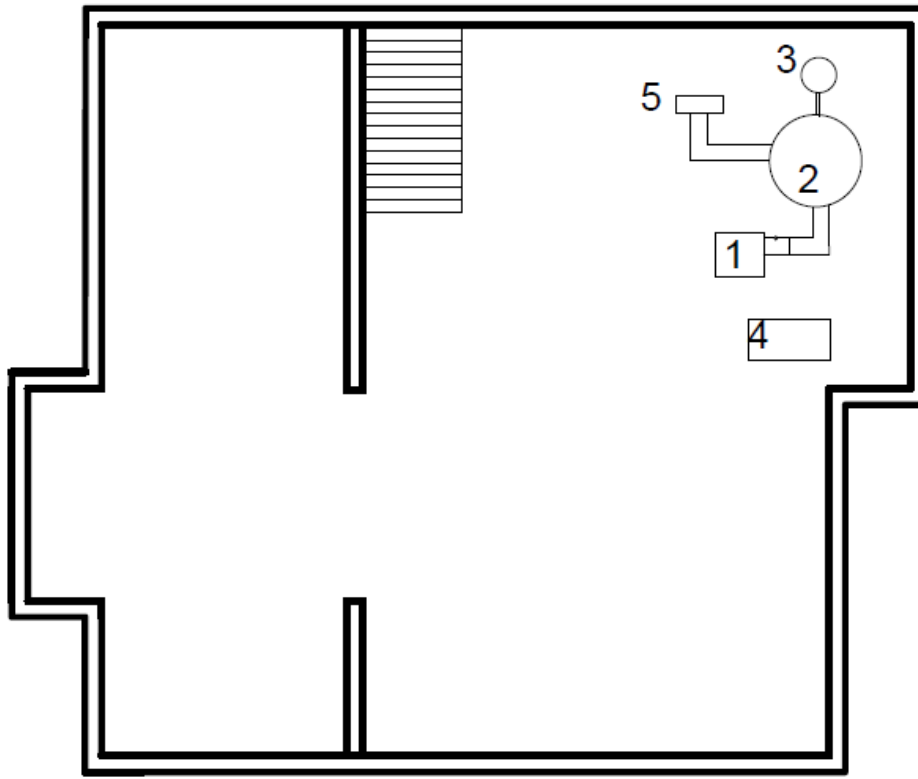
sellega arvestatud ei ole, siis on ka kõik pinnad ja mahud valesti märgitud. Projektikohaselt peaks olema hoones elektriküte, aga ka see ei vasta tõele.

## **4.2. Küttesüsteem**

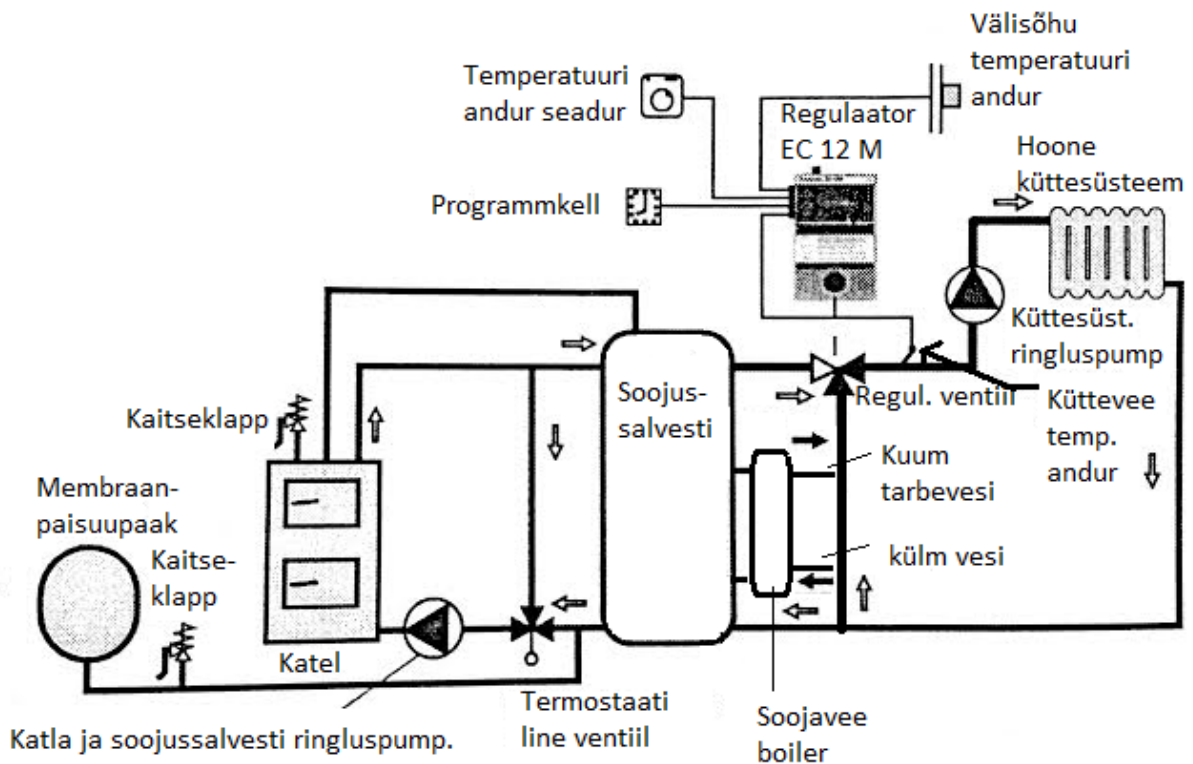
Hoone soojusvarustussüsteem on kombineeritud kolmest allikast ja seadmest. Hoone keldrikorrusel asub automatiseeritud soojussalvestiga keskküttesüsteemi soojussõlm. Sele 3.3 on näidatud keldri plaan koos katla, akumulatsiooni paagi, soojaveeboileri, ruumis olevate kütteseadmete ning korstnaga. Soojusallikaks on 11,1 kW Viadrus U 22 D halpuukatel, mis on ühendatud 1,7 m<sup>3</sup> akumulatsioonipaagiga. Viimane on omakorda ühendatud soojaveeboileriga. Küttesüsteemi automaatset tööd juhib Ecomatic EC 12M regulaator koos temperatuuri anduritega. Soojusvarustussüsteem koos põhiseadmetega on toodud skeemil sele 3.4. Kütusena kasutatakse Viadrus katlas põhiliselt lepa ja kuuse halupuid. Vähesel määral ka turba ja saepurubriketti. Antud kütteseade on toodud skeemil sele 3.5.

Lisaks on hoones veel soojamüüriaga ühendatud malmkoldega kamin ja Fujitsu õhksoojuspump. Viimase jahutusvõimsus on 2,6kW ja soojuslik võimsus 3,6 kW. Soojuspumpa kasutatakse üldjuhul öösel temperatuuri hoidmiseks.

Sele 3.3 Keldri plaan: 1- halupuukatel Viadrus U AA D; 2- akumulatsioonipaak (1700 l); 3- soojaveeboiler; 4- korsten, 5- kütteseadmed ruumides



Sele 3.4 Soojusvarustussüsteem koos põhiseadmetega.



Sele 3.5 Viadrus U 22 D halupuidu katel.





## 5. PALKMAJA SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE

### 5.1. Piirdetarindite soojusjuhtivustegur

Soojuslikult homogeenestest kihtidest tarindi kogusoojustakistus  $R_t, m^2 \cdot K/W$  arvutatakse valemiga (4.1)[8][9]

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad m^2 \cdot K/W \quad (4.1)$$

kus  $R_1, R_2$  – iga materjalikihi arvutuslik soojustakistus  $m^2 \cdot K/W$

Soojuslikult homogeenestest materjalikihtide termiline takistus  $R, m^2 \cdot K/W$  arvutatakse valemiga (4.2)[8][9]

$$R = \frac{\delta}{\lambda} (m^2 \cdot K)/W \quad (4.2)$$

Kus:

$\delta$ - kihi paksus  $m$ ;

$\lambda$ - materjali soojusjuhtivustegur  $W/(m \cdot K)$

Soojusjuhtivustegur arvutatakse valemiga (4.3)

$$U = \frac{1}{R_t} (m^2 \cdot K)/W \quad (4.3)$$

Piirdetarindi pindade soojustakistus on sõltuvuses õhu ja ümbritsevate pindade temperatuurist, õhu liikumise kiirusest, pinna omadustest ja geomeetriast. Piirdetarindite soojusjuhtivuse arvutamisel kasutatakse pindade soojustakistuse arvutussuurus, mis on näidatud tabelis (4.10)[8]

Tabel 4.1 [8]

	Üles (lagi)	Horisontaalne suund	Alla (põrand)
$R_{si}, m^2 \cdot K/W$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}, m^2 \cdot K/W$	0,04	0,04	0,04

Ehitise sisetarindite, nagu vaheseinte, vahelagede või sisekeskkonna ja kütmata ruumi vahelise tarindi kogusoojustakistuse arvutamisel võetakse piirde mõlema pinna soojustakistuseks  $R_{si}$ . [8]

Näidiseks oleva palkhoone seinamaterjaliks on ümarpalk keskmise läbimõõduga  $D = 0,2$  m. Seega on materjalikihi paksuseks võetud  $\delta=0,2$  m ja soojusjuhtivustegur puhul on võetud erinevatest allikatest leitud väärtuste keskmine  $\lambda=0,135$  W/m · K. [7][10][8]

Esimese ja teise korruse seina soojuslähikande teguri arvutamine valemite 4.1, 4.2, 4.3 ja tabeli 4.1 põhjal:

$$R = \frac{0,2}{0,135} = 1,481 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

$$R_t = 0,13 + 1,481 + 0,04 = 1,651 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

$$U = \frac{1}{1,651} = 0,61 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$$

Keldri korruse seina soojuslähikande teguri arvutamine valemite 4.1, 4.2, 4.3 ja tabeli 4.1 põhjal:

$$R = \frac{0,2}{0,24} = 0,883 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

$$R_t = 0,13 + 0,883 + 0,04 = 1,003 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

$$U = \frac{1}{1,003} = 0,997 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$$

Keldri vahelae soojuslähikande teguri arvutamine valemite 4.1, 4.2, 4.3 ja tabeli 4.1 alusel:

$$R_t = 0,10 + \frac{0,012}{0,1350} + \frac{0,150}{0,0343} + \frac{0,0180}{0,1350} + 0,04 = 4,735 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

$$U = \frac{1}{4,735} = 0,211 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$$

Katuse soojuslähikande teguri arvutamine valemite 4.1, 4.2, 4.3 ja tabeli 4.1 alusel:

$$R_t = 0,10 + \frac{0,012}{0,1350} + \frac{0,150}{0,0343} + \frac{0,012}{1,300} + 0,04 = 4,620 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{4,620} = 0,2165 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

## 5.2. Soojuskadude arvutamise meetodika

Soojuskaod küttesüsteemi määramiseks ja küttekehade valikuks, arvutatakse ruumide kaupa. Sellele lisanduvad ventilatsioonisüsteemide sissepuhkeõhu ja infiltreeruva õhu soojendamise soojuskoormused. Ka sooja tarbevee samaaegset valmistamist tuleb arvestada. Ventilatsiooni soojuskoormust saab vähendada kasutades väiksemat õhuvahetust külmemate talvepäevade puhul või tõstes arvutuslikku välistemperatuuri ventilatsiooni projekteerimiseks.[8][9]

Arvutuslikku soojuskoormust hoonele saab arvutada valemiga (4.4)[9]

$$\Phi = \Phi_{pk} + \Phi_p + \Phi_v + \Phi_{inf} + \Phi_{stv} + \Phi_{km} - \Phi_{ls} \quad \text{W}$$

kus

$\Phi_{pk}$  = soojuskadu läbi hoone piirdekonstruktsioonide [W]

$\Phi_p$  = soojuskadu läbi pinnase [W]

$\Phi_v$  = soojuskoormus ventilatsioonile [W]

$\Phi_{inf}$  = soojuskoormus infiltratsioonile [W]

$\Phi_{stv}$  = Soojuskoormus soojale tarbeveele [W]

$\Phi_{km}$  = külmade materjalide ja seadmete jahutav toime [W]

$\Phi_{ls}$  = ruumi pidevalt eralduv liigsoojus [W]

Soojuskadu läbi piirde või selle osa on määratav valemiga (4.5)[9]

$$\Phi_{pk} = A \cdot U \cdot (t_s - t_{v.a.}) \cdot n_1 \cdot n_2 \quad \text{W} \tag{4.5}$$

Kus

A = piirde pindala [m]

$U$  – selle piirde soojuslähikande tegur [ $W/m^2 \cdot K$ ]

$t_s$  = arvutuslik sisetemperatuur [ $^{\circ}C$ ]

$t_{v.a.}$  = arvutuslik välistemperatuur [ $^{\circ}C$ ]

$n_1$  = koefitsent, mis arvestab piirde asetust välisõhu suhtes

$n_2$  = koefitsent, mis arvestab kõrgetes ruumides ülemises tsoonis kõrgema temperatuuriga.

