



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

Soojustehnika instituut

Soojusenergeetika õppetool

MSE40LT

*Gerda Kuus*

**Kütteallikate võimalikud ühislahendused eramajale ja  
kasvuhoonetele**

Bakalaureusetöö

Autor taotleb  
tehnikateaduse bakalaauruse  
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 prof. Aadu Paist juhendamisel

“.....” .....2015 a.

Töö autor

Gerda Kuus                      allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....” .....2015 a.

Juhendaja

Aadu Paist                      allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” .....2015 a.

..... allkiri

TTÜ soojustehnika instituut

MSE õppetool

## BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE

2015 aasta VI semester

Üliõpilane: Gerda Kuus 120686 (nimi, kood)

Õppekava: MASB-61 (nimetus, kood)

Eriala: Soojusenergeetika

Juhendaja: Professor, Aadu Paist (amet, nimi)

Konsultandid: Dotsent, Aleksandr Hlebnikov, 620 3905 (nimi, amet, telefon)

### BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Kütteallikate võimalikud ühislahendused eramajale ja kasvuhoonetele

(inglise keeles) Possible common solutions of heating sources for private house and greenhouses

### Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Kasvuhoonete üldine kirjeldus	15.04.2015
2.	Kasvuhoonete ja eramaja soojuskadude arvutamine	19.04.2015
3.	Tahkekütusega katel	22.04.2015
4.	Lokaalkatlamaja planeerimine	30.04.2015
5.	Kasvuhoonete kütmise võimalikud lahendused	05.05.2015

### Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud

**probleemid:** Kasvuhoonete ja eramaja soojuskadude arvutamine. Päikesekiirguse mõju kasvuhoonetele. Katla maksimaalse võimsuse arvutamine.

### Täiendavad märkused ja nõuded:

**Töö keel:** eesti keel

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt ..... **Töö esitamise tähtaeg**.....

**Üliõpilane** Gerda Kuus /allkiri/ kuupäev

**Juhendaja** Aadu Paist /allkiri/ kuupäev

## SISUKORD

EESSÕNA .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1 KASVUHOONED .....	8
1.1 Kasvuhoonete ja eramaja soojuskadude arvutamine .....	10
1.1.1 Kasvuhoone soojuskadude arvutamine .....	10
1.1.2 Eramaja soojuskadude arvutamine .....	12
1.1.3 Polükarbonaadiga kasvuhooned .....	14
1.1.4. Klaasi ja polükarbonaadi hinnavõrdlus .....	15
1.2 Tahkekütusekatla ja päikese soojushulga arvutamine kasvuhoonetele .....	16
1.2.1. Maksimaalse võimsuse arvutamine katla valikuks .....	17
2 KÜTTESEADMED .....	19
2.1 Väikekatlad .....	19
2.2 Kamberkolded ja põletid .....	19
2.3 Kollete tööd iseloomustavad näitajad .....	21
2.3.1 Kolde soojusvõimsus .....	21
2.3.2 Liigõhutegur .....	22
2.3.3 Katla kasutegur .....	22
2.4 Tahkekütuse katel .....	23
2.4.1 Kolde tüübid : kiht- ehk restkolded .....	23
2.4.2 Ülemise põlemisega katlad .....	24
2.4.3 Alumise põlemisega katlad .....	24
2.4.4 Alttõmbega ehk pöördleegiga katlad .....	25
2.5 Fossiilkütus, mida võiks kasutada .....	26
2.5.1 Õlikatlad .....	26
3 LOKAALKATLAMAJA PLANEERIMINE .....	27
3.1 Lokaalkatlamaja .....	27
3.2 Lokaalkatlamaja seadmed .....	27
3.2.1 Korsten .....	27
3.2.2 Membraanpaisupaagid .....	29
3.2.3 Akumulatsioonipaak .....	30
3.2.4 Katla segamissõlm .....	31
4 KASVUHOONETE KÜTMISE VÕIMALIKUD LAHENDUSED .....	36
4.1 Puidugraanulküttel õhkküttekatlad .....	36
4.3 Gaasküte .....	36
4.4 VOLCANO tüüpi soojusvahetid .....	37
4.5 Tasakaalustusventiil eramaja projektile .....	38
4.5.1 Katelseadmete ühendamine Volcano süsteemiga .....	38
4.5.1.1 Seguventiil LK 840 ThermoMix .....	38
KOKKUVÕTE .....	40
SUMMARY .....	41
KASUTATUD KIRJANDUS .....	42
Lisad .....	44
Lisa 1. Kolme kasvuhoone klaaside pindala leidmine .....	44

Lisa 2. Soojuskadu läbi pinnasel asuva soojust.amata põranda.....	46
Lisa 3. Pildid kasvuhoonetest ja küttesüsteemi osadest.....	48
Lisa 4. VOLCANO õhkkonvektori parameetrid.....	50

## EESSÕNA

Lõputöö teema sai valitud enda initsiatiivil. Töö koostamine toimus põhiliselt TTÜ raamatukogus ning andmete kogumine FIE Reeli Kuus aiandis. Andmetega ning konsultatsioonidega aitasid lõputöö juhendajad prof. Aadu Paist ning dotsent Aleksandr Hlebnikov.

Lõputöö koostaja soovib tänada juhendajaid Aadu Paistu ning Aleksandr Hlebnikovi, kes aitasid lõpetajat suunata ning koostada lõputöö struktuuri. Tänu läheb veel ka isa, Meelis Kuusile, kellelt saadi abi lõputöö projekti tahkeküttekatla ja nende abiseadmete kohta.

Gerda Kuus

Kanarbiku 6-2, Kangru alevik, Kiili vald, Harjumaa

+372 55 990 820

## **SISSEJUHATUS**

Bakalaureusetöö eesmärgiks on kütteallikate võimalikud ühislahendused eramajale ja kasvuhoonetele.

Elamuehituskrunt asub Harjumaal Tallinnas Mõigu linnaosas aadressiga Lambi 4.

Töö esimeses osas kirjeldab autor kasvuhoonet. Toob välja klaasplastiku ja kihtplastiku (polükarbonaadi) kasutamise võimalused ja nende maksumuste võrdluse. On arvatud kasvuhoonete soojuskaod läbi piirdekonstruktsioonide ja pinnasel asuvate soojustamata põranda. Arvatud on ka soojushulgad kasvuhoonete kütmiseks ja kui palju lisab päike soojust kasvuhoonete küttele. Samuti on arvatud eramaja soojuskaod võttes arvesse ehitusprojektist saadud eramaja andmed.

Töö teises osas on kirjeldatud küttesüsteemi valikut ja üldnõudeid küttekehadele. Projektis on kasutatud tahkekütusekatelt Comfort 100. Tahkekütusekatla seadmetest on tehtud ka täpsem ülevaade.

On vaadeldud erinevaid kasvuhoone kütmise lahendusi: graanulküte, õhkküte, gaas- ja õliküte. Ning valitud on optimaalne kütteleahendus.

# 1 KASVUHOONED

Käesolevas peatükis toob autor välja kasvuhoonete mõiste ja eesmärgi ning tegeleb uute kasvuhoonete küttesüsteemidega. Peatükis on toodud üks näide, kuidas seda võib laiendada ka suurematele kasvuhoonete hulga.

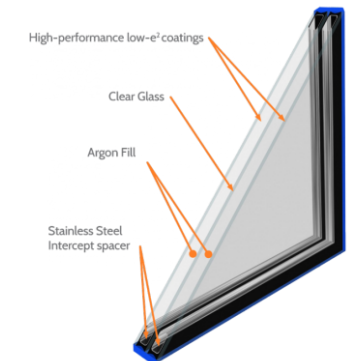
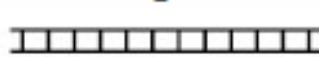
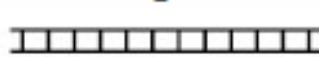
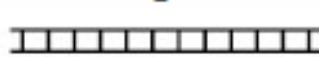
Kasvuhoone on hoone, kus kasvatatakse taimi. [22] Ükski kasvuhoone ei sarnane täpselt teisega isegi siis, kui nad on rajatud samast detailide komplektist. Iga siseruumi lahendus muudab rajatise unikaalseks. Mõnes kasvatatakse aedvilju näiteks tomatit ja kurki, teised pakuvad varju orhideedele ning teistele troopikataimedele, mõned aga begooniatele. [22]

Kasvuhooneid, mida kütab vaid päikese soojus, kasutatakse tavaliselt külmataluvate taimede kasvuperioodi pikendamiseks. Kõetav kasvuhoone on mitmekülgsemalt kasutatav ning selles kasvatatav taimede valik on palju suurem. Kütte-, varjestamis-, tuulutus- ja kastmisseadmete paigaldamisega saab luua õige keskkonna külmaõrnadele taimedele. [22]

Kasvuhoonete tüübid: traditsioonilise sõrestikuga kasvuhoone, vastu maja seina toetuv kasvuhoone, kaartest kasvuhoone, soojust säilitav kasvuhoone, kolmeküljeline kasvuhoone, minikasvuhoone. [22]

Kasvuhoone võib katta kas klaasi või kihtplastiga (polükarbonaadiga), kummalgi on oma tugevad ja nõrgad küljed. Ideaalne kate laseb maksimaalselt läbi valgust ja vähendab soojuskadusid. Kate peab olema ka vastupidav ja töökindel.

Tabel 1.1. Kasvuhoone materjalide klaasi ja polükarbonaadi võrdlus. [22]

Materjal	Klaas	Polükarbonaat				
	 <p>Sele 1.1. Klaasi ristlõige</p>	<table border="1"><thead><tr><th>Paksus mm</th><th>Materjali lõige</th></tr></thead><tbody><tr><td>4, 6, 8, 10</td><td>2 </td></tr></tbody></table> <p>Sele 1.2. Polükarbonaadi lõige</p>	Paksus mm	Materjali lõige	4, 6, 8, 10	2 
Paksus mm	Materjali lõige					
4, 6, 8, 10	2 					



<b>Eelised</b>	<p>Klaas laseb väga hästi valgust läbi, seda ei kahjusta ultraviolettkiirgus ning see kestab kaua. Klaas ei süti ega põle ning paigaldatuna hoiab hästi soojust. Klaasi on saada ka kahe- ja isegi kolmekordsete pakettidena.</p>	<p>Polükarbonaat klaasimismaterjalina on kerge, tugev ja killunemiskindel ning paigaldatuna hoiab sooja paremini kui klaas. Seda tarnitakse lainjate ning kahe- ja kolmekihiliste paneelidena. Lainjas polükarbonaat laseb valgust sama hästi läbi kui klaas, kuid pole hea soojapidavusega. Kolmekihiline (16 mm) polükarbonaat on hea soojapidavusega, ent valguse läbilaskvus on piiratud. Polükarbonaat on löögikindel ja pikaealine. Erinevalt klaasist loob ta hajusvalgust, nii et taimed ei saa kannatada varjude ega põletava päikese tõttu. Kahe- ja kolmekihilised polükarbonaadist katusepaneelid takistavad soojuse äravoolu, ent lasevad hästi valgust läbi.</p>
<b>Puudused</b>	<p>Ühekihiline soojusisolatsioonita klaas takistab soojavoogu vähe. Ohutuse suurendamiseks soovitatakse kasutada karastatud klaasi, mis ei purune suurteks teravateks kildudeks, vaid väikesteks, ümmargusteks tükkideks. Kuigi klaas laseb hästi valgust läbi, on see otsene valgus kalk ja võib taimi põletada, isoleeritud klaas aga võib olla kallis.</p>	<p>Polükarbonaat kriimustub kergesti ning kahe- ja kolmekihilised paneelid vähendavad läbiva valguse hulka. Nii nagu muidki plastpindu, kahjustab kondensaat ka polükarbonaati, kuid seda saab vältida pinna katmisega isoleeriva kihiga. Nii nagu klaas, võib ka polükarbonaat olla kallis, eriti kihilised paneelid.</p>

Kuna küttesüsteem on nüüd väljaehitatud on plaanis uuendada kasvuhoonete kattematerjali. Kas kasutada klaasi või polükarbonaati, kattematerjalina. Töös ongi arvatud kasvuhoonete soojuskadu klaasiga kui ka uue kattematerjali polükarbonaadiga. Nagu tabelist näha on, siis polükarbonaadiga kasvuhoonete soojuskadu on väiksem kui klaasi korral.

Põhjus miks vahetada välja muldpõrand betoonpõranda vastu on see, et taimede kastmine ja kondensatsioonvesi võivad kiiresti tekitada kasvuhoones mudakihi, kus hakkab vohama umbrohi, võivad levida haigused ja kahjurid. [22]

## 1.1 Kasvuhoonete ja eramaja soojuskadude arvutamine

### 1.1.1 Kasvuhoone soojuskadude arvutamine

Kasvuhoonete soojuskadu arvutatakse järgneva valemiga:

$$Q = k * \Delta t * F_{kl} \quad (1.1)$$

kus  $Q$ - soojuskadu, W,

$k$ - soojuslähikandetegur, W/(m<sup>2</sup>K),

$F_{kl}$ - klaaside pindala, m<sup>2</sup>,

$\Delta t = (t_{v1} - t_{v2})$ - kasvuhoone sise- ja välistemperatuuride vahe, °K,

Soojuskaod väljaarvutamiseks tuleb eraldi arvutada soojuslähikandetegur. Mida efektiivsem on soojusisolatsioon ja väiksem üldine soojuslähikandetegur, seda väiksem on suhteline soojuskadu. [7] Näiteks 3 mm klaasile tuleb soojuslähikandetegur selline:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\partial_{kl}}{\lambda_{kl}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [14] \quad (1.2)$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,003}{0,745} + \frac{1}{15}} = 5,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

kus  $\alpha_1$ - soojusülekanndetegur,  $\alpha_1 = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , [21]

$\alpha_2$ - soojusülekanndetegur,  $\alpha_2 = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , [21]

$\partial_{kl}$ - klaasi paksus,  $\partial_{kl} = 0,003 \text{ m}$ ,

$\lambda_{kI}$ -materjali (klaasi) soojusjuhtivustegur,  $\lambda_{kI}=0,745$  W/(mK), [7]

Tabel 1.2. Polükarbonaadi ja klaasi võrdlustabel. [17]

Materjali paksus	Polükarbonaat	Klaas
	Valguse läbilaskvus / soojuslähikandegur LT % /W/m <sup>2</sup> K	Valguse läbilaskvus/ soojuslähikandegur LT % / W/m <sup>2</sup> K
4 mm	79 % / 4.1	89 % / 5.8
6 mm	77 % / 3.7	88 % / 5.7
8 mm	79 % / 3.6	86 % / 5.7

Tabel 1.2. on näha, et klaasi valguse läbilaskvuse % on suurem kui polükarbonaadil. Seda seetõttu, et klaasist läheb valgus otse läbi, kuid polükarbonaat hajutab valgust. Tabelis on toodud ka polükarbonaadi ja klaasi soojuslähikandegurid- vastavalt nendele andmetele saab autor arvutada mõlema materjali soojuskaod kasvuhoonetele.

Tabel 1.3. Klaasi ja soojustamata pinnase soojuskaod kolmele kasvuhoonetele

tvälisõhk	tsiseõhk	Q <sub>s.k</sub> *	Q <sub>k.k</sub> *	Q <sub>v.k</sub> *
-10	18	19135,77	16054,95	14583,96
-5	18	15718,67	13187,99	11979,68
0	18	12301,57	10321,04	9375,40
5	18	8884,46	7454,08	6771,12
10	18	5467,36	4587,13	4166,85

\*Q<sub>s.k</sub>- suur kasvuhooone klaasiga, Q<sub>k.k</sub>- keskmine kasvuhooone klaasiga, Q<sub>v.k</sub>- väike kasvuhooone klaasiga, W.

Tabel 1.3. on esitatud soojuskaod klaaskasvuhooonele, soojustamata pinnasele ja vundamendile. Soojuskaod kasvuhooone soojustamata maapinnale vt. Lisa 2.

## 1.1.2 Eramaja soojuskadude arvutamine

Tabel 1.4. Eramaja soojuskadude arvutus.

Piire	Pindala [m <sup>2</sup> ]	U <sub>arv</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]	H=U*A [W/K]
Aknad	40,25	2,21	88,97
Uksed	6,00	2,40	14,40
Seinad	118,25	0,49	58,21
Katus	35,25	0,19	6,80
Põrand	137,5	0,28	38,50
		<b>Kokku</b>	<b>206,88</b>

Hoone kubatuur on 1766 m<sup>3</sup>.

Eeldame, et seinte ja lagede osakaal on 15% kubatuurist, seega oleks hoone nn. puhas kubatuur

$$1766 * 0,85 = 883 \text{ m}^3$$

Kui õhuvahetuse kordarv on 0,5, siis õhu vooluhulk on

$$0,5 * 883 = 441,5 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 441,5 / 3600 = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

Õhu soojendamise erisoojusvõimsus on

$$1000 * 1,2 * 0,12 = 147,17 \text{ W/K}$$

Hoone erisoojuskadu on

$$206,88 + 147,17 = 498,42 \text{ W/K}$$

Hoone arvutusliku soojuskoormuse saab arvutada järgmise valemiga:

$$Q = H * (t_s - t_v) \text{ W [21]} \quad (1.3)$$

kus  $H$ - hoone erisoojuskadu, W/K,

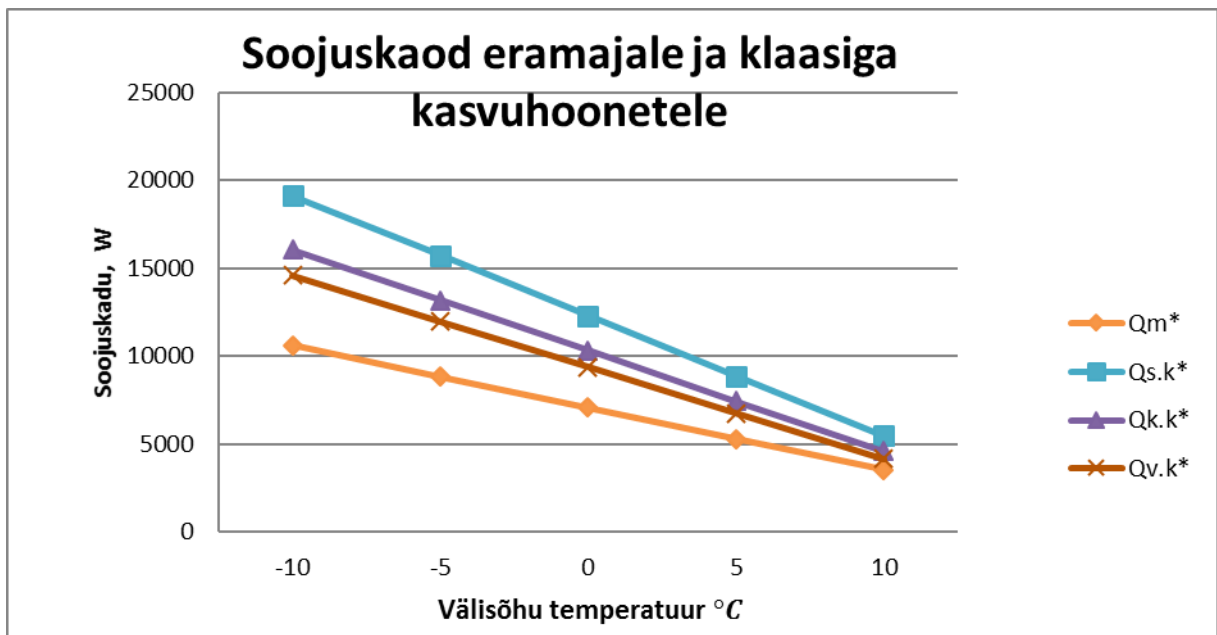
$t_s$ - ruumiõhu arvutuslik temperatuur, °C,

$t_v$ - kütte arvutuslik välisõhu temperatuur, °C.

Tabel 1.5. Eramaja soojuskadude arvutused.

t <sub>välisõhk</sub>	t <sub>siseõhk</sub>	Q <sub>m</sub> *
-20	20	14161,76
-15	20	12391,54
-10	20	10621,32
-5	20	8851,10
0	20	7080,88
5	20	5310,66
10	20	3540,44

\*Q<sub>m</sub>- eramaja soojuskadu, W.



Sele 1.3. Soojuskadu eramajale ja klaasiga kasvuhoonetele. \*Q<sub>m</sub>- eramaja soojuskadu, Q<sub>s.k</sub>- suur kasvuhoone klaasiga, Q<sub>k.k</sub>- keskmine kasvuhoone klaasiga, Q<sub>v.k</sub>- väike kasvuhoone klaasiga.

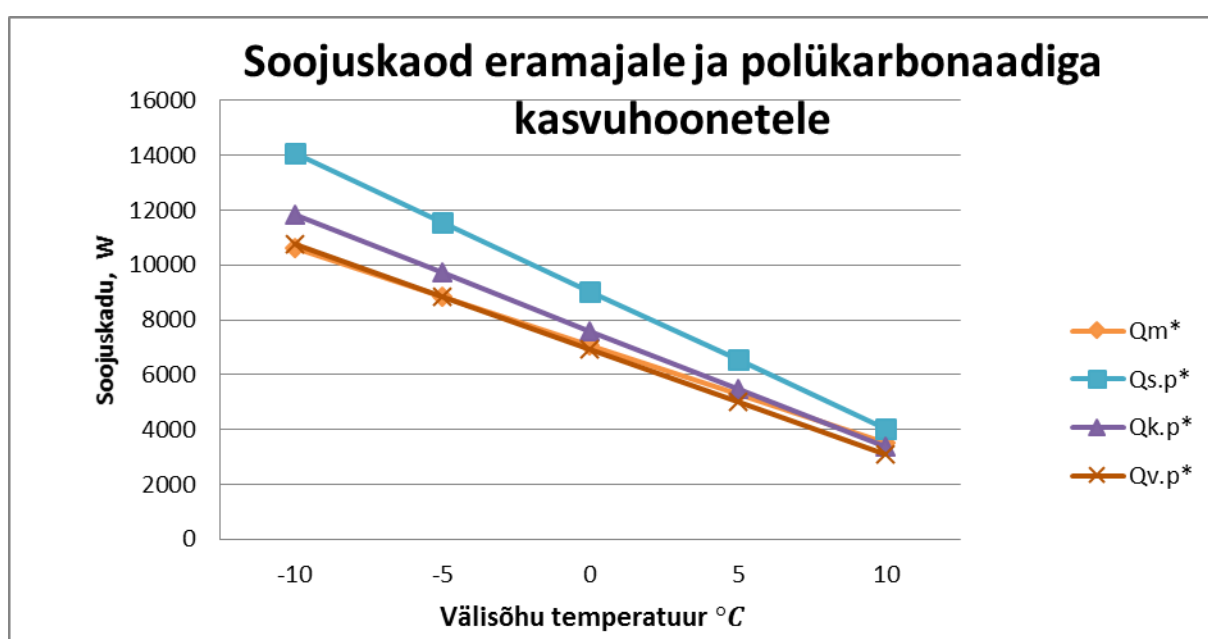
Sele 1.3. on näha, et temperatuurivahemikus -10 kuni +10 on soojuskadud suuremad kasvuhoonetel, sest kasvuhooned on klaasist ja soojustamata.

### 1.1.3 Polükarbonaadiga kasvuhooned

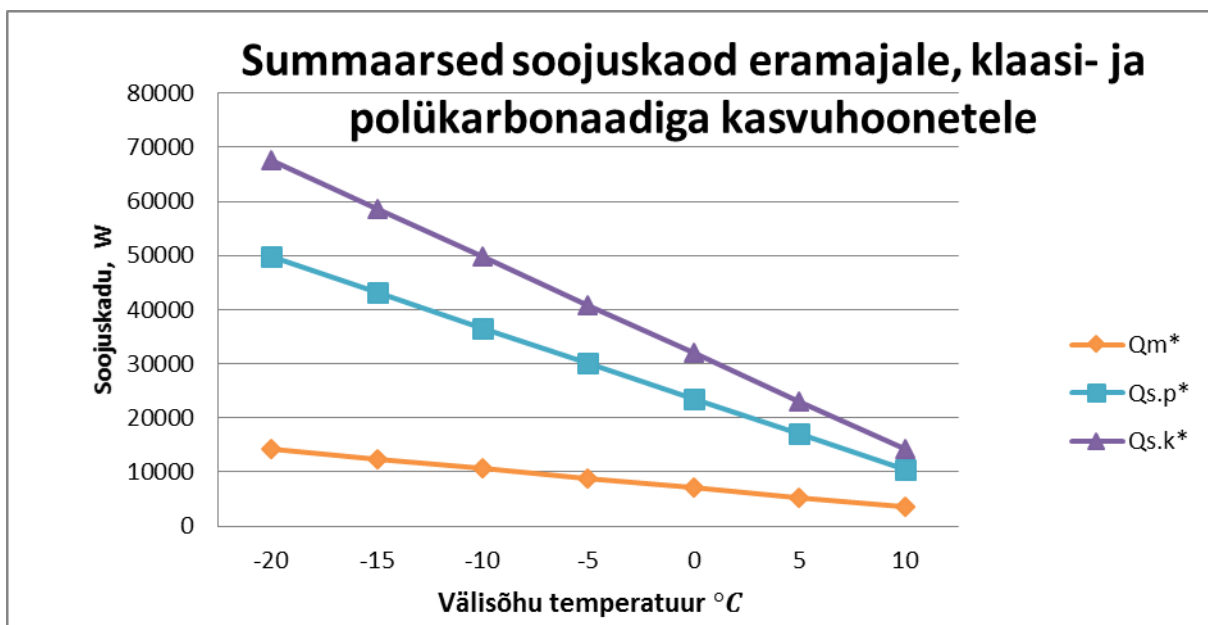
Tabel 1.6. Polükarbonaadi ja soojustamata pinnase soojuskaod kolmele kasvuhoonele.

tvälisõhk	tsiseõhk	Q <sub>s.p</sub> *	Q <sub>k.p</sub> *	Q <sub>v.p</sub> *
-10	18	14074,27	11821,35	10759,16
-5	18	11561,00	9710,39	8837,88
0	18	9047,74	7599,44	6916,60
5	18	6534,48	5488,48	4995,32
10	18	4021,22	3377,53	3074,05

\*Q<sub>s.p</sub>- suur kasvuhoone polükarbonaadiga, Q<sub>k.p</sub>- keskmine kasvuhoone polükarbonaadiga, Q<sub>v.p</sub>- väike kasvuhoone polükarbonaadiga.