Talvised arvutuslikud välisõhu temperatuurid on toodud tabelis (4.2):

Tabel 4.2 [8]

Asukoht	VAT, $^{\circ}C$	Asukoht	VAT, $^{\circ}C$
Tallinn	-21	Jõgeva	-25
Tartu	-25	Jõhvi	-24
Narva	-24	Türi	-24
Pärnu	-22	Kuressaare	-19
Rakvere	-24	Haapsalu	-20
Viljandi	-24	Rapla	-23
Võru	-25	Kärdla	-19
Valga	-24		

Siseõhu arvutuslik temperatuur on elamu ruumides  $21^{\circ}C$  ja vannitoas  $24^{\circ}C$ . Koefitsiente  $n_1$  ja  $n_2$  ei ole näiteks oleva objekti puhul vaja, kuna puuduvad kokkupuuted külmade keldrite ja muude kütmata ruumidega. Ning ka katus on soojustatud ja ühegi korruse kõrgus ei ole suurem kui 4 meetrit [12]

Kui põrandakihtide erisoojusjuhtivus  $\lambda$  on suurem kui 1 W/mK, loetakse pinnasel asuvat põrandat mittesoojustatuks. Antud tingimustes on põranda soojuskadu määratav valemiga (4.6)

$$\Phi_p = (\sum U_{ting} \cdot A) \cdot (t_s - t_{v.a.}) W \quad (4.6)$$

kus

$U_{ting}$  = tinglik soojuslähikande tegur [W/m<sup>2</sup> · K]

A = Vastava tsooni põranda pind [m<sup>2</sup>]

$T_s$  = arvutuslik sisetemperatuur [°C]

$T_{v.a.}$  = arvutuslik välistemperatuur [°C]

Põranda konfiguratsiooni paremini arvestatava ja täpsema tulemuse võime saada, arvutades pinnasel asuva põranda soojuskao tsoonide kaupa. Põrand jaotatakse piki välisseinu kahemeetri laiusteks ribadeks. Esimene tsoon asub välispiirdele kõige lähemal, järgnevad teine, kolmas ja neljas tsoon. Soojustamata põranda soojustakistuse R väärtused võetakse:[9]

- Esimesele tsoonile  $R_I = 2,1$  [m<sup>2</sup>K/W]
- Teisele tsoonile  $R_{II} = 4,3$  [m<sup>2</sup>K/W]
- Kolmandale tsoonile  $R_{III} = 8,6$  [m<sup>2</sup>K/W]
- Neljandale tsoonile  $R_{IV} = 14,2$  [m<sup>2</sup>K/W]

Intensiivsem soojuse äravool toimub hoone välisnurgas paiknevas 2x2 meetrises nurgas. Seal kandub soojus välja korraga nurka moodustava seiniosa suunas. Selle arvutamisel tuleb arvestada antud pinda kahekordselt. Põranda esimese tsooni soojuskadu saab määrata valemiga (4.7): [9]

$$\Phi_{pI} = A_I \cdot U_I(t_s - t_{v.a.}) W \quad (4.7)$$

Kus

$A_I$  = põranda esimese tsooni pindala [m<sup>2</sup>]

$U_I = 1/R_I$  = põranda esimese tsooni soojuslähikande tegur [W /m<sup>2</sup>K]

$T_s$  = arvutuslik sisetemperatuur [°C]

$T_{v.a.}$  = arvutuslik välistemperatuur [°C]

Ülejäänud põranda tsoonide soojuskadud määratakse analoogselt vastavate tsoonide parameetritega. Põranda soojuskadu kokku on arvutatav valemi (4.8) järgi:[9]

$$\Phi = \Phi_{pI} + \Phi_{pII} + \Phi_{pIII} + \Phi_{pIV} \quad W \quad (4.8)$$

Roojuskadu ruumis saadakse läbi piirete toimivate soojuskadude summana(põrand, seinad, lagi, aknad, uksed jms.)valemiga (4.9):

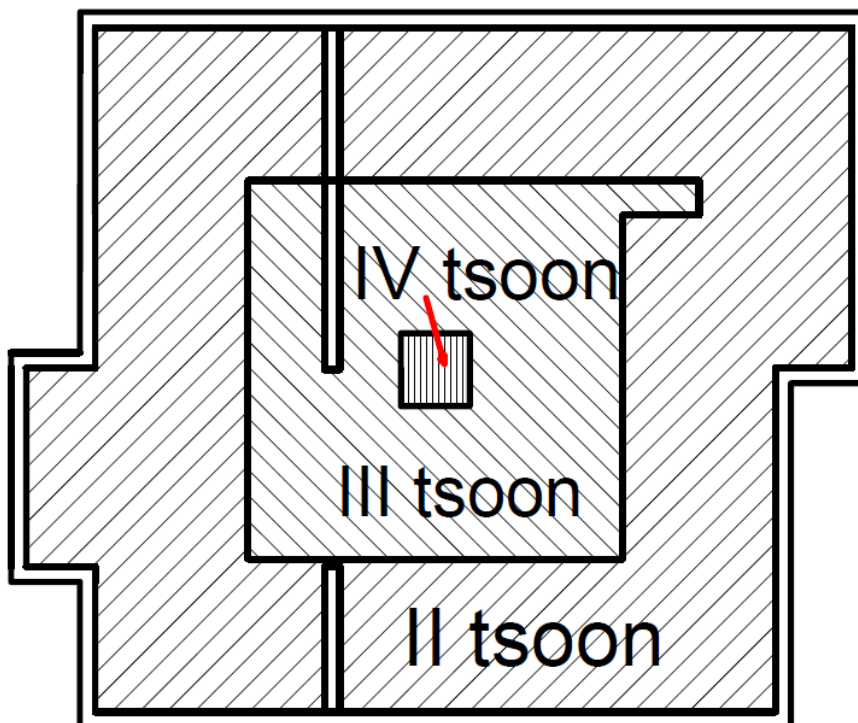
$$\Phi_{\text{ruum}} = \sum \Phi_{\text{piirded}} \quad W \quad (4.9)$$

### 5.3. Soojuskadude arvutamine

#### 5.3.1. Keldri põrandapinna soojuskadude arvutamine

Keldri põranda I tsooniks on seina maa-alune soojustatud osa, mille  $R_I = 2,223 \text{ m}^2 \cdot K/W$  ning  $U = 0,450 \text{ W/m}^2K$  ja  $A_I = 84,24$ . Tsoonid on toodud joonisel sele (4.1).

Sele 4.1 Keldri tsoonide plaan



Põranda I tsooni soojuskao arvutamine valemi (4.7) järgi:

$$\Phi_{pI} = 84,24 \cdot 0,450(21 - (-21)) = 1591,696 \text{ W}$$

Põranda II tsooni soojuslähikande teguri ja soojuskao arvutamine valemite (4,3 ja 4,7) järgi

$$U_{II} = \frac{1}{4,3} = 0,61 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

$$\Phi_{pII} = 61,76 \cdot 0,233(21 - (-21)) = 603,237 \text{ W}$$

Põranda III tsooni soojuslähikande teguri ja soojuskao arvutamine valemite (4,3 ja 4,7) järgi

$$U_{III} = \frac{1}{8,6} = 0,116 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

$$\Phi_{pIII} = 23,93 \cdot 0,116(21 - (-21)) = 116,867 \text{ W}$$

Põranda IV tsooni soojuslähikande teguri ja soojuskao arvutamine valemite (4,3 ja 4,7) järgi

$$U_{IV} = \frac{1}{14,2} = 0,074 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

$$\Phi_{pIV} = 23,93 \cdot 0,074(21 - (-21)) = 2,387 \text{ W}$$

Põranda soojuskadu kokku arvutatakse valemiga (4.8)

$$\Phi_p = 1591,696 + 603,237 + 116,867 + 2,387 = 2314,188 \text{ W}$$

### 5.3.2. Keldri soojuskadude arvutamine läbi piirdetarindite.

Keldri maapealse seiniosa soojuskao arvutamine valemiga (4,5).

$$\Phi_{kelder} = 7,800 \cdot 0,44989 \cdot (21 - (-21)) = 147,379 \text{ W}$$

### 5.3.3. Esimese korruse soojuskadude arvutamine läbi piirdetarindite.

Esimese korruse eluruumide soojuskadude arvutamine läbi välisseinte valemiga. Akende ja uste soojuslähikande teguriks on valitud  $1,5 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$  (4.5). Arvutatud U arvud on toodud tabelis (4.3)

Tabel 4.2 Tarindite arvutatud U arvud valemiga (4.3)

Tarindite soojuslähikande tegurid							
Palksein	U=	0,606	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>	Katus	U=	0,216	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>

Keldri välissein (maapealne osa)	U=	0,450	W/m <sup>2</sup> K	II korrus rõdupealne põrand	U=	0,208	W/m <sup>2</sup> K
Aknad	U=	1,5	W/m <sup>2</sup> K	Uksed	U=	1,5	W/m <sup>2</sup> K

$$\Phi_{eks} = 83,790 \cdot 0,606 \cdot (21 - (-21)) = 2130,923 \text{ W}$$

$$\Phi_{aken(l)} = 6,70 \cdot 1,50 \cdot (21 - (-21)) = 422,1 \text{ W}$$

$$\Phi_{uksed} = 6,70 \cdot 3,2 \cdot (21 - (-21)) = 201,6 \text{ W}$$

kus

$\Phi_{eks}$  = soojuskadu läbi esimese korruse eluruumide palk-välisseinte.