Sele 1.4. Soojuskadu eramajale ja polükarbonaadiga kasvuhoonetele. \*Q<sub>m</sub>- eramaja soojuskadu, Q<sub>s.p</sub>- suur kasvuhoone polükarbonaadiga, Q<sub>k.p</sub>- keskmine kasvuhoone polükarbonaadiga, Q<sub>v.p</sub>- väike kasvuhoone polükarbonaadiga.



Sele 1.5. Summaarsed soojuskadud eramajale, klaasiga- ja polükarbonaadiga kasvuhoonetele. \*Q<sub>m</sub>- eramaja soojuskadu, Q<sub>s.k</sub>- kolme kasvuhuone summaarne soojuskadu klaasiga, Q<sub>s.p</sub>- kolme kasvuhuone summaarne soojuskadu polükarbonaadiga.

Sele 1.5. on näha, et klaasi vahetamisel polükarbonaadi vastu vähenevad soojuskadud pea 1,4 x. Põhjuseks ongi selles, et polükarbonaat on suurema soojapidavusega kui seda on klaas.

### 1.1.4. Klaasi ja polükarbonaadi hinnavõrdlus

Tabel 1.7. Klaasi ja polükarbonaadi hinnavõrdlus.

Materjal	Materjali hind EUR/m <sup>2</sup>	Kasvuhuone pindala*hind EUR	Maksumus EUR
<b>6 mm polükarbonaat</b>	7,14	Suur: 54,7*7,14=390,70  Keskmine: 48*7,14=342,72  Väike: 41*7,14=292,74	Suur: 390,7+661,1=1051,7  Keskmine: 342,72+533,12=875,8 0  Väike: 292,74+502,66=795,4

<b>8 mm polükarbonaat</b>	9,52	Suur: $69,4 \cdot 9,52 = 661,07$  Keskmine: $56 \cdot 9,52 = 533,12$  Väike: $52,8 \cdot 9,52 = 502,65$	<b>Kokku: 2723 €</b>
<b>3 mm klaas</b>	10,61	Suur: $124,16 \cdot 10,61 = 1317,3$  Keskmine: $104 \cdot 10,61 = 1103,4$  Väike: $93,8 \cdot 10,61 = 995,2$	<b>Kokku: 3415 €</b>

Tabelis 1.7. on näha, et klaasi maksumus kolme kasvuhoone peale tuleb suurem kui polükarbonaadiga. Esmamuljel võib tunduda, et polükarbonaadi hind tuleb kallim, kuna tal on paremad omadused materjalina- ta on kerge, tugev, killunemiskindel ja hoiab paremini sooja.

Polükarbonaadi katuse paksuseks valis autor 8 mm ja seinte paksuseks 6 mm, sest sellel on suurem kandevõime, mis kannatab lumeraskust. Löögikindlus polükarbonaadil on klaasist 200 korda suurem ja järjekult on ta purunemiskindlam. Polükarbonaat kaitseb tugeva ultraviolettkiirguse eest ja on hea müraisolatsiooniga ning tal on suhteliselt madal hind võrreldes klaasiga.

## 1.2 Tahkekütusekatla ja päikese soojushulga arvutamine kasvuhoonetele

Kasvuhoonete soojushulk arvutatakse järgneva valemiga:

$$Q_T = KRT \cdot \sum A_i \cdot U_i \cdot 10^{-6} - Q_{\text{päike}}, \text{ MWh}, [14] \quad (1.4)$$

kus  $Q_T$ - katlast saadav soojushulk, MWh,

$Q_{\text{päike}}$ - soojushulk päikeselt, MWh, [27]

$KRT$ - kütteperioodi arvutuslik kraadtundide arv, °C·h,

$A_i$ - piirdetarindi elementide pindala, m<sup>2</sup>,



$U_i$ - piirdetarindi elementide soojuslähikandetegur ( $U_{arv}$ ),  $W/m^2K$ .

Kasvuhoonete kütmist arvestatakse veebruarist kuni mai 1. nädalani. Vastavalt sellele on autor teinud ka arvutused, arvestades vaid nende kuude kraadpäevadega.

Tabel 1.8. Katla kui ka päikese soojushulk kolmele kasvuhoonele

Kuu	Päikese		Suur kasvuhoone			Keskmine kasvuhoone		Väike kasvuhoone	
	soojushulk MWh		MWh			MWh		MWh	
	$Q_{päike}$	$Q_T$	$Q_T - Q_{päike}$	$Q_T$	$Q_T - Q_{päike}$	$Q_T$	$Q_T - Q_{päike}$		
Veebruar	0,334	3,866	3,532	3,248	2,914	2,967	2,633		
Märts	0,899	3,803	2,904	3,195	2,296	2,919	2,020		
Aprill	1,252	2,906	1,654	2,441	1,190	2,230	0,979		
Mai(1.nädal)	1,562	0,467	-1,095	0,392	-1,170	0,359	-1,204		

$Q_T$  on soojushulk, mida peab tahkekütusekatel igal juhul tagama kui päikese soojushulka arvesse ei võeta. Tabelis 1.8. on näha, et mai 1.nädalal ületab päikesekiirgus vajaliku soojushulga, kuid siin tuleb silmas pidada seda, et päikesekiirgus ei ole ühtlane ja võib olla päevi ja tunde, kus sellist olukorda ei teki ja kasvuhooneid tuleb ikkagi kütta. Öisel ajal tuleb kasvuhooneid igal juhul kütta, sest muidu temperatuur langeb, kuna kasvuhooned pole spetsiaalselt soojustatud.

### 1.2.1. Maksimaalse võimsuse arvutamine katla valikuks

$$Q_{MAX} = \sum A_i * U_i * 10^{-6} * \Delta t, \text{ MW, [14]} \quad (1.5)$$

kus  $Q_{MAX}$ - Maksimaalne võimsus katlale, MW,

$KRT$ - kütteperioodi arvutuslik kraadtundide arv,  $^{\circ}C \cdot h$ ,

$A_i$ - piirdetarindi elemendi pindala,  $m^2$ ,

$U_i$ - piirdetarindi elemendi soojuslähikandetegur ( $U_{arv}$ ),  $W/m^2K$ .

$\Delta t = (t_{v1} - t_{v2})$ - kasvuhoone sise- ja välistemperatuur vahe,  $^{\circ}K$ .

Tabel 1.9. Arvutuslik maksimaalne võimsus, mille järgi valitakse katel.

		Suur kasvuhoone	Keskmine kasvuhoone	Väike kasvuhoone	Eramaja	Katla arvutuslik võimsus
$t_{v0}$	$t_{kasvuhoone}$	$Q_{max, kW}$	$Q_{max, kW}$	$Q_{max, kW}$	$Q_{max, kW, (tsiseõhk 20)}$	$kW$
-10	18	8,921	7,495	6,848	10,621	33,884
$t_{v0}$ .arvutuslik	$t_{kasvuhoone}$					
-21	18	12,426	10,439	9,538	14,161	46,564

Autor valis kütteks tahkekütusekatla väljundvõimsusega 100 kW. Esimene otsus oli sellepärast, et puitbrikett on küllalt odav kütus. Põhjus, miks valiti just 100 kW on tingitud sellest, et tulevikus plaanitakse kasvuhoonete kubatuuri suurendada ja üks kasvuhooone juurde ehitada. Eelnevatest arvutustest on ka näha, et selline võimsus sobib nii kasvuhoonete kui ka eramaja kütmiseks.

## 2 KÜTTESEADMED

### 2.1 Väikekatlad

Väikekatelt kasutatakse kütteks ja sooja tarbevee valmistamiseks ning nende väljundvõimsus võib ulatuda 300-500 kW. Lokaalkatlamajades kasutatakse üldjuhul nn. väikekatlaid. [1]

Nõuded väikekateldele on:

- odavus,
- töökindlus,
- universaalsus tarvitavate kütuste osas,
- võimalikult kõrge kasutegur (efektiivsus).

Soojuse saamiseks kasutatakse kütuse keemilist energiat, elektrienergiat ja päikeseenergiat. Tänapäeval kasutatakse kõige rohkem põlevmaavarasid ja taastuvaid kütuseid ning nende töötlemise saadusi. [1]

Katla koldes toimub kütuse põlemine. Kütuse põlemisel vabanev soojus kandub koldes põlemisproduktidelt läbi metallist küttepinna veele. Kolded jaotatakse kamberkolleteks ja kiht- ehk restkolleteks. [1]

Tahkel kütusel töötavad väikekatlad on varustatud enamasti kiht- ehk restkolletega. [1]

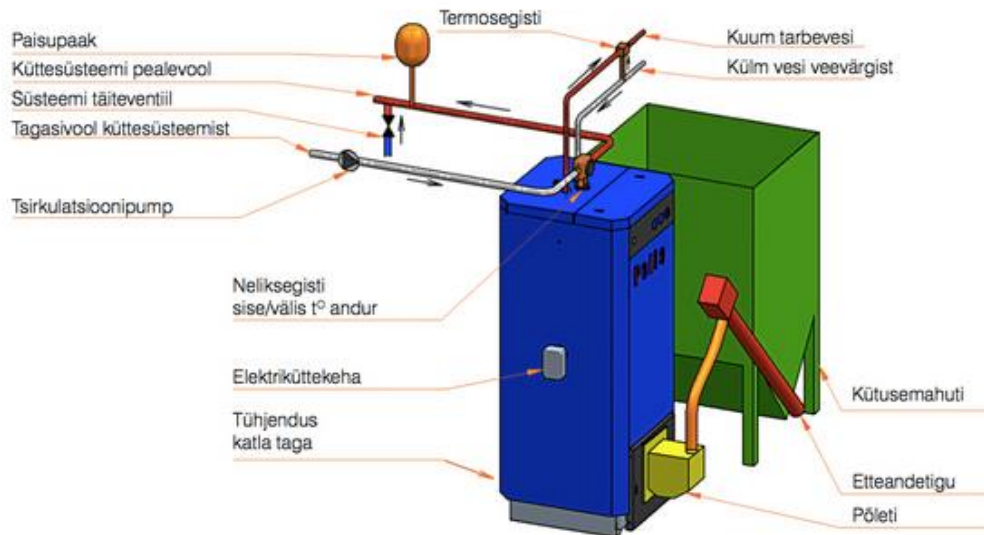
### 2.2 Kamberkolded ja põletid

Kamberkolletes toimub kütuse põlemine kolde mahus- kolderest ja kütusekiht puuduvad. Seal põletatakse nii gaasilisi-, vedelkütuseid ja puidupelletideid. Puidupelletite puhul toimub koksi põlemine põleti restil ja lendosade põlemine mahus. [1]

Eestis toodetav kamberkoldega väikekatlaks on pelletikatel Pelle. See on välja töötatud TTÜ soojustehnika instituudis koostöös AS-iga Viljandi Metall. Katel Pelle töötab nii puitpelletitel kui ka kergel kütteõlil või küttegaasi põletiga. [1]

Pelletiga köetavad katlad on laia levikuga. Pelletid ehk puidugraanulid on looduslik kütus, mida valmistatakse saepurust kokkupressimise teel kõrge rõhu all silindrikujulisteks pelletiteks. Pelleti läbimõõt on tavaliselt 6-8 mm, niiskus 8-10% ning kütteväärtus 4,6-5,0

MWh/t. Nende osakaal kodumaise soojusallikana on Eesti küttemajanduses viimastel aastatel kasvanud. Põhjuseks on see, et pelletid on taastuvad, loodussõbralikud, ökonoomsed energiallikad ja põlemisprotsessis eralduva süsinikdioksiidi kasutavad metsad ära kasvatamiseks. [20]



Sele 2.1. Pelletikatla ühendusskeem. [6]

Olemasolevate katelde õli- või gaasipõleti asendamisel pelletipõletiga tuleb katla tüübist ja põlemiskambri kujust valida põleti tüüp. Samuti on vajaliku ja stabiilse alarõhu tagamiseks väikekateldel vajalik paigaldada alarõhu klapp suitsukäiku. Suurematel kateldel lahendatakse see küsimus kombineeritult nii korstna parameetrite kui ka väljatõmbesüsteemiga. [1]

Pelletipõletite liigitus etteande süsteemi järgi: kütuse ülemise, horisontaalse ja alumise etteandega.

Kütuse ülemise ettandega põleti on kõige kergema konstruktsiooniga pelletipõleti, sest seal puudub seesmine etteandetigu. Graanulid langevad otse restile mööda etteandetoru ja seda tüüpi põleti eeldab kvaliteetse kütuse kasutamist. [1]



Sele 2.2. 86 kW põleti Atmos A85. [10]

Horisontaalse etteandega põleti konstruktsioon on keerulisem kui ülemise etteandega põletil. Kütuse horisontaalse etteandega põletil on korpus horisontaalselt asetsev seesmine tigu, mis lükkab pelletid põlemisrestile. Ei ole nii tundlik kütuse kvaliteedi suhtes. [1]



Sele 2.3. 20 kW PV Compact [26]

Alumise etteandega põletil suunatakse kütus horisontaalse kruvi abil läbi pöördkambri põlemisepeale. Sellel tekib kütusekiht ja ärapõlenud tuhk langeb põleti äärtelt maha ning keskelt tuleb uus kütus sisse. Saab põletada ka suurema tuhasisaldusega pelleteid, ilma et rest ummistuks. [1]



Sele 2.4. Rootsi päritolu EcoTec Bioline 20. [28]

## 2.3 Kollete tööd iseloomustavad näitajad

Kolle on katelseadme osa, kus toimub kütuse põlemine. Kui vabaneb soojus kandub see põlemisproduktidelt läbi metallist küttepindade veele. Küttepinnad on valmistatud terasest või malmist. Põlemisproduktidelt kandub soojus küttepinna välispinnale kiirguse ja konvektsiooni teel. Koldes on kiirguse osa üle 90%. [1]

### 2.3.1 Kolde soojusvõimsus

On kütuse põlemisel ajaühikus eralduv soojushulk kW:

$$Q_{\text{kolle}} = B \cdot Q_a^t, \quad (2.1)$$

kus  $B$  - kütusekulu kg/s,

$Q_a^t$  - kütuse tarbimisaine alumine kütteväärtus kJ/kg.

### 2.3.2 Liigõhutegur

Liigõhutegur mõjutab katla soojuskadu. Liigõhutegur  $\alpha$  on tegeliku ja teoreetilise õhuhulga suhe. Liigõhuteguri suurus mõjutab soojuskadu lahkuvate gaasidega.

$$\alpha = \frac{\text{tegelik\_õhukulu}}{\text{teoreetiliselt\_vajalik\_õhukulu}} \approx \frac{21}{21 - O_2} \quad (2.2)$$

### 2.3.3 Katla kasutegur

#### Otsene bilanss

Otsese bilansi järgi on katla kasutegur arvutatav järgmiselt:

$$\eta_k = \frac{100 * Q_{kas}}{B * Q_a^t}, \quad (2.3)$$

kus  $Q_{kas}$  - kasulikult kasutatav soojushulk kJ/kg,

$Q_a^t$  - kütusega koldesse antud soojushulk kJ/kg,

$B$  - kütuse kulu kg/s.

$$Q_{kas} = G(h_2 - h_1), \quad (2.4)$$

kus  $G$  - katelt läbiv vooluhul kg/s,

$h_1$  - katlasse siseneva vee entalpia kJ/kg,

$h_2$  - katlast väljuva vee entalpia kJ/kg. [4]

#### Kaudne bilanss

Kaudse bilansi meetodil katla kasutegur on antud järgmiselt:

$$\eta_k = 1 - q_A - q_U - q_S - q_B, \quad (2.5)$$

kus  $q_A$  - soojuskadu katlast lahkuva põlemisgaasiga,

$q_U$  - soojuskadu mittetäielikust põlemisest,

$q_S$  - soojuskadu katla välisjahtumisest kiirguse ja konvektsiooni teel,

$q_B$ - soojuskadu tuha füüsikalise soojusega. [7]

## 2.4 Tahkekütuse katel

Teraskatel Comfort 100 on valmistatud kvaliteetsest terasest, mistõttu iseloomustab katelt pikk eluiga. Katelt köetakse tahkekütusega, kas puitbriketi või puudega. Katelt on lihtne puhastada ning põlemiskambri kuju ja mõõtmed võimaldavad saavutada suurt võimsust ja tagada põlemisel minimaalse tahkete ainete jäägi. Autori projektis olev tahkekütusekatel toimib ülemise põlemisega. Katel valiti sobivate mõõtmete ja 100kW küttevõimsuse pärast.



Sele 2.5. Tahkekütuse katel Comfort 100.

### 2.4.1 Kolde tüübid : kiht- ehk restkolded

Väga tihti varustatakse tahkel kütusel töötavad katlad enamasti kiht ehk restkolletega. Resti konstruktsioon sõltub kütuse tuhasisaldusest, niiskusest, lendosasisaldusest ja katla konstruktsioonist. Kütus on enamasti restil vabalt. Kihtkolde iseloomulikuks jooneks on kütusekihi olemasolu, mis puhutakse kütusekihti resti alt, milleks on primaarõhk ja resti kohale, milles on sekundaarõhk. Kolderesti ülesandeks on toetada põlevat kütusekihti ja ühtlustada kihi alla suunatud põlemisõhku. [1]

Restkolletega katlaid jaotatakse järgmiselt:

- ülemise põlemisega katlad,
- alumise põlemisega katlad,
- alttõmbega katlad

## 2.4.2 Ülemise põlemisega katlad

Ülemise põlemisega katelde puhul põletatakse koldes lendosavaeseid kütuseid. Samas koldekambris toimub nii kütuse termiline lagunemine ja tekkivate gaasiliste ja tahkete põlemisproduktide põlemine. Kolde seintel vabaneb suur osa eralduvast soojusest. Kuna on lendosade rikas kütus, siis kütuse kohale jäetakse ruumi, et lendosad saaksid ära põleda. Katel varustatakse primaarõhuavaga, kus põlemisõhk juhitakse koldesse suuremas osas alt, läbi kolderesti. Samuti on olemas ka sekundaarõhuava, kui õhk suunatakse kütuse kihi kohale, et toimuks lendaosade täielik põlemine. [1][23]



Sele 2.6. Ülemise põlemisega katel. [26]

## 2.4.3 Alumise põlemisega katlad

Alumise põlemisega katelde puhul ei suundu leegid mitte ülesse, vaid kas sütekihhist otse alla või alla küljele ja põlemisest võtab osa vaid puude alumine kiht.[23] Resti läheduses kütus gaasistub ja tekkinud lendosad põlevad lõpuni täiteruumiga külgnevas põlemiskambris, kuhu juhitakse sekundaarõhk, et toimuks järelpõlemine. [1] Altpõlemise puhul süte peal asuvad puukihid on kütusevaruks, mis põledes allapoole libisevad ja see võimaldab peaaegu ühtlase põlemisprotsessi. Suurem kütusevaru võimaldab kasutamismugavust, sest ei pea pidevalt puid juurde lisama. Kütuse ärapõlemine võib mõnede halupuukatelde puhul kesta 5 tundi või isegi rohkem. [23]





Sele 2.7. Alumise põlemisega katel. [16]

#### 2.4.4 Alttõmbega ehk pöördleegiga katlad

Alttõmbega katlaid kasutatakse tahkekütusekateldes. Eestis tuntakse puugaasikatelde nime all alttõmbega katlaid. Koldes toimub lendosade eraldumine ja järelpõlemiskambris tekkinud lendosa põlemine. Alttõmbega katla korral suunatakse lendosa läbi põlemist stabiliseeriva keraamilise resti. Sekundaarõhk suunatakse resti sisemusse või alumisse põlemistsooni. Lendosa põleb lõplikult kõrgetel temperatuuridel. Kütusena on kasutusel kuivad halupuud või puitbriketid. Kasutegur ületab alttõmbega kateldel 90%. [1][6]



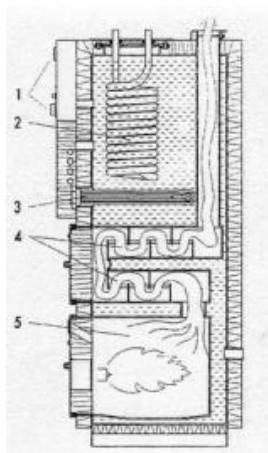
Sele 2.8. Alttõmbega ehk pöördleegiga katel. [16]

## 2.5 Fossiilkütus, mida võiks kasutada

### 2.5.1 Õlikatlad

Õli on kõrge kütteväärtusga mobiilne kütus. Teiste kütustega võrreldes on õli kütteväärtus kõrge. Kerge kütteõli leiab kasutust eeskätt just väiketarbijate juures. Kerge kütteõli alumine kütteväärtus on piirides 11,4-11,9 MWh/t. Katlad on põhimõtteliselt sarnased maagaasil töötavate kateldegaga, kuid vajavad teist tüüpi põleteid. [1]

Suurema põlemispinna saamiseks pihustatakse vedelkütus põletites peenteks piiskadeks ja see segatakse õhuga. Et põlemine toimuks hästi on oluline õige õhuhulk ja õli hea segunemine õhuga. Põlemisprotsess toimub kiiresti, sest kerge kütteõli põleb jäägitult. Põlemisel vabanev soojus õliküttekateldes antakse katla küttepindadelt üle katlas ringlevale veele. [14]



Sele 2.9. Õliküttekatel: 1-juhtiispaneel, 2-tarbeveespiraal, 3-elektriline küttekeha, 4-suitsukäigud, 5-kolle. [3]

## **3 LOKAALKATLAMAJA PLANEERIMINE**

### **3.1 Lokaalkatlamaja**

Lokaalkatlamaja on laialdaselt levinud soojusvarustamise viis. See põhineb hoone katlamajal, kuid vahest köetakse sama katlaga mitut hoonet. Lokaalkatlamaja seadmestiku eesmärgiks on ehitiste kütmine ja tarbevee soojendamise. Selle käigus kütuse keemiline energia muudetakse soojuseks ja see kantakse mööda torusid üle soojust tarbivale objektile.

Lokaalkatlamaja objektid on: kütteseade ehk katel, korsten suitsugaaside ärajuhtimiseks, kütuseladu ning soojuse jaotamise ja reguleerimise seadmed. [2]

Lokaalkatlamaja kütusena kasutatakse: halupuitu, puidubriketti, kergest kütteõli ja puidupelleid. [2]

### **3.2 Lokaalkatlamaja seadmed**

Lokaalkatlamaja katla juurde valitakse sobivad abiseadmed, et oleks tagatud pidev soojuse tootmine ja selle reguleerimine. Põhiseadmete hulka kuuluvad: katel, soojussalvesti, katla segamissõlm, küttesüsteemi segamissõlm, membraanpaisupaak, ohutus- ja reguleerimisseadmed (kaitseklapp, termomeetrid, manomeeter) ja kütteautomaatika. [1]

#### **3.2.1 Korsten**

Korstna põhiülesanne algselt oli tekitada loomulikku tõmmet, et põlemisgaase katlast eemaldada ja põlemisõhku koldesse imeda. Praegustes kateldes kasutatakse mehhaanilist tõmmet ja korstna põhiülesandeks on põlemisgaasi hajutamine atmosfääri. [1] Õhu saastet vähendatakse küllaltki kõrgete korstnate ehitamisega, et lendtuhk ja mürgised gaasid kanduksid ning sadeneksid suurele maa-alale hajutatult, mis vähendab nende toimet. [24]

Korsten projekteeritakse nii, et oleks tagatud piisav tõmme, ohutus, kasutusiga ja tugevus. Kütteseadmest ja korstnast moodustatakse koos tegutsev tervik ehk küttesüsteem. Korstnad koosnevad erinevatest osadest, mida võib projekteerida ja monteerida kas moodulkorstnatena või eritellimusel ehitatud korstnatena. [15]

Suitsukorstna vundament ehitatakse mittepõlevale alusele lähtuvalt kõigist korstnast tulenevatele koormustele. Korsten, mis on alla 50 kg/m kaaluv ja kuni 8 m kõrgune, siis selle

võib toetuda ka kandetarinditele. Ühe lõõriga korstna võib toetada ka kütteseadmele, kui kütteseadme on dimensioonitud korstna kaalu arvestades ja kui korstna püsivus on tagatud. [15]

Hoone sees oleva välispinna temperatuur ei tohi lõõriga ühendatud kütteseadme kütmise korral olla üle 80 °C. Põlevmaterjalidest ehitisosad tuleb paigutada vähemalt 100 mm kaugusele korstna välispinnast, et nende temperatuur ei tõuseks üle 80 °C. Erandiks on kivist korsten, mille paksus peab olema vähemalt 110 mm, sellisel juhul võib põrandalaudise või laelaudise mitte üle 30 mm paksuse lasta vastu korstent ja põrandaliistu või katteliistu võib paigaldada korstna välispinnale ja kõrgus ei tohi ületada 150 mm. [15]

Igale kütteseadmele pannakse ette eraldi suitsulõõr. Kuid kütteseadmetel, mille väljundgaaside temperatuur on üle 400 °C, tuleb alati ette panna eraldi suitsulõõr. Keskküttekatelde suitsulõõrid ehitatakse kihilise konstruktsiooniga, eraldi sisekestaga, mis taluks suitsugaaside söövitavat toimet. Suitsulõõrid ehitatakse ja projekteeritakse nii, et neid oleks võimalikult kerge ja ohutu puhastada korstnapühkimisvahenditega ja nende terves pikkuses. Kui on liiga suured kondensaadi- ja sadevete kogused, siis paigaldatakse lõõri alumisse otsa küllaldase suurusega puhastatav vee-eemaldustoru. [15]