$\Phi_{aken(l)}$  = soojuskadu läbi esimese korruse eluruumide akende

$\Phi_{uksed}$  = soojuskadu läbi esimese korruse välisuste

Esimese korruse pesemis- ning saunaruumi soojuskadude arvutamine läbi välisseinte valemiga (4,5). Akende ja uste soojuslähikande teguriks on valitud 1,5 W/(m<sup>2</sup> · K).

$$\Phi_{pesu} = 16,73 \cdot 0,606 \cdot (24 - (-21)) = 455,863 \text{ W}$$

$$\Phi_{aken(pl)} = 1,36 \cdot 1,50 \cdot (24 - (-21)) = 91,8 \text{ W}$$

kus

$\Phi_{pesu}$  = soojuskadu läbi pesuruumi välisseinade

$\Phi_{aken(pl)}$  = soojuskadu läbi pesuruumi akende

Esimese korruse summaarne soojuskadu.

$$\Phi_{I\text{ korrus}} = 2130,923 + 422,100 + 201,6 + 455,863 + 91,8 = 3302,287 \text{ W}$$

#### 5.3.4. Teise korruse soojuskadude arvutamine läbi piirdetarindite.

Soojuskadude arvutamine läbi teisekorruse eluruumide seinte valemiga (4.5)

$$\Phi_{tks} = 52,005 \cdot 0,606 \cdot (21 - (-21)) = 1322,576 \text{ W}$$



$$\Phi_{aken(II)} = 6,57 \cdot 1,50 \cdot (21 - (-21)) = 413,910 \text{ W}$$

$$\Phi_{prII} = 18 \cdot 0,208 \cdot (21 - (-21)) = 157,323 \text{ W}$$

kus

$\Phi_{tkS}$  = soojuskaod läbi teisekorruse eluruumide palkseinte

$\Phi_{aken(II)}$  = soojuskaod läbi teisekorruse eluruumide akende

$\Phi_{prII}$  = Soojuskadu läbi terrassi pealse teisekorruse põranda

Soojuskadude arvutamine läbi teise korruse pesuruumi välisseinte valemiga (4.5)

$$\Phi_{pesu(II)} = 8,315 \cdot 0,606 \cdot (24 - (-21)) = 226,569 \text{ W}$$

kus

$\Phi_{pesu(II)}$  = soojuskadu läbi teise korruse pesuruumi välisseinade

$$\Phi_{porand(II)} = 18 \cdot 0,208 \cdot (21 - (-21)) = 157,323 \text{ W}$$

Teise korruse piirdetarindite soojuskaod kokku

$$\Phi_{II \text{ korrus}} = 413,910 + 1322,576 + 157,323 + 226,569 = 2120,378 \text{ W}$$

### 5.3.5. Soojuskadu läbi katuse

Soojuskadude arvutamine läbi katuse sooritatakse valemiga (4.5)

$$\Phi_{katuS} = 203,520 \cdot 0,217 \cdot (21 - (-21)) = 1850,276 \text{ W}$$

$$\Phi_{kat.aken} = 6,4 \cdot 1,50 \cdot (21 - (-21)) = 403,200 \text{ W}$$

### 5.3.6. Hoone summaarne soojuskadu läbi piirete

Hoone summaarne soojuskadu läbi piirdetarindite ja keldri põranda:

$$\Phi_{pk} = \Phi_{I \text{ korrus}} + \Phi_{II \text{ korrus}} + \Phi_{katuS} + \Phi_{kat.aken} + \Phi_{kelder} = 10137,469 \text{ W}$$

Arvestades ka orientatsiooni- ja läbipuhutavusparandiga, suureneb piirdetarindite soojuskaud 15%.

$$\Phi_{pk} = 11658,089 \text{ W}$$

## 5.4. Soojuskoormuse määramise meetodika.

### 5.4.1. Soojuskoormus ventilatsioonile

Ventilatsiooniõhu soojendamiseks ning soojuskoormuse määramiseks käsitletakse kahte olukorda:

- 1) Ventilatsiooniõhku soojendatakse kasutamata soojustagastit. Selles olukorras toimub soojuskoormuse määramine valemi (4.10) järgi:

$$\Phi_v = L_v \cdot \rho_{\delta} \cdot c_{\delta} \cdot (t_s + t_{at1}) \text{ W} \quad (4.10)$$

kus

$L_v$  = Soojendatav õhuhulk [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\rho_{\delta}$  = õhu tihedus 1,2 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$c_{\delta}$  = õhu erisoojus 1000 [ $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$ ]

$t_s$  = ruumi siseõhu arvutuslik temperatuur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{at1}$  = välisõhu arvutuslik temperatuur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Külmematel päevadel õhuhulga vähendamisega tuleb täpsustada ka soojuskoormust vastavalt välistemperatuurile. Mehaanilise või loomuliku väljatõmbeventilatsiooni puhul, kus kompensatsioonõhk soojeneb ruumi sisetemperatuurini hoone ruumides, tuleb ruumide küttekehade soojusandlus määrata arvestades ventilatsiooni soojuskoormust. [9]

- 2) Ventilatsiooniõhu soojendamine soojustagasti kasutamise puhul. Soojuskoormuse määramisel saab kasutada valemit (4.10):

$$\Phi_v = L_v \cdot \rho_{\delta} \cdot c_{\delta} \cdot (t_{sp} + t_{at2}) \text{ W} \quad (4.11)$$

kus

$L_v$  = Soojendatav õhuhulk [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\rho_{\delta}$  = õhu tihedus 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]

$c_{\delta}$  = õhu erisoojus 1000 [J/kg · K]

$t_{sp}$  = ruumi antava sissepuhkeõhu arvutuslik temperatuur [°C]

$t_{at2}$  = välisõhu temperatuur peale soojustagastit (enne kaloriferi) [°C], arvatud vastavalt valitud soojustagastile. [9]

Ventileeriva õhuhulga määramiseks kasutatakse valemit (4.11):

$$L_{vent} = n_v \cdot V / 3600 \quad m^3/s \quad (4.11)$$

kus

$n_v$  = ventileeruva õhuhulga kordsus tunnis [1/h]

$V$  = ruumi maht [m<sup>3</sup>]

3600 = dimensioonimuutmisest tulev termin, et tulemus oleks  $m^3/s$ .

#### 5.4.2. Tarbevee soojuskoormus

Soojuskoormus soojale tarbeveele arvutatakse valemiga (4.12)

$$Q_{sv} = 4,19 \cdot 10^{-3} \cdot El \text{ arv} \cdot VK \cdot KTA \cdot (t_{sv} - t_{kv}) / (24 \cdot 3600) \quad MWh/a \quad (4.12)$$

El arv = elanike arv hoones

VK = arvestuslik veekulu inimese kohta ööpäevas (l/inim \* ööpäev)

KTA = sooja vee ettevalmistamise süsteemi kasutustundide arv aastas.

$t_{sv}$  = sooja tarbevee temperatuur

$t_{kv}$  = külma vee temperatuur

Kui ei ole vajadust teisi vee temperatuure kasutada, võetakse sooja ja külma vee temperatuuride vaheks viiskümmend kraadi. Kui tarbevee soojendamise on kogu soojuskoormusest alla 20 %, siis ei ole vajalik sellega arvestada hoone katelseadme valikul.[9]

## 5.5. Soojuskoormuse arvutamine

Soojuskoormuse arvutamine loomulikule ventilatsioonile valemite (4.10) ja (4.11) järgi:

$$L_v = 0,5 \cdot 783,500/3600 = 0,109m^3/s$$

$$\Phi_v = 0,109 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot (21 - (-21)) = 5481 W$$

Soojuskoormuse arvutamine tarbevee soojendamisele valemiga (4.13)

$$Q_{sv} = 4,19 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 105 \cdot 8760 \cdot 50/(24 \cdot 3600) = 4,461 MWh/a$$

$$\Phi_{stv} = Q_{svkesk} = \frac{Q_{sv}}{KTA} = \frac{4,461}{8760} = 509 W$$

## 5.6. Kogu hoone soojuskaod

Hoone summaarne soojuskadu arvutatakse valemiga (4.4)

$$\Phi = \Phi_{pk} + \Phi_p + \Phi_v + \Phi_{inf} + \Phi_{stv} + \Phi_{km} - \Phi_{ls} = W$$

$$\Phi_{pk} + \Phi_p = 11658,089 W$$

$$\Phi_v = 5481 W$$

$$\Phi_{stv} = 509 W$$

$$\Phi = 18247,090W$$

## 6. SOOJUSTARVE JA ENERGIATÕHUSUS

### 6.1. Soojustarve arvutamine

Hoone ligikaudse kütte soojustarve määramiseks kasutatakse laialdaselt kraadpäevi. Hoone siseõhu temperatuur formeerub kütte- ja vabasoojuse koosmõjul. Vabasoojus on pärit elektrilistelt seadmetelt, elektrivalgustusest, päikesekiirgusest ja inimestest. Piltlikult üteldes kasutatakse küttesüsteemi soojuskadude katmiseks välisõhu temperatuurist kuni tasakaalutemperatuurini  $t_B$  vabasoojust. Tasakaalutemperatuuri puhul on ruumi soojuskaod sama suured kui vabasoojus. Mida madalam on tasakaalutemperatuur, seda lühem on soojusvajadusega periood aastas. [8] [14]

Erinevate hoonete energiatarbimise võrdlemine ja energiatarbe adekvaatne määramine ei oleks võimalik ilma ühtse kraadpäevade meetodikata. Eestis on lihtsate kraadpäevade arvutuse aluseks tasakaalutemperatuur  $+17$ . Üks kraadpäev väljendab  $1\text{ }^\circ\text{C}$  erinevust arvutusliku sisetemperatuuri ja ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri vahel. Kui näiteks ööpäeva keskmine välisõhu temperatuur on  $+2\text{ }^\circ\text{C}$ , siis 24-tunnise ajavahemiku kraadpäevade arv on  $17-2=15(^\circ\text{C}\cdot\text{d})$ . Normaalaasta kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuril  $17$  on  $4220$ [8]

Soojustarve küttele saame arvutada valemiga (4.14). Seos annab tegelikkusest natukene suurema küttekulu, kuna ei arvesta vabasoojusega. [8]:

$$Q_k = \Phi_k \cdot S \cdot 24 \cdot 10^{-3} / \Delta t \quad MWh/a \quad (4.14)$$

Arvutusliku soojushulga sooja tarbevee tootmiseks saab arvutada valemi (4.15) järgi[16]:

$$Q_{sv} = 4,19 \cdot 10^{-3} \cdot El \text{ arv} \cdot VK \cdot KTA \cdot (t_{sv} - t_{kv}) / (24 \cdot 3600) \quad MWh/a \quad (4.13)$$

Hoone arvutuslik soojustarve arvutamine valemiga (4.14):

$$Q_k = 17139,09 \cdot 4220 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-3}}{\Delta t} = 41,32969 \text{ MWh}$$

$$Q_{sv} = 4,461 \text{ MWh}$$

Hoone aastane soojatarve kokku on  $45,790$  MWh.

## 6.2. Energiatõhususe arvutamine

Energiatõhususarvud, mida uutes hoonetes ei tohi ületada, on toodud Eesti Vabariigi Valitsuse poolt välja antud määruses „Energiatõhususe miinimumnõuded“. Tabelis (5.1) on toodud väärtused, mida energiatõhususarv ei tohi ületada.[14]

Tabel 5.1[14]

Ehitatav hoone kWh/(m <sup>2</sup> a)	Ehitatav hoone kWh/(m <sup>2</sup> a)	Oluliselt rekonstrueeritav hoone kWh/(m <sup>2</sup> a)
Väikemajad	180	250
Korterelamud	150	200
Büroohooned	220	290
Ärihooned	300	390
Tervishoiuhooned	400	520
Siseujulad	800	1000

Tõhususarvutustes tuleb kasutada kaalumistegureid, mis on tabelis (5.2)[14]:

Tabel 5.2 energiatõhususarvu kaalumistegurid

Taastuval toorainel põhinevad kütused	K <sub>s</sub> =0,75
Kaugküte	K <sub>s</sub> =0,9
Vedelkütused	K <sub>s</sub> =1,0
Maagaas	K <sub>s</sub> =1,0
Tahked fossiilkütused	K <sub>s</sub> =1,0
Turvas ja turbabrikett	K <sub>s</sub> =1,0
Elekter	K <sub>e</sub> =1,5

Energiatõhususarv arvutatakse valemiga (5.1)[4]:

$$\text{Energiatõhususarv} = \frac{K_s \cdot \text{Soojusenergia} + K_e \cdot \text{Elektrienergia}}{\text{Põrandapind}} \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \quad (5.1)$$

Arvutatava hoone energiatõhususarvu leidmine valemi (5.1) järgi:

Hoone elektrienergia kasutus aastas on 10000 kWh ja soojusenergia tarve 45790 kWh. Hoone kogu köetav pind on 267 ruutmeetrit.

$$\text{Energiatõhususarv} = \frac{0,75 \cdot 45790 + 1,5 \cdot 10000}{267} = 184,8034 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Tuginedes tabelil (5.1), jääb antud hoone energiatõhususarv napilt suuremaks maksimaalsest lubatud suurusest. Hoone energiatarvet tuleks vähendada kuni 120 kWh/(m<sup>2</sup>·a) – madalenergiahoone kriteeriumitele vastamiseks ning liginullenergia hoone jaoks peaks see olema 50 kWh/(m<sup>2</sup>·a).[4][14]

## **7. ENERGIATÕHUSUSE PARANDAMINE**

### **7.1. Soovitused palkmajade soojustamiseks**

Palkmajade soojustamisel hindavad palkmajade tegijad loodussõbralikke allergiavabade materjalide kasutamist. Soojustamiseks kasutatav materjal peab taluma õhuniiskust. AS Ritsu kodulehel on ka soovitused palkmaja soojustamiseks:[17]

- Tselluvill on looduslikult taaskasutatav materjal, mille tootmiseks on kasutatud ca 82 % ulatuses vanapaberit. Puidule sarnaselt seob ja vabastab see niiskust. Tselluvill on soojapidav ning ka tule- ja veekindel. Puistevillana on teda aga keerulisem kasutada. Tselluvillaga saab soojustada hoonete pööninguid, vahelagesid, alttuulutataavaid põrandaid, seinu jne. Selle soojusjuhtivustegur  $\lambda$  on 0,037 kuni 0,039 W/mK [17][21]
- Kivivill on samuti hingav, lastes veeauru läbi samapalju kui õhku ning tagab ka hea sisekliima. Hea soojusisolatsiooni võime tagab see, et kogumahust moodustab õhk 92-99%. Sarnaselt tselluvillale on kivivill tulekindel ja omab head heliisolatsioonivõimet. Kivivilla on niiskuse imamisvõime vähendamiseks töödeldud vastavate ainetega. Kivivill koosneb vaigust, õlist ja kivist, millest viimane moodustab 95 % kogu toormaterjalist. Soojusjuhtivustegur on ca 0,035 W/mK. [17][22]
- Looduslikud korgitamme koorest tehtud looduslikud isolatsiooniplaadid. Tegemist on minimaalse energiaga toodetud ja täielikult ümber töödeldava materjaliga. Sarnaselt eelnevatele, on ka kork tulekindel ja hea soojusisolaator. Palkseina sisekliimaomadused säilivad sest ka see salvestab ja vabastab õhuniiskust olles samal ajal täiesti ilmastikukindel.[17]

### **7.2. Palkhoone soojustamine**

Villaplaatide paigaldamise puhul tuleb need paigaldada kahe või rohkema kihina nii, et lõikes nende kihtide vuugid ei kattuks. Välissoojustusmaterjali peale paigaldatakse tuuletõkkeplaat ning sellele omakorda jäetakse tuulutusvahe. Tuulutuskarkassi peale paigaldatakse välisvooder.[17]

Soojustamiseks kasutatava kivivilla andmed on toodud tabelis (6.1). Technolight Extra soojustusplaadid sobivad kasutamiseks koormamata konstruktsioonides – väliseseintes,



viilkatustel, pööningutel ja põrandatel. Toodet on lihtne paigaldada ja sobivasse mõõtu lõigata. [23]

Tabel 6.1 Technolight extra kivivilla andmed[23]

<b>Paksus</b>	<b>Pikkus</b>	<b>Laius</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>paki</b>
(mm)	(mm)	(mm)	<b>pakis</b>	<b>hind</b>	<b>hind</b>
<b>100</b>	1200	600	4,32	<b>3,18 EUR</b>	<b>13,75 EUR</b>
Tehnilised andmed					
Deklareeritud soojusjuhtivustegur $\lambda$				0,036 W/mK	
Tuletundlikkuse klass (EN 13602-1 alusel)				A1	

Hoone välisseinade pindala on 167 ruutmeetrit. Ühe kihi kivivilla lisamiseks oleks vajalik soetada 37 pakki, aga soojuskadude vähendamiseks on vaja lisada 4 kihti. Seega oleks vaja lisada 149 pakki kivivilla, mis läheks maksma ~2050 eurot.

Kivivilla peale paigaldatakse tuuletõkkeplaat, mille andmed on tabelis (6.2). Tuuletõkkeplaati kasutatakse hoonete välisseinte, lagede ja katuste konstruktsioonides tuultõkestava, soojustava ja jäikust tõstva elemendina. Puitkiud-tuuletõkkeplaati kasutatakse tuultõkestava ja külmasilda vältiva elemendina soojusisolatsioonikihtide vahel. Plaadid toimivad ilmastikukindla kaitsekihina välisvooderduseta hoonete talvitumisel ning kaitsevad niiskuse vastu soojusisolatsiooni kihtides. Plaati võib paigaldada otse mistahes soojusisolatsioonile. Tuuletõkkeplaadid salvestavad soojust ning ei lase konstruktsioonil nii kiiresti maha jahtuda. Sellega saab stabiliseerida ruumi sisetemperatuuri. [24]

Tabel 6.2 Puitkiud tuuletõkkeplaadi andmed [24].

<b>Paksus</b>	<b>Pikkus</b>	<b>Laius</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>paki</b>
(mm)	(mm)	(mm)	<b>pakis</b>	<b>hind</b>	<b>hind</b>
12	2700	1200	32,4	2,10 EUR	68,04 EUR
Tehnilised andmed					
Deklareeritud soojusjuhtivustegur $\lambda$				0,032 W/mK	
Tuletundlikkuse klass (EN 13601-1 alusel)				A2-s1,d0	

Hoone välispiirete katmiseks on ettevõtte Ecostock OÜ poolt pakutavat tuuletõkkeplaati vaja soetada 5 pakki, mille kogumaksumus on 338,1 eurot. Ühes pakendis on 32,4 ruutmeetrit tuuletõkkeplaati.

Tuuletõkkeplaadile ehitatakse tuulutuskarkass, mille peale omakorda paigaldatakse välisvooder. Antud hoone puhul valin selleks välisvoodrilaua, mis säilitab hoone loodusliku ilme. Valisin ettevõtte Auronix OÜ poolt pakutava palgiprofiiliga UYH poolpunn laua. Selle kattev laius on 110 meetrit ja paksuseks 20mm. Ehitusmaterjal on valmistatud kuusepuust ning maksab 8,50 eurot ruutmeeter. Antud palkhoone vooderdamiseks oleks summaarne kulu 1369 eurot.

### **7.3. Katuse soojustamine**

Vaja on soojustada ka katus, kuna selle kaudu kaob kõige rohkem soojust ning antud ehitise puhul on katuse isolatsiooni kiht küllaltki väike. Tegemist on suure hoonega ning tänaseks päevaks on hoones kaks püsielanikku, vaatamata ruumikaale, on mõistlik isolatsioon paigaldada sisse poole ilma katust tõstmata.

Katuse soojustamiseks kasutatakse sama tüüpi kivivilla, millega soojustatakse ka hoone välisseinad. Materjali andmed on tabelis (6.1). Katus soojustatakse kolme 100 millimeetrise lisakihiga. Rahaline kulu soojustusele on 1948 eurot.

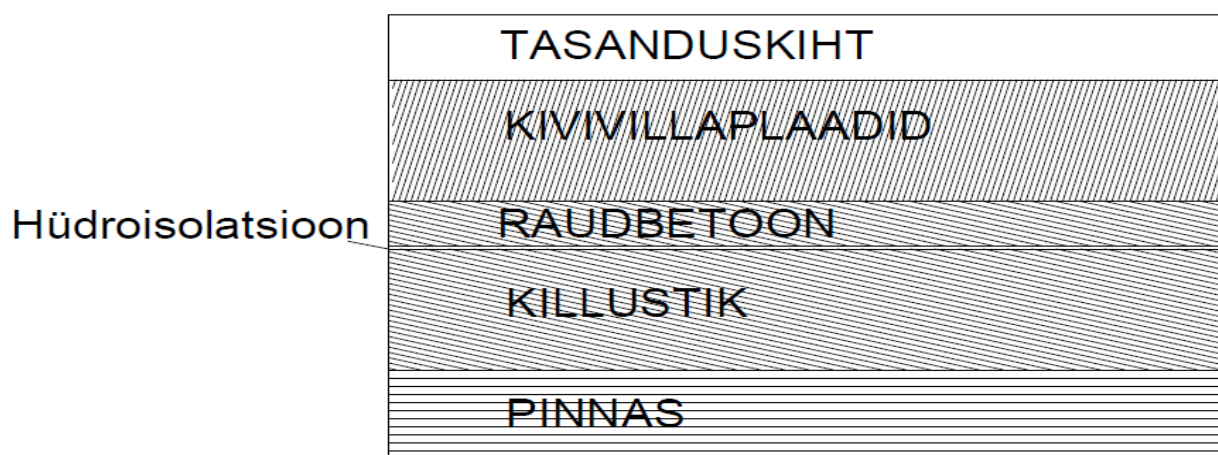
### **7.4. Pinnasel asuva põranda soojustamine**

Pinnasel asuv põrandaskeem on näidatud joonisel (sele 6.n). Lõike komponentideks võiksid olla:

- Põrandakate
- Sarrusbetoonikiht
- Soojustusmaterjal
- Hüdroisolatsioon
- Raudbetoon
- Dreeniv kiht
- Pinnas

[25]

## Sele 6.1 Soojustatud põranda kihid



Antud hetkel on betoonkihi all vaid drenivaks kihiks killustikupadi, mille paksus on teadmata. Keldripõranda soojustamiseks on vajalik olemasolev betoon välja piigata ja maapind süvendada ning seejärel uuesti täita.

Pinnase peale tuleb kanda 150 mm kiht killustiku drenivaks kihiks. Sellele tuleb omakorda rajada 60 mm raudbetooni, mille peale paigaldatakse 150 mm soojusisolatsiooni. Isoleerimiseks kasutatakse kivivilla plaate STEPROCK HD mille tehnilised andmed on toodud tabelis (6.3). Isolatsioonikihi peale valatakse tasandusbetoonikiht.

Tabel 6.3 Kivivilla plaatide tehnilised näitajad

Näitajad	Väärtused	Standard
Tihedus	~ 140 kg/m <sup>3</sup>	EN 1602
Soojusjuhtivustegur	$\lambda_D = 0.039 \text{ W/mK}$	EN 12667 / EN 12939
Tuleohutuse klass	A1	EN 13501-1
Lühiajaline veeimavus	$\leq 1.0 \text{ kg/m}^2$	EN 1609
Õhu läbilaskevõime	$\leq 60 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	EN 29053
Survetugevus 10% deformats. korral	$\geq 30 \text{ kPa}$	EN 826
Dünaamiline jäikus	25 MN/m <sup>3</sup> , kui paksus 30 mm	EN 29052-1
	22 MN/m <sup>3</sup> , kui paksus 40 mm	EN 29052-1
Kokkusurutavus	$\leq 4.0 \text{ mm}$	EN 826

## 8. UUTE SOOJUSTATUD PIIRDETARINDITE SOOJUSKADUDE ARVUTUSED.

### 8.1. Piirdetarindite soojuslähikande tegurid

Piirdetarindite soojusjuhtivus tegurid on arvutatud valemiga (4.3) ja on toodud tabelis (7.1).

Tabel (7.1) Soojustatud piirdetarindite soojusjuhtivustegurid

Tarindite Soojuslähikande tegurid							
Palksein	U=	0,0658	W/m <sup>2</sup> K	Katus	U=	0,095	W/m <sup>2</sup> K
Keldri välissein (maapealne osa)	U=	0,450	W/m <sup>2</sup> K	II korrus rõdupealne põrand	U=	0,0935	W/m <sup>2</sup> K
Aknad	U=	1,5	W/m <sup>2</sup> K	Uksed	U=	1,5	W/m <sup>2</sup> K

Pärast hoone keldri põranda soojustamist määratakse põranda soojuskadu taaskord tsoonide kaupa. Soojustuskihtide soojustakistused lisatakse vastava tsooni soojustamata põranda soojustakistusele. Põranda esimese tsooni soojustakistus leitakse valemiga (7.1):[9]

$$R_{sp I} = R_I + \sum \delta/\lambda \quad m^2 \cdot K/W \quad (7.1)$$

kus

$R_I$  = põranda esimese tsooni soojustamata osa soojustakistus

$\delta$  = soojustuskihi paksus [m]

$\lambda$  = soojustuskihi materjali soojusjuhtivustegur [W/m·K]

Teiste tsoonide soojustakistused määratakse analoogselt. Keldriruumide puhul käsitletakse seinaga osa, mis asub maapinnast allpool, põranda jätkuna. Osa seinapinnast, mis moodustab esimest tsooni, võrdsustatakse vastava tsooni soojustakistusega ning seinakonstruktsiooni käsitletakse kui soojustuskihti. [9]

Keldri esimese pinnatsooni soojuslähikande teguri leiame valemiga (7.2). Ülejäänud tsoonid arvutatakse analoogselt.

$$U_I = 1/R_{sp I} \quad W/m^2 \cdot K \quad (7.2)$$

Keldri soojustatud põranda soojustakistused, soojuslähikande tegurid ja soojuskaod on toodud tabelis (7.2)

## 8.2. Soojuskadu läbi soojustatud põranda

Tabel 7.2 Keldri põrandatsoonide soojuskadude arvutused.