Kuni 120 kW soojatootlikkusega kütteseadme korstnaid võib paigaldada hoonetesse nii, et need läbivad kas siis vahelagesid või katust ja nende puhul saab rakendada ka tuleohutusabinõusid. Kuid üle 120 kW soojusootlikkusega kütteseadme korsten dimensioneeritakse vastava tehnoloogia seadme lähteandmete järgi eraldiseisva rajatisena. [15]

Suitsukorsten peab ulatuma katusekatte pinna või muude ehitisosade suhtes nii kõrgele, et oleks piisav tuleohutus ja tõmme. Tõmbe parandamiseks tuleks paigutada korsten katuseharjale. Tuleohutuse jaoks peab korsten ulatuma vähemalt 0,8 m katuse pinnast kõrgemale või siis katuse kõrgeimast kohast 0,8 m kõrgemale. Järsukaldelise katusega hoonel, kui katuse kalle on üle 30 °C, siis määratakse korstna kõrgus nii, et korstna pea ja katuse pinna lühim kaugus on vähemalt 1,0m. [15]

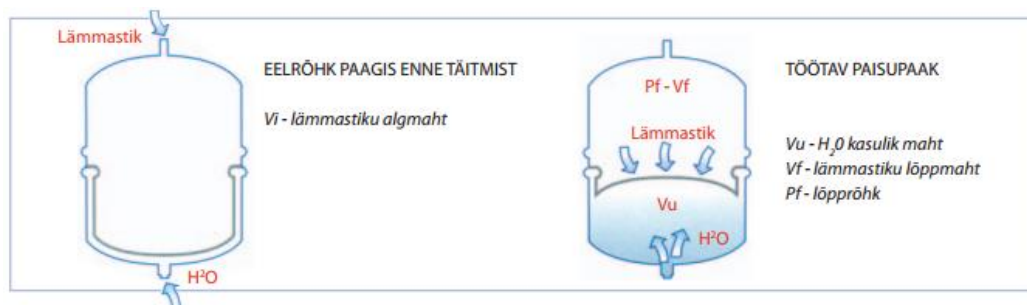
Kui kütteseadme ei tööta, siis suletakse õhuvool lõõris siibriga välja arvatud eraldi seisev saun. Siiber peab olema paigutatud nii, et oleks tagatud minimaalne õhuliikumine lõõris võimalike vingugaaside eemaldamiseks koldest. [15]

Korstna temperatuuriklass ei tohi olla väiksem kütteseadme väljundgaaside temperatuurist. Standardsed temperatuuriklassid on alates T80 kuni T600. Tahkekütusel töötavate kaminat, ahjude ja keriste kütteseadmetele nõutav minimaalne rõhuklass siseruumides on 40 Pa. [15]

### 3.2.2 Membraanpaisupaagid

Veesüsteemides, kus on tegemist veemahu muutumisega, on vaja kasutada paisupaake. Paisupaagid on soovituslik paigaldada vahetult katla lähedusse. [12] Nende maht on 10% kogu küttesüsteemi veemahust. Antud töös on kasutusel 3 paisupaaki: 150 l, 200 l ja 200 l. Kui vee on liigselt õhku, siis tekib süsteemi metallist osade vahel korrosioon, mis vähendab süsteemi eluiga. Et õhk ei seguneks veesüsteemis ringleva veega on paisupaak varustatud membraanist kotiga. Membraanist kott eraldab süsteemivee õhust kaitses paisupaaki korrosiooni eest, kuna vesi asub membraankoti sees. Paagi siseseinad on kokkupuutes vaid sururõhu või surugaasiga. [13]

Paisupaagid, mis on terasest, nende roostetamise vältimiseks täidetakse membraani ja paisupaagi seina vaheline ruum lämmastikuga. See on lõhna, maitse ja värvuseta gaas, vee lahustub minimaalselt ja pole mürgine. Kui täita tavalise õhuga, mis sisaldab kaalu järgi 5% vett ja mahu järgi 21% hapnikku, siis see vähendab paisupaagi tööiga. [12]



Sele 3.1. Paisupaagi töö põhimõte. [12]

**Paisupaagi kogumaht arvutatakse valemiga:**

$$V_t = \frac{C \cdot \epsilon}{1 - \left(\frac{P_i}{P_f}\right)} \quad (3.1)$$

$$= \frac{4730 \cdot 0,0359}{1 - \left(\frac{2,5}{5}\right)} = 339,614 \text{ l, [12]}$$

kus  $C$  - süsteemi kogu veemaht (katel, akumulatsioonipaak, torustik, radiaatorid),  
 $C = 4000 + 380 + 200 + 150 = 4730 \text{ l}$ ;

Tabel 3.1. Vee paisumiskoeffitsent erinevatel temperatuuridel. [13]

°C	koeffitsient	°C	koeffitsient
0	0,00013	65	0,01980
10	0,00025	70	0,02269
20	0,00174	75	0,02580
30	0,00426	80	0,02899
40	0,00782	85	0,03240
50	0,01207	90	0,03590
55	0,01450	95	0,03960
60	0,01704	100	0,04343

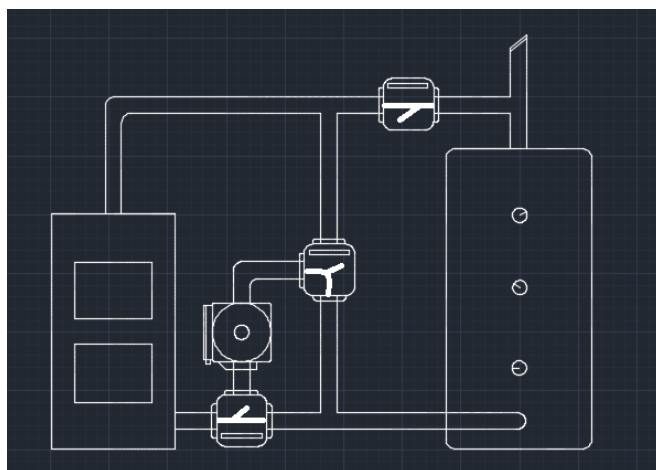
Tabelist 3.1 saame koeffitsendi  $e$  tulenevalt veetemperatuurist 90 °C juures.

$e$ - vee paisumise koeffitsent tulenevalt veetemperatuurist, 90°C juures  $e=0,0359$ ,

$P_i$ - süsteemi algrõhk (atm). See on rõhk normaaltemperatuuri juures mõõdetuna süsteemi kõige madalamast punktist,  $P_i=1,5\text{bar}$  (2,5atm),

$P_f$ - süsteemi maksimaalne lubatud rõhk (atm). See on rõhk, milleni süsteem tohib töötada ja milleni on süsteemi kaitseklapp seadistatud,  $P_f=3,0\text{bar}$  (4,0atm),

Autori arvutustulemuse järgi ei tohi 339,614 l väiksemaid paisupaake antud projektis kasutada.



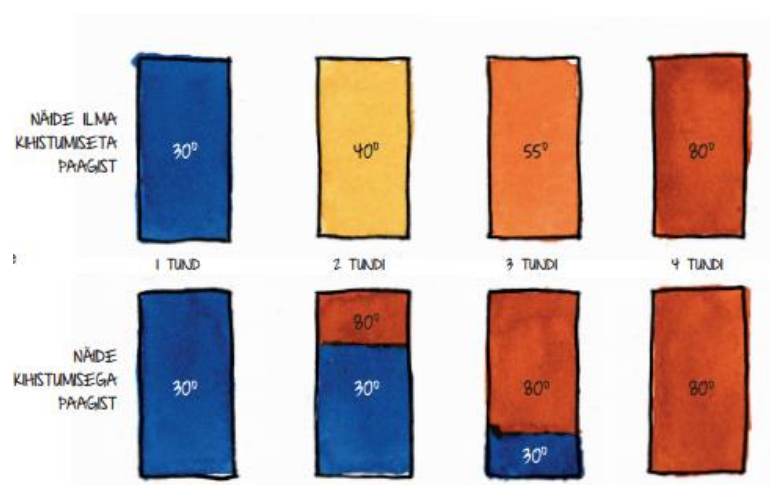
Sele 3.2. Tahkekütusekatla segamissõlm. [1]

### 3.2.3 Akumulatsioonipaak

Akumulatsioonipaagiga süsteem võimaldab katelt kütta optimaalsel režiimil, sõltumata hetke kütterežiimist. Soojussalvesti maht peab vastama nii hoone küttekoormusele kui ka katla võimsusele. Eramajade soojussalvestid on mahuga 1500 kuni 3000 liitrit (autori eramaja soojussalvesti 4000 liitrit). Akumulatsioonipaak on tarviklik küttesüsteemi veemassi

tõstmiseks. Selle tulemusel tekib olukord, kus katel saab ühe töötükliga kütta üles suurema hulga küttevett, tagades seeläbi pikemad ning ühtlasemad töötükid. Soojussalvesti akumulatsioonipaaki on paigaldatud spetsiaalne soojavee soojusvaheti, mille tootlikkus on 55 liitrit/minutis. [1]

Akumulatsioonipaak töötab füüsikaseadusel, et soe vesi on kergem kui külm. Soe vesi pumbatakse katlast torudega akumulatsioonipaagi ülaossa ja alt võetakse samaaegselt külma vett. Kihistumine on tagatud siis kui kuuma vett pumbatakse akumulatsioonipaagi ülaossa aeglaselt ja kontrollitult, et vee kihistumine oleks optimaalne. Aga kui soe ja külm vesi kogu aeg segunevad, siis jääb vee temperatuur liialt madalaks tarbevee saamiseks. [11]

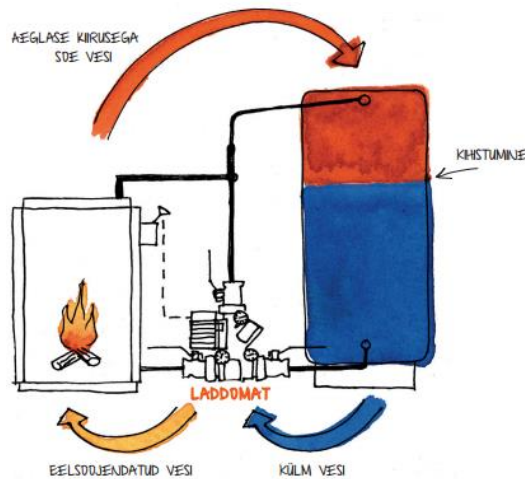


Sele 3.3. Vee kihistumine, mittekihistumine paagis [11]

### 3.2.4 Katla segamissõlm

Kihistumise tagamiseks on mitmeid võimalusi. Kasutatakse nii Laddomati kui ka ThermoBaci süsteeme. On veel teine põhjus miks neid kasutatakse, aga see on kirjas ThermoVari all.

Laddomat on valmiskomplekt, mis sisaldab tsirkulatsioonipumpa ja 3-T termoventiili, mida on lihtne paigaldada. Kui katel lülitub töösse, tsirkuleerib Laddomat vett katlas nii, et see saavutab töötemperatuuri ja hakkab akumulatsioonipaaki soojendama. Laddomat pumpab kuuma vett akumulatsioonipaagi ülaossa aeglaselt ja kontrollitult, et vee kihistumine oleks optimaalne. Veel jahutab Laddomat katelt eelsoojendatud tagasivooluveega ehk kuuma vett katla ülaosast segatakse vähese külma veega katla põhjast. [11]



Sele 3.4. Laddomati töökirjelduse skeem. [11]

### LK 825 ThermoVar

3-T laadimisventiil tahkekütuse/ soojussalvesti paigaldistele. Ventiiil tagab optimaalse temperatuuri kihistumise salvestis ja katlasse tagasi voolava vee kõrge temperatuuri, mille tulemusel suureneb ka süsteemi tõhusus. See aitab vältida katla pigistumist, kondensaadi teket, pikendades katla eluiga. [10]

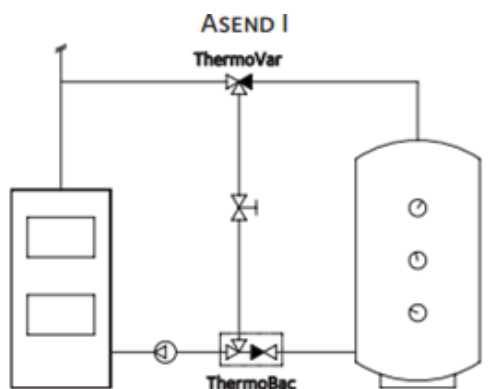
Segamissõlm on termoklapi tööil põhinev seade, mis pannakse katla ja akumulaatoripaagi vahelisele torustikule katla töötemperatuuri automaatseks hoidmiseks. Segamissõlm on vajalik tahkekütusekatelde kasutamisel. Segamissõlme kasutamine väldib mikropragude tekkimise ja sellest tulenevalt katla lekke või purunemise. Segamissõlme tsirkulatsioonipumpa tuleks juhtida suitsulõõris asuva kontakttermomeetri abil. Suitsugaaside kontakttermomeeter lülitab tsirkulatsioonipumba tööle kui katlas süüdatakse tuli. Kui katlas kustub tuli, siis suitsugaaside temperatuur on langenud kontakttermomeetri minimaalse reguleeritud väärtuseni ja pump lülitub välja. Tsirkulatsioonipumba käivitumisel tekkinud surve mõjul sulgub tõkkeklapp, keelates akumulaatoripaagist või küttesüsteemist tagasituleva jaheda vee pääsu otse katlasse. [10]



## On olemas kolm erinevat paigaldusasendit:

### **Asend I**

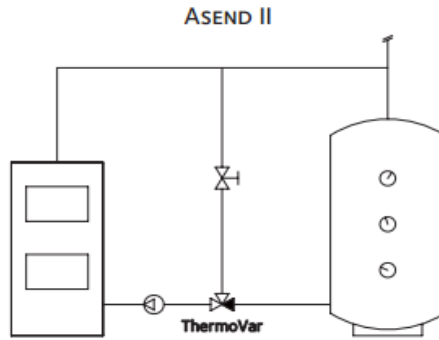
Kui katla temperatuur on tõusnud 61°C (see temperatuur on valitud sellele süteemile, kuna akumulatsioonipaak on suhteliselt suur) avanemistemperatuurile, võimaldab ventiil kuuma vee pääsu mahutisse, siis toimub ringlus akumulatsiooni ja katla vahel. Tagastuv vesi paagist segatakse katlast väljuva veega, enne kui see läheb tagasi katlasse. Tagastuva vee temperatuur on vähemalt avamistemperatuur. Katla ja laadimisventiili vahele on paigaldatud tasakaalustusventiil. Süsteem on varustatud LK 820 ThermoBac tagasilöögiklapiga, et vältida iseeneslikku ringlusest katlast mahutisse peale tule kustumist. [10] Voolukatkestuse või pumba rikke korral avaneb tagasilöögiklapp automaatselt loomuliku ringluse (kehv vabatsirkulatsioon, kuna ThermoVar asub kaugel katlast, mis avaneks kiirelt ja pump on vabaringluses ka takistuseks).