$R_{sp I}$	6,099	$U_I$	0,164	$\Phi_{pI}$	580	W
$R_{sp II}$	8,299	$U_{II}$	0,121	$\Phi_{pII}$	313	W
$R_{sp III}$	12,599	$U_{III}$	0,0794	$\Phi_{pIII}$	80	W
$R_{sp IV}$	18,199	$U_{IV}$	0,055	$\Phi_{pIV}$	1,9	W
				$\Phi_{keldriporand}$	974	W

## 8.3. Uute soojustatud piirdetarindite soojuskadude arvutamine.

Soojuskadu läbi eluruumide välispiirete arvutatakse valemiga (4.5).

### 8.3.1. Soojuskadu läbi esimese korruse välispiirete.

$$\Phi_{2eks} = 83,790 \cdot 0,0658 \cdot (21 - (-21)) = 231,391 \text{ W}$$

kus

$$\Phi_{2eks} = \text{soojuskadu läbi esimese korruse eluruumide soojustatud seinad}$$

Akende ja uste soojuskadud jäävad esialgsete arvutustega samaks. Nende väärtused on vastavalt 422,1 W ja 201,6 W

Esimese korruse pesemis- ning saunaruumi soojuskadude arvutamine läbi välisseinte valemiga (4,5). Akende ja uste soojuslähikande teguriks on valitud  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

$$\Phi_{2pesu} = 16,73 \cdot 0,0658 \cdot (24 - (-21)) = 49,501 \text{ W}$$

kus

$$\Phi_{2pesu} = \text{soojuskadu läbi pesuruumi soojustatud välisseinade}$$

Läbi pesuruumi akende on soojuskadu eelnevalt arvutatud 91,8W.

Esimese korruse soojuskadud  $\Phi_{2EK} = 996,392 \text{ W}$ .

### 8.3.2. Teise korruse soojuskadude arvutamine läbi piirdetarindite.

Soojuskadude arvutamine läbi teisekorruse eluruumide seinte valemiga (4.5)

$$\Phi_{2tks} = 52,005 \cdot 0,0658 \cdot (21 - (-21)) = 143,601 \text{ W}$$

kus

$$\Phi_{2tks} = \text{soojuskaod läbi teisekorruse eluruumide palkseinte}$$

Akende ja uste soojuskaod jäävad esialgsete arvutustega samaks. Nende väärtused on vastavalt 413,910 W ja 157,323 W.

Soojuskadude arvutamine läbi teise korruse pesuruumi välisseinte valemiga (4.5)

$$\Phi_{2pesu(II)} = 8,315 \cdot 0,0658 \cdot (24 - (-21)) = 24,603 \text{ W}$$

kus

$$\Phi_{2pesu(II)} = \text{soojuskadu läbi teise korruse pesuruumi välisseinade}$$

$$\Phi_{2porand(II)} = 18 \cdot 0,0935 \cdot (21 - (-21)) = 70,735 \text{ W}$$

kus

$$\Phi_{2porand(II)} = \text{Soojuskadu läbi teise korruse terrassipealse soojustatud põranda}$$

Teise korruse piirdetarindite soojuskaod kokku peale soojusisolatsiooni lisamist on 652 W

### 8.3.3. Soojuskadu läbi katuse

Soojuskadude arvutamine läbi soojustatud katuse arvutatakse valemiga (4.5)

$$\Phi_{2katuse} = 203,520 \cdot 0,095 \cdot (21 - (-21)) = 813,916 \text{ W}$$

$$\Phi_{2katuse} = \text{soojuskadu läbi soojustatud katuse}$$

Soojuskadu läbi katuseakende on 403,2 W

### 8.3.4. Hoone summaarne soojuskadu läbi piirete pärast soojustuskihtide lisamist

Hoone summaarne soojuskadu läbi piirdetarindite ja keldri põranda pärast soojustamist paranes märgatavalt. Soojus kadu arvutatakse valemiga (4.4):

$$\Phi_{2pk} = 3988,048 \text{ W}$$

Arvestades ka orientatsiooni- ja läbipuhutavusparandiga, suureneb piirdetarindite soojuskadu 15%.

$$\Phi_{2pk} = 4586,256 \text{ W}$$

Piirete isoleerimisega on arvutuslik soojuskadude vähenemine 7071, 833 vatti.

## **9. VENTILATSIOON**

### **9.1. Liigitus**

Ventilatsioonist tingitult ei tohi ventileeritavas ruumis tekkida ebameeldivaid kõrvalnähtusi nagu müra, ebahühtlane temperatuur ja tuuletõmbus. Antud ebamugavusi ei põhjusta suurelt jaolt mitte väljatõmbeviis, vaid pigem õhujaotussüsteemi kujundus ja paigutus, sissepuhkeõhu temperatuur ja õhuvooluhulk. [14]

#### **9.1.1. Ilma soojustagastuseta süsteem.**

Sellise süsteemi puhul asendatakse väljatõmbeõhk välisõhuga ilma seda soojendamata. Sissepuhkeõhk tuleb väljast, läbi hoone välistarindi avauste ning õhuvooluhulga määrab väljatõmme. Hoonetes kasutatakse õhu väljatõmbeks ventilaatorit või loomulikku ventilatsiooni. Ventilaator aitab tagada soovitud õhuhulka süsteemis aastaringselt, olles samal ajal sõltumatu välistemperatuurist. Õhuvooluhulk on seda suurem, mida suurem on õhukanali ala- ja ülaotsas olev rõhkudevahe. [14]

#### **9.1.2. Soojustagastusega süsteem**

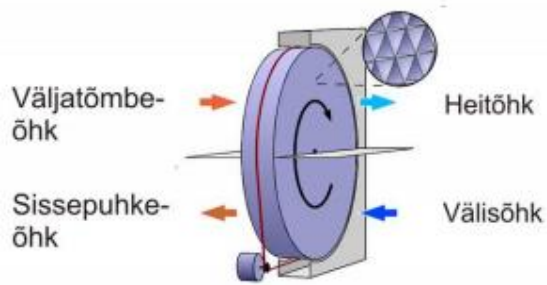
Ventilatsiooni soojustagastuse eesmärgiks on lahkuva ventilatsiooniõhu soojust kasutamine kütmiseks, kui välisõhutemperatuur langeb. Õhutemperatuuri tõstmiseks on sissepuhkepoolele vaja seadet, mis seda suurendaks. Taoline süsteem on madalenergia- ja liginullenergia hoonetes kohustuslik. Väikeelamutes kasutatakse põhiliselt rootor- ja plaatsoojustagasteid.[14]  
[4]

Rootorsoojustagasti head soojust salvestavad ja loovutavad omadused tulenevad spetsiaalsest ventilatsiooniõhku läbilaskvast silindrist. Ventilatsiooniseadme sisse- ja väljapuhkeõhuvoolude keskkonnas pöörleb rootor. Soojustagastusmaterjal soojeneb seal läbides kõrgematemperatuurilist väljatõmbeõhu keskkonda ning jõudes madalatemperatuurilisse välisõhu voolu keskkonda, hakkab rootori soojustagastusmaterjal jahtuma, andes samal ajal soojust üle sissepuhkeõhule.[4]

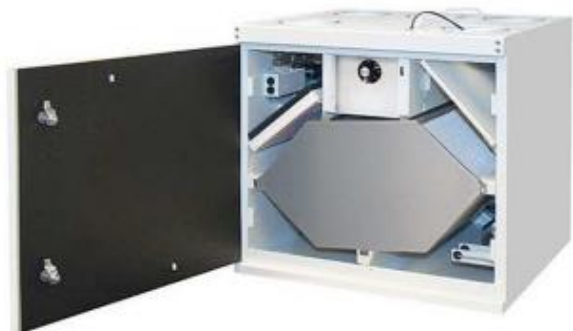
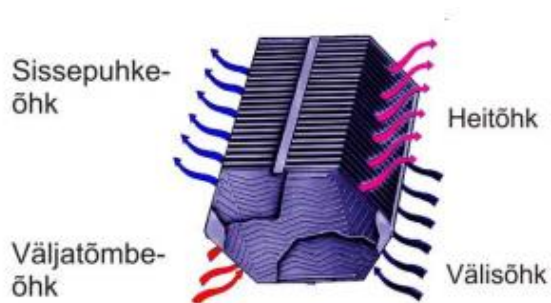
Plaatsoojustagastis on õhuvoolud üksteisest eraldatud vaheldumisi plaatidega. Sisse- ja väljapuhke õhud on plaatidevahes vaheldumisi. Seadmeid eristatakse vastavalt õhuvooluhulkade liikumise suunast: on vastu- ja ristivoolused tagastid. Esimesed neist on tõhusamad.



Sele 8.1 Rotorsoojusvaheti ja näide seadmest[4]



Sele 8.2 Plaatsoojusvaheti ja näide seadmest.[4]



## 9.2. Soojustagastusega ventilatsiooni soojuskoormuse arvutamine

Koormust ventilatsioonile arvutatakse valemiga (8.1.)

$$\Phi_v = L_v \cdot \rho_{\delta} \cdot c_{\delta} \cdot (t_{sp} - t_{at2}) \quad W \quad (8.1)$$

kus

$L_v$  = soojendatav õhuhulk

$\rho_{\delta}$  = õhu tihedus

$c_{\delta}$  = õhu erisoojus

$t_{sp}$  = ruumi antava sissepuhkeõhu arvutuslik temperatuur peale kalorifeeri

$t_{at2}$  = välisõhu temperatuur peale soojustagastit (enne kalorifeeri) [oC],

arvutatud vastavalt valitud soojustagastile.

Soojuskoormus ventilatsioonile arvutatakse valemiga (8.1).

$$\Phi_v = 2218,5 \text{ W}$$

Soojuskoormus ventilatsioonile ilma soojustagastuseta on 5481 W. Soojustagastusega ventilatsiooni paigaldamine vähendaks soojuskadusid 3262,5 vatti.

Hoonele sobivaks ventilatsiooniseadmeks on valitud A+ energiaklassiga ristivoolu plaatsoojusvahetiga seade ABCkliima tootevalikust. Seadme tehnilised andmed ja pilt on toodud tabelis (8.1) ja sele (8.3).

Tabel 8.1 Vallox 145 SE ventilatsiooniagregaat.[26]

ELEKTRIVÕIMSUSED		FILTRITE ANDMED	
Ventilaatorite elektrivõimsus W	2 × 166	Õhupuhastuse tüüp	Mehaaniline
Elektrilise järelkütte võimsus W	900		
KASUTEGURID		VENTILAATORITE ANDMED	
Soojusvaheti kasuteguri %	>80%	Ventilaatori tüüp	alalisvool
ENERGIATÕHUSUSE KLASSID		MÕÕDUD	
Energiatõhususe klass	A+	Laius × kõrgus × sügavus mm	717 × 748 × 578
SOOVITATAV RUUMI SUURUS		TORUSTIKE ANDMED	
Soovitav ruumi suurus m <sup>2</sup>	kuni 250	Torustiku ühendusmõõt	4 x 200 mm
ÕHUHULGAD		ELEKTRIANDMED	
Max õhuhulk sissepuhkel l/s	150 (100 Pa rõhuga)	Elektritoide	230 V, 50 Hz, üks faas
Max õhuhulk väljatõmbel l/s	155 (100 Pa rõhuga)	Töövool A	11,9
Max õhuhulk sissepuhkel m <sup>3</sup> /h	540 (100 Pa rõhuga)	Toitekaabli ühendus	Pistikuga
Max õhuhulk väljatõmbel m <sup>3</sup> /h	558 (100 Pa rõhuga)	SOOJUSVAHETI ANDMED	
		Soojusvaheti tüüp	Ristivoolu plaatsoojusvaheti

### Sele 8.3 Ventilatsiooniagregaat[26]



### 9.3. Ventilatsioonisüsteemi elektritarbe arvutamine

Ventilatsioonisüsteemi elektri erivõimsus iseloomustab seadme elektrikasutuse efektiivsust. Seda tähistatakse DFP tähekombinatsiooniga, mis on tulnud inglisekeelsest sõnast *specific fan power*. Elektrikasutus on seda väiksem, mida väiksem on SFP.[4]

Väikeelamu sissepuhke-väljatõmbesüsteemi SFP arvutatakse valemiga (8.1):

$$SFP = \frac{N_{sp} + N_{vt}}{L_{max}} \quad kW / \left( \frac{m^3}{s} \right) \quad (8.1)$$

$N_{sp}$  = sissepuhkeventilaatori poolt tarbitav elektrivõimsus [kW]

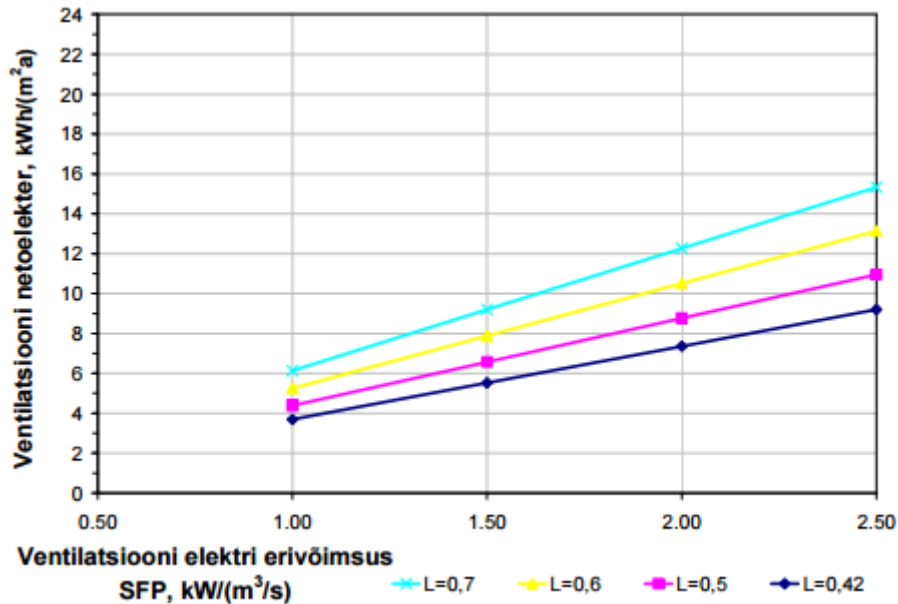
$N_{vt}$  = väljapuhkeventilaatori poolt tarbitav elektrivõimsus [kW]

$L_{max}$  = Ventilatsiooni õhuvooluhulk [ $m^3/s$ ]

$$SFP = \frac{0,166 + 0,166}{0,60} = 2,075 \quad kW / \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

Ventilatsioonisüsteemi netoelektrikasutus köetava pinnakohta võetakse graafikult sele (8.4) olenevalt ventilatsiooni õhuvooluhulgast köetava pinna kohta ja SFP-st [4]:

Sele 8.4.Väikeelamu ventilatsiooni aastane ventilatsiooni netoelektrikasutus köetava pinna kohta olenevalt õhuvooluhulgast ja SFP-st.[4]



Graafikult sele 8.4 vaadeldes on näha, et antud hoonele valitud ventilatsiooni seade kulutab elektrienergiat 7,5 kWh/m<sup>2</sup>·a. Saadud summa tuleb läbi korrutada 1,5-ga mis on elektri kaalumistegur, saame ventilatsiooni elektri energiatõhususarvu komponendi.[4]

## 10. ENERGIATÕHUSUSARV PÄRAST SOOJUSKADUDE OPTIMEERIMIST.

Optimeeritud soojuskadudega palkhoone energiatõhususe arvutamine valemiga (5.1).  
Soojusenergia aastase tarve optimeeritud soojuskadudega hoonele arvutatakse valemiga (4.14).

$$Q_{2k}=11059,429 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{sv}=4461 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Energiatõhususarv} = \frac{0,75 \cdot 15520,429 + 1,5 \cdot 10007,5}{267} = 99,817 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$$

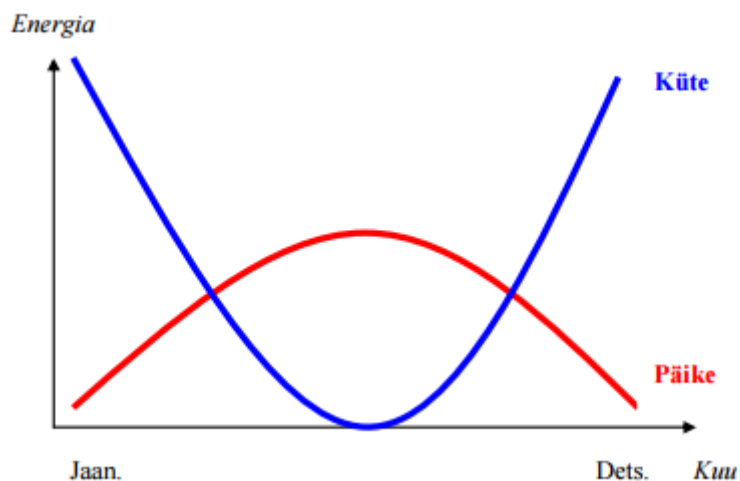
Saadud tulemus näitab, et peale soojuskadude ja – koormuse vähendamist vastab maja energiatõhususarv madalaenergiahoone nõuetele. Liginullenergia hoone tingimustele vastamiseks tuleb energiatõhusus arvu vähendada kuni  $50 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$  –ni. Antud tulemuse saavutamiseks võib kasu olla päikeseenergia kasutusele võtmisest.

# 11. PÄIKESEENERGIA KASUTAMINE

## 11.1. Päikese kollektorid

Väikeelamutes kasutatakse nii lame- kui ka vaakumkollektoreid, mis toodavad soojust. Kütteperiood on võrreldes tavahoonetega liginullenergia maja puhul olenevalt lühem. Väikeelamu küttevajadus ja kollektoritele tulev päikesekiirgus on aasta arvestuses vastasfaasis. Soojusvajadus on talvel suur, aga päikesekiirgust vähe, suvel on vastupidine olukord. Soojusvajadus ja päikesekiirguse võrdlus on toodud graafikul sele (10.1)[4]

Sele 10.1 Päikeselt saadav energia ja väikeelamu küttevõimsus on aasta arvestuses vastasfaasis.



Sellest tulenevalt ei saa päikesekollektoreid Eesti kliimas kasutada väikeelamu põhilise kütteallikana. Parim viis väikeelamus päikesekollektorite kasutamiseks on sooja tarbevee valmistamine. Aastasest tarbevee soojusest võib õigesti ja optimaalselt paigaldatud süsteemiga katta ca 50-70 %. Süsteem koosneb päikesepaneelidest ja soojavee salvestuspaagist.[4]

Päikesekollektorist saadav soojus on ajas muutuv suurus ning sõltub valdavalt pilvisusest, aastaajast ja kellaajast. Samal ajal ei ole see sõltuvuses hoone soojusekasutusest. Päikeselt saadud energiat tuleb kindlasti salvestada, sest sooja vett võib vaja minna ka pimedal ajal. Selleks kasutatakse päikesekollektorite süsteemis sooja vee salvestuspaaki. Tänapäeval kasutatakse kihtide kaupa laaditavaid salvestuspaake mille eesmärk on süsteemi tõhustamine. Kollektori ja salvestuspaagi vahel tsirkuleeriv vedelik peab olema külmumiskindel.[4]

Päikesekollektorid paigaldatakse üldjuhul hoone katusele. Arvestada tuleks järgmiste asjaoludega:

- Kollektorite pinnale ei tohi ka talvekuudel tekkida varjusid[4]
- Kollektorid tuleb suunata lõunasse, soovitatav kõrvalekalle mitte üle  $\pm 15^\circ$  ning maapinna suhtes peab nurk olema 40-45°.[4]

Kui neid punkte eiratakse, on päikselt saadav soojushulk väiksem ning päikesekollektori tõhusus väheneb. Kollektorites võib tekkida olukord, kus kollektorites olev vesi läheb keema, kuna sooja vett ei kasutata piisavalt või üldse mitte. Selle vältimiseks tuleks seda probleemi ennetada juba seadme planeerimisel. Üks võimalus on kasutada üleliigset sooja, juhtides see maasoojuspumba kollektoritesse, millega saab suurendada pumba kasutegurit. [4]

Päikesekollektorite kavandamisel väikeelamu sooja tarbevee saamiseks võib esialgses lahenduses aluseks võtta järgmised ligikaudsed näitajad:

- 1,5-2 m<sup>2</sup> päikesekollektori pinda ühe elaniku kohta.[4]
- 80-100 l akumulatsioonipaagi mahtu ühe elaniku kohta.[4]

## 11.2. Päikesepaneelid

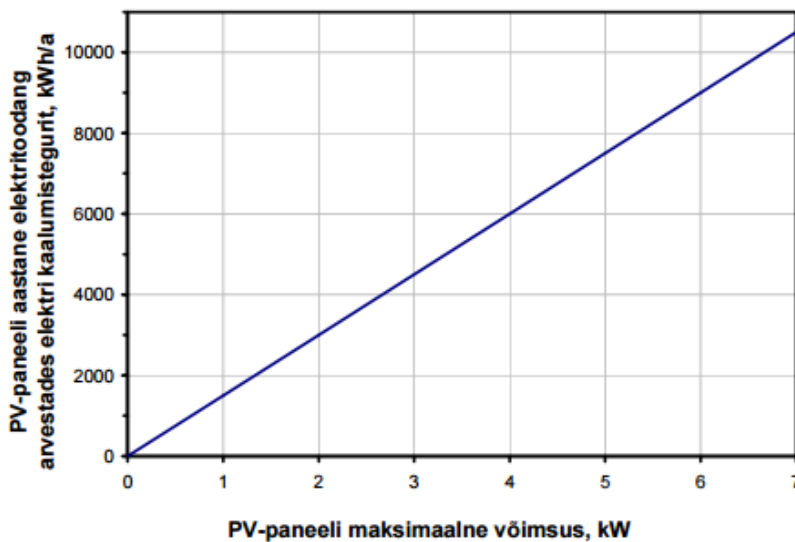
Elektrit toodetakse erinevate paneelidega, mida tihti kutsutakse PV-paneelideks. Lühend tuleb inglisekeelsest tähendusest photovoltaic. PV-paneelide kasutegur on 11-17%. See näitab, mitu protsenti paneeli pinnale langenud päikesekiirgusest muundatakse elektriks. Ideaaltingimustes, selge ilmaga ja olukorras, kus päikesekiired on paneeli pinnaga risti, on võimalik saada elektrit kuni 150 W ühest ruutmeetrist. Kui paneelid on paigaldatud õige orientatsiooniga, on võimalik ühest ruutmeetrist toota 100-150 kWh elektrienergiat aastas.[4]

Päikesepaneelide paigaldamisel ja asukohavalikult tuleb lähtuda samadest põhimõtetest, mis kollektoritegi puhul. Soovituslik paigaldusnurk on maapinna suhtes aga 40°. Kui maja katusele paigaldada 35 m<sup>2</sup> PV-paneele, siis on maksimaalne toodetava elektrivõimsuse suurusjärg 4 kW ja aastas saadav elektrienergia kogus umbes 4 MWh. Meeles tuleb pidada ka seda, nagu kollektorite puhulgi, et talvel jääb elektrienergia tarbimise katmiseks paneelidest saadud energiat väheks ning suvel jääb seda üle. [4]

Ületootmise ühtlustamiseks tuleb küsida elektrivõrgu ettevõttelt liitumise tehnilised tingimused ning võimaluse korral liituda ning elektrit elektrivõrku müüa. Juhul kui PV-paneelidega toodetud elektrit on võimalik müüa elektrivõrku, tuleb seda arvestada ka

energiatõhususarvu leidmisel. Võrku antud elektrienergia tuleb läbi kaaluda kaalumisteguriga 1,5 ja energiatõhususarv väheneb selle korrutise võrra. Energiatõhususarvu esialgsel määramisel saab lähtuda graafikust sele (10.1). Vastavust liginullenergia hoonete nõuetele on vaja kindlasti kasutada PV-paneele.[4]

Sele 10.1 PV-paneeli aastane elektritoodang, arvestades kaalumistegurit 1,5.[4]



### 11.3. Päikesekollektorite valik

Päikese kollektorid on valitud Globalfund OÜ kodulehelt. Kollektori joonis on toodud pildil (sele 10.2). Ühe ühiku suurus on 2,02 ruutmeetrit ning ligikaudselt arvutades on ühe inimese kohta vaja 2 ruutmeetrit. Varuga paigaldatakse hoone katusele 6 m<sup>2</sup> SOL 15-58-1800 paneeli. Terve süsteemi maksumus kokku on alates 5402 eurot. Vajalike seadmete loetelu koos hindadega on tabelis (10.1). Lisaks tabelis toodule on vajalik veel ka akumulatsiooni paak.