Sele 3.5. I paigaldusasend [10]

### **Asend II**

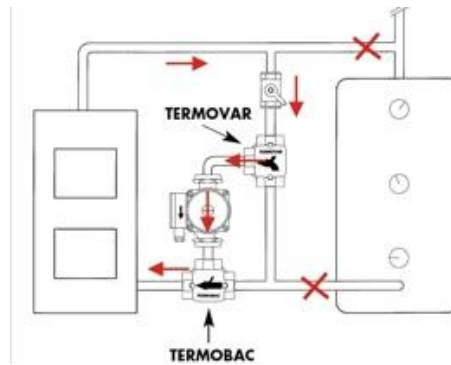
Siis kui katla temperatuur on jõudnud ventiili avanemistemperatuurini, võimaldab ventiil kuuma vee pääsu mahutisse enne kui see ringleb tagasi katlasse. Tagasivoolu temperatuuriks on valitud avamise temperatuur. Katla ja laadimisventiili vahele on paigaldatud tasakaalustusventiil. Tsirkulatsioonipumpa juhitakse termostaadiga, mis mõõdab katla vee või suitsugaasi temperatuuri. Sellel asendil puudub vabatsirkulatsioon. [10]



Sele 3.6. II paigaldusasend [10]

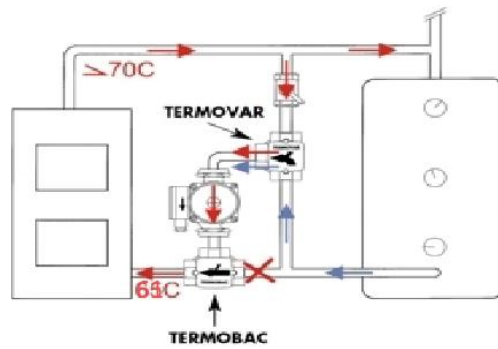
### Asend III

Katlast tulev soe vesi pumbatakse läbi ThermoVari katlasse tagasi. Katel kuumeneb kiiresti ja ühtlaselt, sest vesi liigub ainult katla väikeses ringluses. [16]



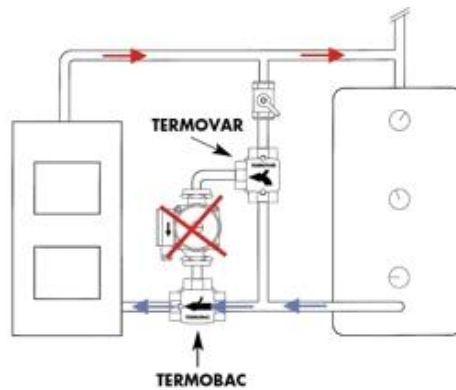
Sele 3.7. III paigaldusasendi tööpõhimõtte kui vesi saavutab ThermoVari temperatuuri [16]

Segamissõlme ThermoVar soojeneb katlast tulevate soojavee arvel. Kui ThermoVar soojenedes avaneb, avab ta tee tagasivooluringist tulevatele jahedale veele. Termoklapi avatus sõltub termoelementi ümbritseva vee temperatuurist ning seega on ThermoVarist väljuva vee temperatuur alati ühesugune. Üldjuhul kasutatakse 61 °C juures töötavaid termoelemente, millega tagatakse katlasse tagastuva vee temperatuur 61 °C. ThermoBaci kasutatakse selleks siin, et ta sulgeb tõkkeklapi ja ei lase pumbal vett lüüa akumulatsioonipaagi poole. [16]



Sele 3.8. III paigaldusasendi tööpõhimõte kui katel on töötemperatuuri saavutanud [16]

Siis kui tsirkulatsioonipump on seiskunud näiteks volukatkestuse korral, langeb veesurve pumba surve poolel ja surve tõkkeklapi kinnihoidmiseks kaob. Loomuliku tsirkulatsiooni mõjul ThermoBaci tõkkeklapp avaneb, võimaldades nii süsteemi loomuliku tsirkulatsiooni, kaitstes katla ülekuumenemist või purunemist. See süsteem tagab hea vabatsirkulatsiooni ja vesi ei pea läbi pumba liikuma. [16]



Sele 3.9. Loomulik tsirkulatsioon kui pump ei tööta [16]

## 4 KASVUHOONETE KÜTMISE VÕIMALIKUD LAHENDUSED

Autor toob loetelu kolmest võimalikust küttesüsteemist, mida oleks võinud kasutada antud projektis, kuid mida pole tehtud.

### 4.1 Puidugraanulküttel õhkküttekatlad

On olemas ka puidugraanulküttel õhkküttekatlad võimsusega 24-250 kW, millele eeliseks on see, et ta on eraldiseisev seade automaatse süütamisega. Seade lülitub ise välja kui veetemperatuur on saavutanud etteantud taseme ja lülitub uuesti sisse kui veetemperatuur on langenud alla lubatud piiri. On olemas isepuhastuv põleti, mis puhastub automaatselt, tagades korrektse põlemise, säästes aega ja tööd. [18]

### 4.2 Põhukatlad

Kohalike kütusena võib puidu ja turba kõrval kasutada kohalikku kütust põhku. Kasutatakse põhukatlad, millel on suur põlemiskamber- suurimad mudelid mahutavad 1-1,2 tonni põhku. [19] Omadused:

- täisautomaatne põlemisprotsessi juhtimine
- efektiivsus 83% + 5% lisa koos akumulatsioonipaagi ja korstnaga
- madalaim CO sisaldus 0,086%
- automaatne käivitus ja oote-režiimi lülitus kütuse lõppedes
- minimaalne korstna korrosioon, kindlustades kohese tõmbe kütmise alustamisel, kuna see hoitakse alati soe [19]

### 4.3 Gaasküte

Autor oleks saanud kasutada ka gaasiküttel otsetoimivat soojaõhukalorifeereid võimsusega 11-32 kW, mille kasutegur on üle 91,5%. Gaasipuhurid toodavad kiiresti suures koguses soojust. Need on säästlikud ja tõhusad. Seade on varustatud ka automaatse süütega, ON/OFF põletiga ja ohutuskaitseesadmetega. Seda seadet on võimalik paigaldada horisontaalselt või vertikaalselt. Seadmed paigaldatakse kas seinale või lakke ja nad ei kasuta põrandapindala. [20]



Sele 4.1. Gaasiküttel otsetoimeline soojaõhukalorifeer. [20]

#### 4.4 VOLCANO tüüpi soojusvahetid

Kasvuhoonete kütmiseks kasutas autor VOLCANO tüüpi soojusvaheteid, mis on kaasaegsete küttesüsteemide lahutamatu osa. Need on kasutusel keskmise suurusega ja suurtes hoonetes, kõrvaldades neist alakütmise probleemid ja ilmastikutingimuste negatiivsed mõjud hoone siseruumides. [9]

VOLCANO mini on 3-20 kW kütteseade. Seadmel on madal müratase ja kerge kaal 9,8 kg. Kaherealine soojusvaheti ja suure jõudlusega ventilaatorisõlm. Madalad kasutuskulud. Mõõdmetelt väike ja kaalult kerge. Plastkorpus on korrosioonikindel ja talub väga kõrgeid temperatuure. Maksimaalne väljundvõimsus 2000 m<sup>3</sup>/h. Soojuskandja maksimaalne temperatuur 120 °C. [9]



Sele 4.2. Volcano mini soojusvaheti.

VOLCANO mini eeliseks on see, et see on efektiivne, regeerib kiirelt, ei küta üle ja korpusel on eluaegne garantii.

## 4.5 Tasakaalustusventiil eramaja projektile

### 4.5.1 Katelseadmete ühendamine Volcano süsteemiga

Autor kasutas uponori eelisoleeritud torusid. Eelisoleeritud torud on ohutud, töökindlad ja vastupidavad. Kuna torud on väga hea paindega on neid kerge ja lihtne paigaldada. Ilma jätkamiseta saab paigaldada kasuktorustikke, mis on kuni 200 m pikkused. Kui voolutoru on väga sile, siis pole setteid ega kulumist ka 50-aastase tööea järel. [25]



Sele 4.3. Uponori toru. [25]

#### 4.5.1.1 Seguventiil LK 840 ThermoMix

LK 840 ThermoMix on messingist 3-T seguventiil, mida saab kasutada segamisventiilina või suunamisventiilina küttesüsteemides. Seda sobib juhtida ka mootoriga. [10]



Sele 4.4. LK 840 ThermoMix. [10]

Ringlussõlme tööd juhib hoone soojaautomaatika seade, mis välisõhu ja hoone siseõhu temperatuuri järgi reguleerib 3-T ventiili asendit. Kui temperatuur alaneb, avatakse 3-T ventiil rohkem süsteemi tulevale kuumale veele, mistõttu tõuseb hoone kütteringis temperatuur, kindlustades niimoodi hoones vajaminevat soojust. Välis- ja hoone siseõhu temperatuuri tõustes keeratakse 3-T ventiil kuumale veele koomale ja avatakse rohkem tagasi tulevale jahedale veele, mistõttu hoone kütteringis temperatuur langeb. Sellega välditakse hoone ülekütmist, kindlustades sooja säästliku kasutamise. 3-T ventiil on varustatud elektrimootori ja elektroonika. Kuna akumulatsioonipaagis on temperatuur kõrgem kui tegelikult vajatakse ja seda ei tarbita kogu aeg. Elektroonika abil on võimalik ka ette anda õine madalam

temperatuur. Kuid ka päeval on võimalik eri kella aegadel temperatuuri alandada. Kõetakse teatud perioodidel ja hoitakse sellist temperatuuri, mis on ette antud. 3-T ventiili elektroonika arvutab ise välja, et kui väljas temperatuur langeb  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ning tõstab majasse minevat vee temperatuuri.

## KOKKUVÕTE

Kasvuhoone on hoone, kus kasvatatakse taimi. [22] Arvutustega oli näha, et kattes kasvuhoone polükarbonaadiga on soojuskadu 1,4 x väiksem võrreldes klaasiga. Põhjuseks on polükarbonaadi suur soojapidavus. Autor tegi ka hinnavõrdluse, klaasi hind kokku 3415 €, polükarbonaadil 2723 € niiet polükarbonaat tuleb klaasimaterjalist odavam.

Kasvuhooneid tuleb kütta veebruarist mai kuu teise nädalani. Kui võtta arvesse ka päikese soojushulka, siis peab arvestama sellega, et päikesekiirgus ei tule ühtlaselt ja öisel ajal tuleb kasvuhooneid ikkagi kütta.

Autor sai antud tööd tehes hea ülevaate kateldest, tööpõhimõttest ja juurde kuuluvatest abiseadmetest.

Põhjus miks autor oma projekti katlaks ei valinud õlikatelt on tingitud õli kõrgest hinnast.

Puidugraanulküttes õhkküttekatlaid ei valinud aga seepärast, kuna need katlad oleks pidanud panema igasse kasvuhoonesse ja seda katelt ei saaks kasutada eramaja kütmiseks.

Projektis on kasutatud tahkekütusekatelt kogu süsteemi kütmiseks ja VOLCANO mini õhkkonvektoreid kasvuhoonete kütmiseks.

Gaasküte ei osutunud valituks, kuna pole looduslikku gaasi ja gaaskütte omahind on täna suhteliselt kallis. Autor oleks pidanud gaasikütte liitumise tegema ja maksma ka gaasiterassi paigaldamine eest.