Märtsi lõpust oktoobri alguseni annab Eesti tingimustes optimaalne kogus päikesekollektoreid sooja vee tasuta ja talvisel perioodil olenevalt päikese aktiivsusest kuni 35% lisatoetust küttele. Sõltuvalt kaldenurgast on Eestis ühe kollektori tootmisvõimsuseks 80-120 kWh/m<sup>2</sup> kuus, 1m<sup>2</sup> pinnaga paneele toodab keskmiselt 1 kW elektrienergia.[27]

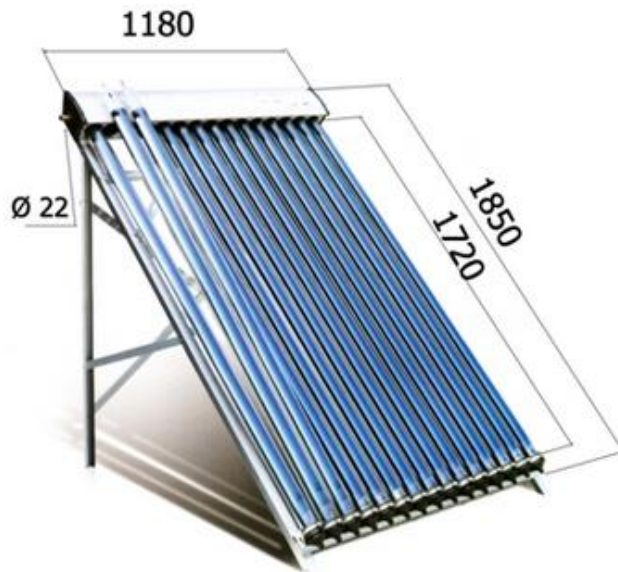
Eeldatakse, et päikeseküte pole meie kliima tõttu atraktiivne, siis tegelikkuses toodab 1kW võimsusega süsteem Eestis samapalju energiat aastas kui Kesk-Saksamaal, kus on päikeseküte laialdaselt levinud. Arvestuslik aastane energiakogus aastas on 850-1000 kWh.[28]



Tabel 10.1: Päikesekollektori süsteemi põhikomponendid.[27]

Päikesekollektor	Sol 15-58-1800 - Sisaldab 15 vaakumtoru,	400 €/tk
	1 kollektor, koos alumiinium raamiga	
	kaldele 45°, Ø 6 mm roostevaba mutrid poldid,	
	plastikust vaakumtoru fikseerijad 15 tk.	
Pumbarühm	"Sol-Duo" - Sisaldab 2 pumpa Wilo 15- 1.6. , 2 flotomeetrit	362 €
	1 manomeeter 6 bar, ülejooksuklapp 6 bar, sisse	
	ehitatud tagasilöögiklapid 2 tk, hooldus kraanid,	
	täitmis/õhutamiskraanid 1 kmpl korkidega.	
Automaatika	SP 24 E ( Hiina) väga lihtne automaatika elementaarse	135 €
	päikesekütte	
	juhtimiseks koos külmakaitsega ( välja ei saa lülitada) ,	
	boileri juhtimine ja kütmine kuni 2 kW elektritenni toide 3	
	perioodi,	
	kuuma tarbevee retsirkulatsiooni juhtimine 3 perioodi.	
Temperatuuri andur	PT 1000 - sukeladnur Ø 5,5 mm, metall osa 28mm.	37 €
	Tööt temperatuuri vahemik -50.....200° C	
	Kaabli pikkus 1,5 m (Saksamaa)	
Päikeseboiler	200 liitrit, kaks spiraal soojusvahetit ning	648 €
OKC 200 NTRR/SOL	elektrilise küttekeha "1 1/4"	
TRAZICE	paigaldamise võimalus	
Päikeseboiler	300 liitrit, kaks spiraalsoojusvahetit ning	708 €
KC 300 NTRR/SOL	elektrilise küttekeha "1 1/4"	
TRAZICE	paigaldamise võimalus	
Isolatsiooni teip	Plastiline isolatsiooni teip. Vahtkummist armeeritud	19, 50 €
	liimikihiga	
	vahtkummist isolatsiooniteip, hoonete termo isolatsiooniks	
	ja tööstuslikuks isolatsiooniks. 3mm- 50 mm- 15 m	
Katte teip	UV-kindel katteteip isolatsiooni katmiseks päikese eest.	18 €
	0,2 mm 50 mm- 50 m	
Jahutusvedelik	Polarterm E ,	38 €
etüleen-glükool	100% kontsentraat 10-l kanister	
Jahutusvedelik-	Polarterm P	44 €
propüleen-glükool	100% kontsentraat 10-l kanister	

Sele 10.2: SOL 15-58-1800 päikesekollektor.



Antud süsteemi puhul, kui arvestada, et 1 ruutmeeter toodab 850 kWh soojusenergiat aastas, oleks soojusenergia toodang aastas 5100kWh aastas.

#### 11.4. PV-paneelide valik

Eesmärgi 50 kWh/(m<sup>2</sup>·a) saavutamiseks tuleks antud hoone katusele paigaldada 64,6 ruutmeetrit [www.päikesepaneelid.ee](http://www.päikesepaneelid.ee) toodete valikust valitud PV- paneele. Nende maksimum võimsus ühe paneeli kohta on 250 vatti. Ühe paneeli pindala on 1,7 ruutmeetrit ning vajaliku 9500 kWh saavutamiseks on vaja paigaldada 38 komplekti. Ühe hind on 235 eurot, seega kogumaksumus oleks 8930 eurot. Paneeli pilt on toodud joonisel sele (10.3):

Sele 10.3 PV- paneel



## 11.5. Lõplik energiatõhususarv pärast soojuskadude optimeerimist ja PV-paneelide paigaldamist.

Hoone lõpliku energiatõhususarvu leidmine valemiga (4.14):

$$\text{Energiatõhususarv} = \frac{0,75 \cdot 15520,429 + 1,5 \cdot 10007,5 - 13500}{267} = 49,213 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$$

Saadud tulemus vastab liginullenergia hoonetele seatud nõuetele.

## 12. TASUVUSARVUTUSED

Kogu renoveerimisele tehtavad väljaminekud on toodud tabelis (11.1)

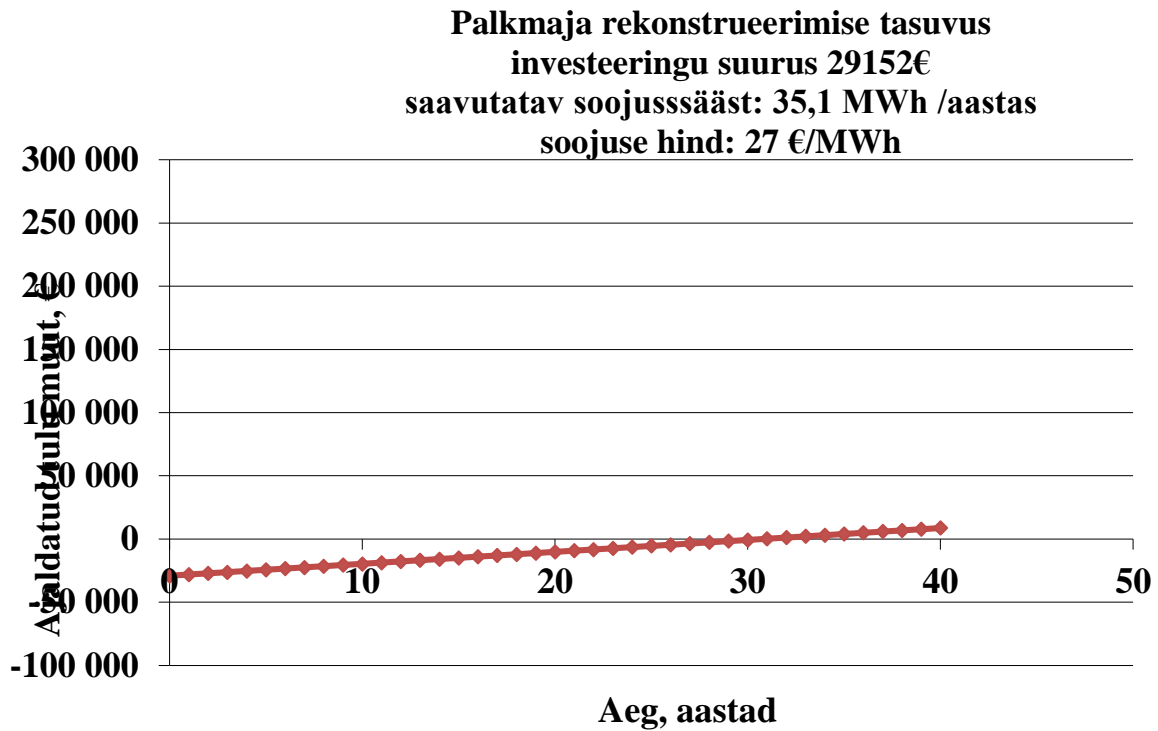
Tabel 11.1 Kulutused liginullenergia hooneks viimisel.

		Kulutused energiatarbe vähendamiseks			
Katuse soojustamine			lisaseadmed		
Kivivill	1948	€	Ventilatsiooni- süsteem	2831,4	€
Välisseinad			Päikesekollektor	5402	€
Kivivill	2050	€	PV-paneelid	5402	€
tuuletõkkeplaat	338,1	€			
välisvoodrilaud	1369	€			
Keldripõrand					
Kuillustik	250	€			
Raudbetoon	870	€			
kivivilla plaadid	354	€			
Tasandus betoon	730	€			
Teise korruse terrassi põrand					
kivivill	50	€			
Materjalid kokku	7959,1	€			
kokku (+35% varu)	29152,575	€			

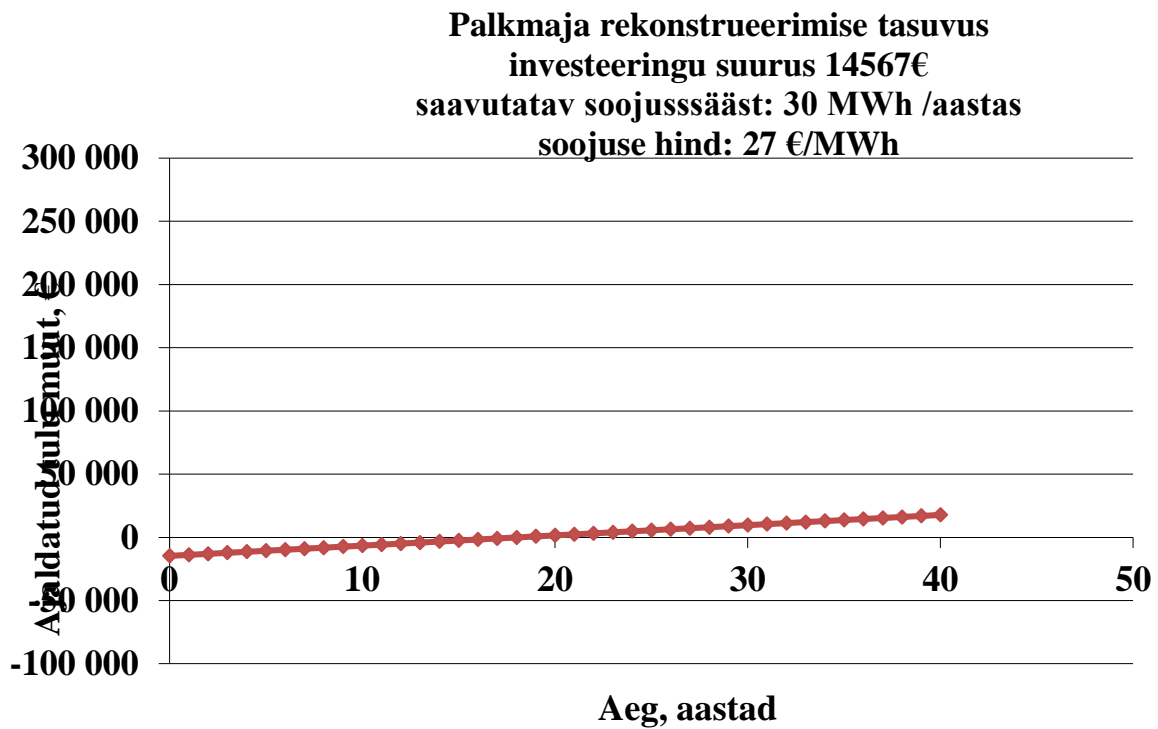
Hoone tarbib aastas umbes 30 ruumimeetrit küttepuid. Kütuse hind on 27 eurot MWh. Pärast rekonstrueerimist on saavutatav soojussääst 30 MWh. Tasuvusaeg on toodud graafikul sele (12.1).

Graafikult (sele 12.1) vaadeldes selgub, et tasuvusaeg on liiga pikk ning liginullenergia hoone kriteeriumite saavutamine ei ole majanduslikult otstarbekas. Kui vähendada kulutusi rekonstrueerimise arvelt jättes paigaldamata päikesepaneelid ning kollektorid, on tasuvusaeg 20 aastat. Jättes päikesepaneelid paigaldamata, jääb hoone energiatõhususarv alla 100 kWh/m<sup>2</sup>·a.

Sele 12.1 Tasuvus 29152 eur suuruse investeeringu juures



Sele 12.2 Tasuvus 14567 eur investeeringu juures.



## KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli analüüsida võimalust viia väikeelamust palkmaja liginullenergia hoone nõuetele vastavaks. Protsessi käigus on leitud arvutuslikud soojuskaod läbi välisseinte, katuse, uste, akende ning ka läbi soojustamata keldri. Soojuskoormused on arvatud ka soojale tarbeveele ning loomulikule ventilatsioonile.

Eesmärgiks seatud liginullenergia hoone energiatõhususarv ei tohi ületada  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  ja olemasoleva ehitise tingimuste kontrollimiseks oligi vaja arvutada hoone aastane energia tarve. Hoone summaarne soojuskadu on arvatud vastavalt standarditele ning kirjandusest võetud valemitega. Soojuskadu kokku on 18247,1 vatti, millest 4481 vatti moodustab kadu ventilatsioonile ja 509 vatti soojale tarbeveele.

Antud tulemusi arvestades on kogu hoone aastane soojatarve 45,8 MWh ning aasta reaalne elektritarve 10 MWh. Kogu köetava pinna, 267 ruutmeetri kohta, on selliste tulemuste juures energiatõhususarv  $185 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

Olukorra parandamiseks tuleb vähendada soojuskadusid läbi konstruktsiooni ning ventilatsiooni. Lahenduseks on valitud soojustusmaterjali lisamine piiretele ning soojustagastusega ventilatsiooni paigaldamine. Välisseintele ehitatakse karkass ning paigaldatakse 400 mm kivivilla, tuuletõkkeplaat, tuulutusvahe ning palgiprofiiliga välisvoodrilaud. Selline lahendus vähendab soojuslähikande tegurit läbi välisseinte üle kaheksa korda.

Katusele paigaldatakse sissepoole lisa soojusisolatsiooni kiht, et vähendada soojuskadu läbi katuse. Kõige mahukam ümberehitus toimub keldri soojustamata põrandaga. Olemasolev betoonpõrand tuleb välja lõhkuda ning asendada uute kihtidega. Selle tulemusel on soojuskaod vähenemine üle 1,3 kW.

Suureks energiasäästlikuks on ka soojustagastusega ventilatsiooniseadme paigaldamine. Sellest tulenev energiasääst on 2 kW.

Pärast rekonstrueerimist oleks energiatõhususarv natukene üle  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , mis aga ei ole piisavalt vähe vastamaks liginullenergia hoone nõuetele. Selle parandamiseks on võimalus paigaldada hoone katusele päikesepaneelid elektritootmiseks ning selle arvelt vähendada elektri netotarvet. Paneelide lisamisega saavutatakse liginullenergia hoonele seatud miinimum nõue  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

Uute seadmete soetamine, paigaldamine, ehitusmaterjalid ja ehitustööde maksumus kokku oleks 29152 eurot. Iga aastane energiatarve ja kulutus küttematerjalile oleks küll oluliselt väiksem, kui varasemalt, aga töö käigus sooritati ka tasuvusarvutus ning antud lahenduse tasuvus on 30 aastat. Lõviosa kogu kulutustest langeb päikeseenergiat kasutavate seadmete soetamisele. Tasuvusaega saab vähendada päikesepaneelidest loobumise arvelt. Sellisel juhul jääks hoone vastama madalenergiahoonetele seatud nõuetele ning rekonstrueerimistööde maksumus oleks 14567 eurot ning tasuvus aeg 20 aastat.

Töö eesmärgiks seatud palkmaja liginullenergia hooneks viimine on teoreetiliselt võimalik, aga kaheldav on selle tasuvus. Probleemi alge peitub hoone talvises kiires jahtumises ja elanike rahulolematuses. Soojuskadude vähendamisega ning uue ventilatsioonisüsteemi paigaldamisega, on võimalik saavutada küllaltki suur energiasääst ja soojuspidavus. Liginullenergia hooneks viimine on suure maksumuse ja pika tasuvusaja tõttu kaheldav.

## SUMMARY

The aim of the present thesis is to analyse the opportunity of transferring private log house into nearly zero-energy building. During the process there has been made the calculations about heat losses through the walls, roof, doors, windows and uninsulated basement. Heat loads to natural ventilation and hot water have been calculated as well.

The main goal is to reduce heatlosses in order to gain energy performance  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . It is needed to calculate yearly energy consumption of the target house and to calculate the energy performance. Total heat losses of the house are  $18247 \text{ W}$  and it also includes ventilation with  $4481 \text{ W}$  and  $509 \text{ W}$  hot water.

In the light of those results annual consumptions have been calculated. The target house consumes  $45,8 \text{ MWh}$  heat power and  $10 \text{ MWh}$  electrical energy. The heated surface is  $267$  square meters and energy performance is  $185 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  which  $135 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  higher than it is needed.

In order to gain the wanted number, it is essential to reduce heat losses through the walls and ventilation. As a solution, insulation materials will be added on the walls and ventilation with heat recovery will be installed. Insulating walls with the rock wool will reduce heat transfer coefficient more than eight times. Also the roof and basement will be reinsulated. New ventilation system gives  $2 \text{ kW}$  energy save.

After renovation the energy performance will be  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , but that is not enough to gain nearly-zero building conditions. It is needed to apply solar panels which helps to reduce neto consumption of electricity.

The cost of the renovation would be  $29152$  euros including materials, building works and devices. Yearly energy consumption and cost to fuel, will be smaller, but the payoff period is  $30$  years. If the solar energy devices will not be installed, the payoff time will be  $20$  years.

The main goal of the thesis is to transfer target house in to a nearly-zero building, would be theoretically possible, but payoff period is too long. Without solarpanels it is possible to create low energy building which have smaller heatlosses compared to current loghouse.



## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Eesti Puitmajaliidu standardid palkehitisele.: Eesti Puitmajaliit, 2011
2. Uniro Group OÜ kodulehekülg [WWW] <http://www.uniro.ee> (14.04.2015)
3. Ecohouse palkmajad OÜ kodulehekülg [WWW] <http://www.ecohouse.ee> (14.04.2015)
4. Sihtasutus KredEx kodulehekülg [WWW]  
[http://www.kredex.ee/public/Uuringud/Madalenergia-\\_ja\\_liginullenergiahoone\\_kavandamine\\_Vaikeelamu.pdf](http://www.kredex.ee/public/Uuringud/Madalenergia-_ja_liginullenergiahoone_kavandamine_Vaikeelamu.pdf) (20.05.2015)
5. Riigi Kinnisvara kodulehekülg [WWW] <http://www.rkas.ee/riigi-kinnisvarast/uudised/valmis-juhendmaterjal-madal-ja-liginullenergiahoonete-rajamiseks> (21.02.2015)
6. T. Muring, J. Hallik, A. Siiner, M. Valge, Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatõhususega hoone ehitamisel.: Tartu Ülikooli Kirjastus, 2009
7. Vuuk Ehitus OÜ kodulehekülg [WWW] <http://www.vuuk.ee/seinasoojustamine.html> (22.02.2015)
8. T.-A. Kõiv, A. Rant, Hoonete küte.: TTÜ Kirjastus, 2012.
9. Hoone soojuskoormuse määramise meetodika. EVS- 839.: Eesti Standardikeskus, 2003.
10. Elumaja Tehniline projekt.
11. Saviikumaja OÜ kodulehekülg [WWW]  
<http://saviikumaja.ee/materjalid/savi/savitellised/savitelliste-tehnilised-andmed> (25.05.2015)
12. Nõuded sisekliimale, kaasa arvatud soojuslik mugavus, siseõhu puhtus, valgustus ja müra. EVS-EN 15251:2007:Eesti Standardikeskus
13. Aknatehas OÜ kodulehekülg [WWW] <http://www.kalesi.ee/akende-soojusisolatsioon-puitaken-vs-PVC-aken.htm>
14. H. Voll, E. Abel, Hoonete energia tarve.: OÜ Presshouse, 2007
15. T.-A. Kõiv, A. Toode, Hoonete soojaveevarustus.:TTÜ Kirjastus, 2010
16. K. Ingermann, Soojusvarustus süsteemid.: TTÜ Kirjastus, 2003.
17. AS Ritsu Kodulehekülg [WWW] <http://ritsu.ee/?id=94> (21.05.2015)
18. AS Regio kaardirakendus [WWW] <http://www.regio.ee> (22.05.2015)
19. Maa-ameti kodulehekülg [WWW] <http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis> (22.05.2015)
20. Климат – Сервис kodulehekülg [WWW]  
[http://klimat.dimzi.com/files/viadrus\\_u22\\_D\\_3.jpg](http://klimat.dimzi.com/files/viadrus_u22_D_3.jpg) (23.05.2015)

21. Soojustuspood OÜ kodulehekülj [WWW] <http://soojustuspood.ee/?cid=482>  
(24.05.2015)
22. Bauhof kodulehekülj [WWW] <http://www.bauhof.ee/kivivill-superrock-50x565x1000-mm.html> (27.05.2015)
23. Ecostock OÜ kodulehekülj [WWW] <http://ecostock.ee/tooted/technolight-extra/>  
(27.05.2015)
24. Ecostock OÜ kodulehekülj [WWW] <http://ecostock.ee/tooted/puitkiud-tuuletokkeplaat> (27.05.2015)
25. Rockwool OÜ kodulehekülj [WWW]  
<http://www.rockwool.ee/tooted+ja+lahendused/u/3184/porandad/pinnasel-asetsevad-porandad->
26. ABC kliima OÜ kodulehekülj [WWW]  
<http://www.abckliima.ee/erakliendile/tooted/group/ventilatsioon/ventagregaadid/koik/vallox-145-se/tehnilised-andmed> (28.05.2015)
27. Globalfund OÜ kodulehekülj <http://xn--pikeseenergia-bfb.eu/et/content/hinnakiri>  
(28.05.2015)
28. [www.paikesekuete.ee](http://www.paikesekuete.ee) kodulehekülj [WWW] <http://www.xn--pikeseekte-v2a4y.ee/>  
(28.05.2015)