Autor valis kütteks tahkeküttekatla Comfort 100 väljundvõimsusega 100 kW. Katelt köetakse tahkekütusega, kas puitbriketi või puudega, mis on suhteliselt odav. Autori arvutustest oli näha, et selline võimsus sobib nii kasvuhoonete kui ka eramaja kütmiseks. Töös tehtud arvutuste järgi võib võtta 50 kW katla, kuid tulevikus plaanitakse kasvuhoonete kubatuuri suurendada ja selleks paigaldati juba praegu võimsam katel, kuna olulist hinnavahet ei nähtud.



## SUMMARY

A greenhouse is a building where plants are grown. [22] With the calculations you can see, that by covering the greenhouse with polycarbon the loss of heat is 1,4 times smaller than comparing it with glass. The reason for that is the high insulation of polycarbon. The author also made a price comparison, the total price of glass is 3415€ and the total price of polycarbon is 2723€, thus the polycarbon would be cheaper than the glass.

Greenhouses have to be heated from February until the second week of May. If you take the amount of heat of the sun into account as well, then you must consider the uneven way the sunlight arrives and still have to heat the greenhouses during the night.

The author got a good overview on boilers, their working principles and on other connected components.

The reason why the author did not choose an oil-boiler for the project was due to the high price of oil.

Pellet fuelled Air Heat Boilers were not chosen because they would have had to be placed in each greenhouse separately and would not have been able to be used to heat the private house. In the project a solid fuel boiler has been used to heat the whole system and VOLCANO mini airconvectors are used to heat the greenhouses.

Gas was not chosen as a fuel because the presence of natural gas is absent and the price of it is relatively high. The author would have had to make a contract to gain gas and would have had to pay for the installation of the gas terass.

The author chose for heat a solid fuel boiler Comfort 100 with the output power of 100 kW. It is fuelled by solid fuel, wood briquettes or wood in general, which is relatively cheap. From the authors calculations you can see that such output power does not have any problems with heating either the greenhouses or private house. According to the calculations a 100 kW boiler would also have been enough, but in the future there are plans to increase the volume of the greenhouses and for that a more powerful boiler has been installed, because the difference of the price was fairly low.

## KASUTATUD KIRJANDUS

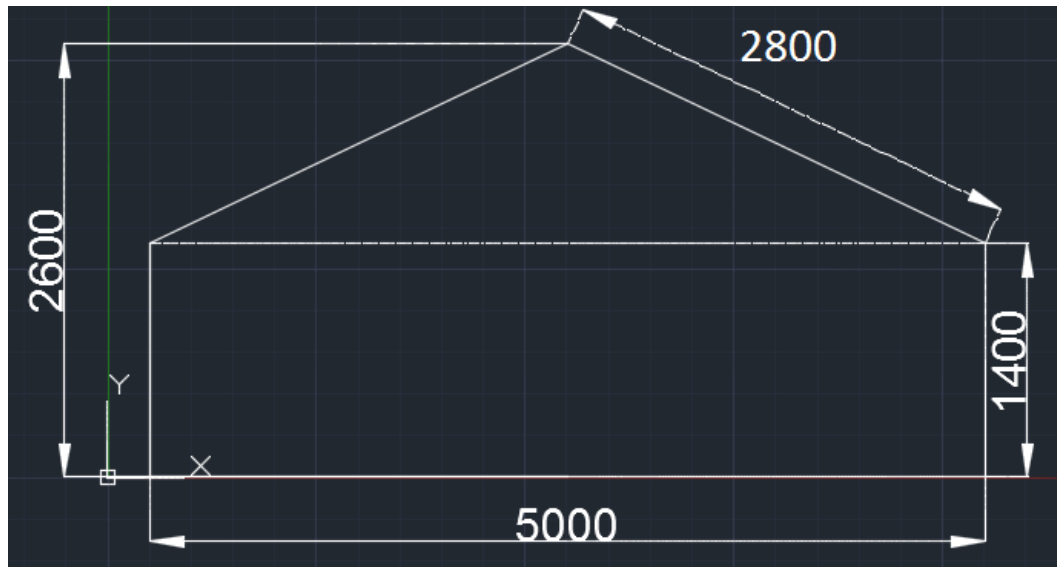
1. A. Paist, K. Plamus. Lokaalkatlamajad. Tallinn, 2013. (06.02.2015)
2. T.A. Kõiv, A. Rant. Hoonete küte. Tallinn: TTÜ, 2013. (08.02.2015)
3. Toru-Jüri kodulehekülg [WWW]  
<http://www.torujyri.ee> (5.04.2015)
4. A. Paist. Vedel ja gaaskütuse kateldest [WWW]  
[http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/Vedel%20ja%20gaask%C3%BCtuse%20katlad\\_A\\_Paist\\_24.10.2012.pdf](http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/Vedel%20ja%20gaask%C3%BCtuse%20katlad_A_Paist_24.10.2012.pdf) (5.04.2015)
5. ESBE kodulehekülg [WWW]  
<http://esbe.ee/> (6.04.2015)
6. Küttemeister kodulehekülg [WWW]  
<http://kyttemeister.ee/index.php?page=178> (6.04.2015)
7. Calculation. Eesti standard: EVS-EN 303-5:2001. Tallinn: Standardiamet. (8.04.2015)
8. Perefirma Torulill OÜ kodulehekülg [WWW]  
<http://www.torulill.ee/kuttesusteemid/Kuttesusteemi-valik-15.html> (8.04.2015)
9. VTS Group kodulehekülg [WWW]  
[http://vtsgroup.ee/\\_upload/VOLCANO\\_catalogue\\_2013\\_ee\\_preview%20version.pdf](http://vtsgroup.ee/_upload/VOLCANO_catalogue_2013_ee_preview%20version.pdf)  
(9.04.2015)
10. OÜ Cerbos kodulehekülg [WWW]  
<http://www.cerbos.ee/img/cms/kutteautomaatika/LKArmatuur/laadimisautomaadid-ventiilid-regulaatorid-LK-Armatuur.pdf> (10.04.2015)
11. Toru-Jüri kodulehekülg [WWW]  
<http://torujyri.ee/miksakupaak> (10.04.2015)
12. Cal Pro paisupaagid kodulehekülg [WWW]  
[http://juhendid.sks.ee/zilmet\\_paisupaagid\\_calpro\\_est.pdf](http://juhendid.sks.ee/zilmet_paisupaagid_calpro_est.pdf) (15.04.2015)
13. E.M. Liik. Paisupaakide paigaldamine [WWW]  
[http://www.roometi.com/projekt/kyte/Paisupaagi\\_paigaldamine.pdf](http://www.roometi.com/projekt/kyte/Paisupaagi_paigaldamine.pdf) (15.04.2015)
14. A. Ots. Soojustehnika aluskursus. Tallinn, 2011. (17.04.2015)
15. Korstnad ja suitsulõõr. Eesti standard: EVS 812-3:2007. Tallinn: Standardiamet.  
(17.04.2015)
16. Viiratsi AGRO OÜ kodulehekülg [WWW]  
<http://www.ostakatel.ee/et/katla-segamissolm.html> (18.04.2015)

17. Proplastik OÜ kodulehekülj [WWW]  
<http://proplastik.ee/kihtplastik-pc-polukarbonaat> (19.04.2015)
18. <http://www.alotar.ee/tooted> (20.04.2015)
19. JK Otsa Talu OÜ kodulehekülj [WWW]  
<http://www.jkotsatalu.ee/pohu.html> (20.04.2015)
20. [http://afabusa.org/technology\\_and\\_function.php](http://afabusa.org/technology_and_function.php) (23.04.2015)
21. EL Üleminekutoetuse projekt 2006/18111.01.01. Riigihange nr 036610. Hoone energiaaudiitorite koolitus. (2008). Köide I. Tallinn. (28.04.2015)
22. Inglise keelest tõlkinud H. Heinoja. Kasvuhooned ja muud aiarajatised. Tallinn: Varrak, 2014. (1.05.2015)
23. OÜ Robert (kvaliteetsed pottsepatööd) kodulehekülj [WWW]  
[http://robert.ee/kuttekolded\\_tehniline\\_lahenemine.pdf](http://robert.ee/kuttekolded_tehniline_lahenemine.pdf) (1.05.2015)
24. I .Mikk. Soojustehnika käsiraamat. Tallinn, 1977. (02.05.2015)
25. Uponor Eesti OÜ kodulehekülj [WWW]  
<https://www.uponor.ee/multi-storey-buildings/k%C3%BCtte-ja-vee-jaotusv%C3%B5rk.aspx> (02.05.2015)
26. A. Paist. Ölikütte alternatiivid Eestis [WWW]  
<http://www.tallinn.ee/energiaagentuur/Aadu-Paist-Olikutte-alternatiiv.pdf>
27. Euroopa Komisjoni poolt koostatud päikeseenergia kalkulaator [WWW]  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (10.05.2015)
28. Ecotec kodulehekülj [WWW]  
<http://www.ecotec.net/bostad/sma-villor/bioline-20-25-pelletsbrannare/> (15.05.2015)

## Lisad

### Lisa 1. Kolme kasvuhoone klaaside pindala leidmine.

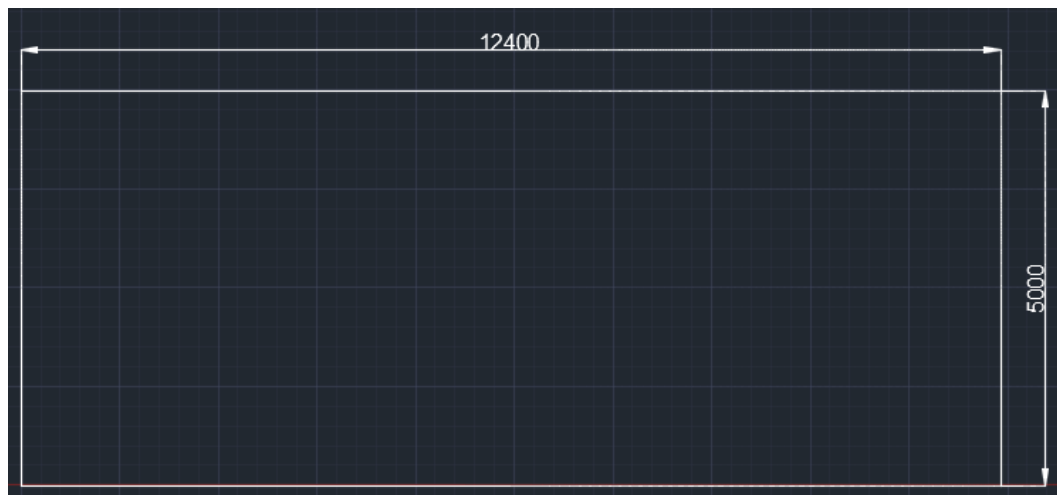
Suur kasvuhoone:



$$S_1 = 1,4 * 5 = 7 \text{ m}^2$$

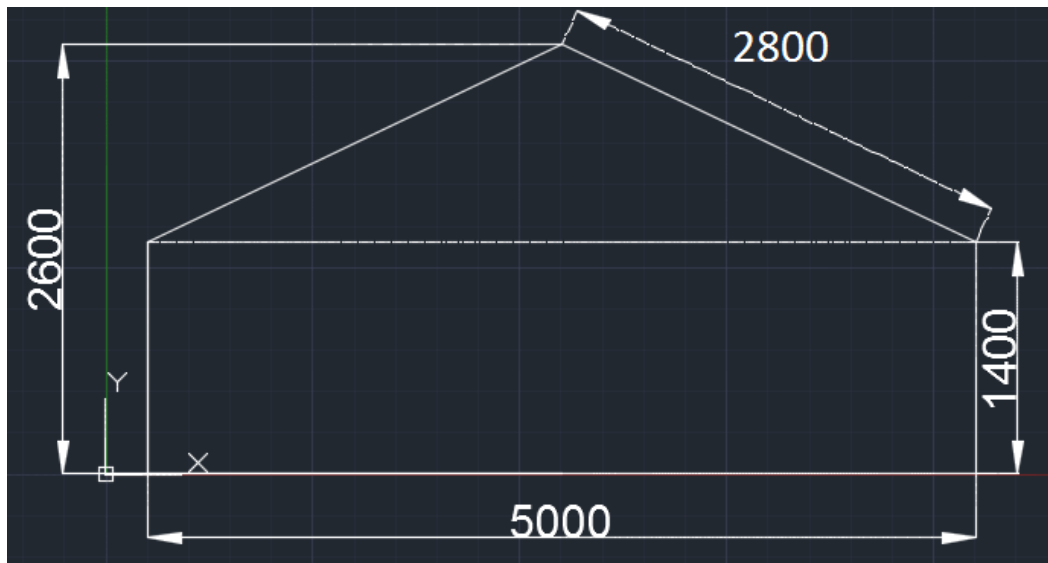
$$H = 2,6 - 1,4 = 1,2 \text{ m}$$

$$S_2 = (a * H) / 2 = (5 * 1,2) / 2 = 3 \text{ m}^2$$



$$S = a * b = 5 * 12,40 = 62 \text{ m}^2$$

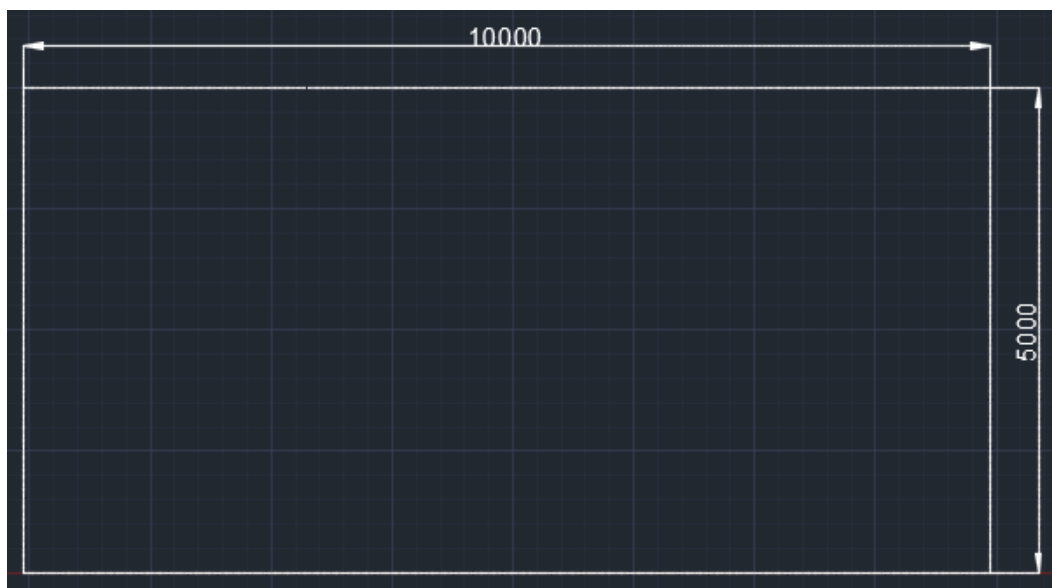
Keskmine kasvuhuone:



$$S_1 = 1,4 * 5 = 7 \text{ m}^2$$

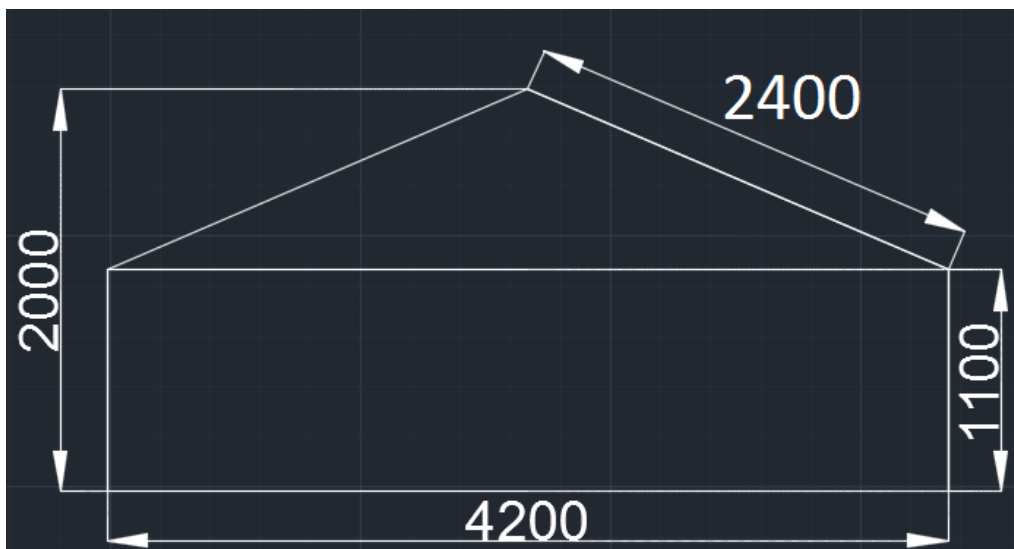
$$H = 2,6 - 1,4 = 1,2 \text{ m}$$

$$S_2 = (a * H) / 2 = (5 * 1,2) / 2 = 3 \text{ m}^2$$



$$S = a * b = 5 * 10 = 50 \text{ m}^2$$

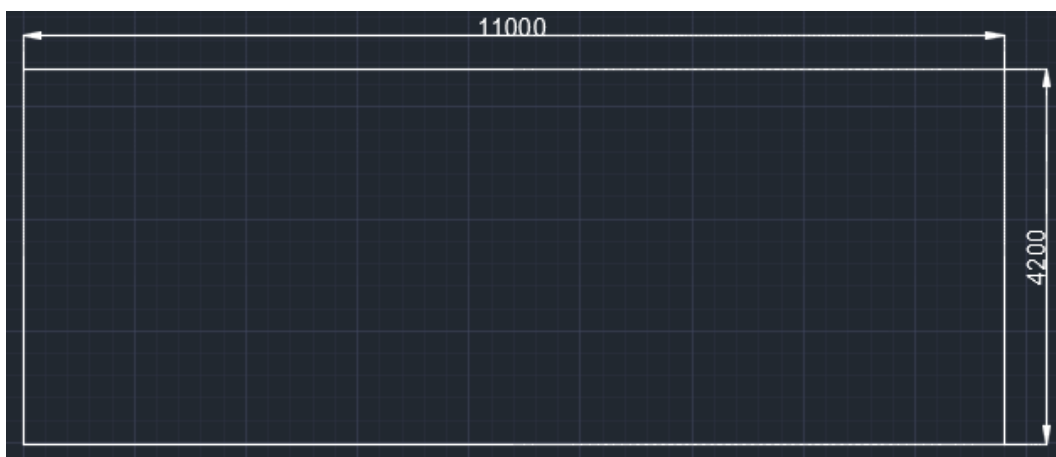
Väike kasvuhoone:



$$S_1 = 1,1 \cdot 4,2 = 4,62 \text{ m}^2$$

$$H = 2 - 1,1 = 0,9 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 4,2 \cdot 0,9 = 3,78 \text{ m}^2$$



$$S = a \cdot b = 11 \cdot 4,2 = 46,2 \text{ m}^2$$

## Lisa 2. Soojuskadu läbi pinnasel asuva soojustamata põranda

Pinnasel asuvat põrandat loetakse mittesoojustatuks, kui põrandakihtide erisoojusjuhtivus  $I$  on suurem kui  $1 \text{ W/mK}$ . Pinnasel oleva põranda soojuskadu on määratav valemiga:

$$Q_p = (\sum U_{ting} \cdot A) \cdot (t_s - t_{v.a.}) \text{ W, [21]}$$

kus

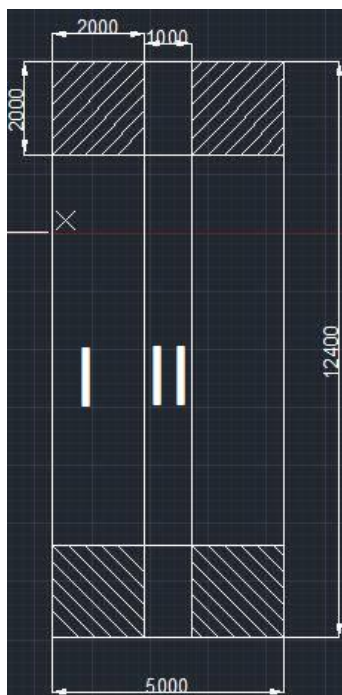
$U_{ting}$  - tinglik põranda soojusjuhtivus  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  
 $A$  - vastava tsooni põranda pind  $\text{m}^2$ ,  
 $t_s$  - arvutuslik sisetemperatuur  $^{\circ}\text{C}$ ,  
 $t_{v.a.}$  - arvutuslik välistemperatuur  $^{\circ}\text{C}$ .

Põranda konfiguratsiooni paremini arvestatava ja täpsema tulemuse võib saada, arvutades pinnasel asuva põranda soojuskao tsoonide kaupa. Põrand jagatakse 2 m laiusteks ribadeks piki välisseinu. Välispiirdele kõige lähemal asub esimene tsoon, järgnevad teine, kolmas ja neljas tsoon. [21]

Soojustakistuse R väärtused soojustamata põranda tsoonidele võetakse:

- esimesele tsoonile  $R_I = 2,1 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,
- teisele tsoonile  $R_{II} = 4,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,
- kolmandale tsoonile  $R_{III} = 8,6 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,
- neljandale tsoonile  $R_{IV} = 14,2 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Hoone välisnurgas paiknevas nurgas 2 m x 2 toimub intensiivsem soojuse äravool. Seal kandub soojus välja korraga nurka moodustava mõlema seiniosa suunas. Et seda arvestada, arvutatakse soojuskadu läbi välisnurgas asuva 2 m x 2 suuruse pinna kahekordselt. [21]



Sele 2.1 Pinnase jagamine tsoonideks

Põranda esimese tsooni soojuskadu on määratav valemiga:

$$Q_{pl} = A_I \cdot U_I \cdot (t_s - t_{v.a.}) \text{ W, [21]}$$

kus

- $A_I$  - põranda esimese tsooni pindala  $\text{m}^2$ ,
- $U_I = 1/R_I$  - põranda esimese tsooni soojusjuhtivus  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- $t_s$  - arvutuslik sisetemperatuur  $^\circ\text{C}$ ,
- $t_{v.a.}$  - arvutuslik välistemperatuur  $^\circ\text{C}$ .

Põranda teise tsooni soojuskadu määratakse analoogselt, kasutusele tulevad suurused

A<sub>II</sub>, U<sub>II</sub> ja R<sub>II</sub>.

Põranda soojuskadu kokku:  $Q_p = Q_{pI} + Q_{pII}$  W. [21]

### Maapealse vundamendi soojuskadu

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{kl}}{\lambda_{kl}} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ W/m}^2\text{K}, [14]$$

kus  $\alpha_1$  – konvektsiooni soojusülekangetegur,  $\alpha_1 = 8$  W/m<sup>2</sup>K, [21]

$\alpha_2$  – konvektsiooni soojusülekangetegur,  $\alpha_2 = 15$  W/m<sup>2</sup>K, [21]

$\delta_b$  – betooni paksus,  $\delta_b = 0,2$  m,

$\lambda_b$  – betooni soojusjuhtivustegur,  $\lambda_b = 1,3$  W/(mK).

$$F = 2 * (a + b) * \text{vundamendi kõrgus } W,$$

$$Q = k * F * (t_s - t_{v.a.}) \text{ W. [21]}$$

Tabel 2.1 Kasvuhoonete soojuskadu maapealsele vundamendile ja soojustamata pinnasele

t <sub>välisõhk</sub>	t <sub>siseõhk</sub>	Q <sub>s.k*</sub>	Q <sub>k.k*</sub>	Q <sub>v.k*</sub>
-10	18	1405,72	1203,75	1189,32
-5	18	1154,70	988,79	976,94
0	18	903,68	773,84	764,56
5	18	652,66	558,88	552,18
10	18	401,63	343,93	339,81

### Lisa 3. Pildid kasvuhoonetest ja küttesüsteemi osadest



Sele 3.1 Väike kasvuhoone kõrvaltvaates





Sele 3.2. Keskmise ja suure kasvihuone eestvaates



Sele 3.3. Akumulatsioonipaak



Sele 3.4. ThermoVari paigaldusasend

## Lisa 4. VOLCANO õhkkonvektori parameetrid

Tabel 4.1. Soojusvõimsus. [9]

		Parameetrid $T_z/T_p$ [°C]															
		50/30 [°C]				70/50 [°C]				80/60 [°C]				90/70 [°C]			
		$Q_p$ [m³/h]	$P_g$ [kW]	$T_{p2}$ [°C]	$Q_w$ [m³/h]	$\Delta p$ [kPa]	$P_g$ [kW]	$T_{p2}$ [°C]	$Q_w$ [m³/h]	$\Delta p$ [kPa]	$P_g$ [kW]	$T_{p2}$ [°C]	$Q_w$ [m³/h]	$\Delta p$ [kPa]	$P_g$ [kW]	$T_{p2}$ [°C]	$Q_w$ [m³/h]
0	2000	8,8	13	0,38	3,3	14,3	21	0,63	7,7	17,0	25	0,75	10,4	19,7	29	0,87	13,6
	1200	6,5	16	0,28	1,9	10,6	26	0,47	4,4	12,6	31	0,56	6,0	14,6	36	0,65	7,7
	700	4,6	20	0,20	1,0	7,5	32	0,33	2,4	8,9	38	0,39	3,2	10,3	44	0,46	4,0
5	2000	7,5	16	0,32	2,4	13,1	25	0,57	6,5	15,8	29	0,70	9,1	18,5	33	0,82	12,0
	1200	5,5	19	0,24	1,4	9,7	29	0,43	3,7	11,7	34	0,52	5,2	13,7	39	0,61	6,8
	700	3,9	22	0,17	0,8	6,9	34	0,30	2,0	8,3	40	0,37	2,8	9,7	46	0,43	3,6
10	2000	6,1	19	0,27	1,7	11,8	28	0,52	5,4	14,5	32	0,64	7,8	17,2	36	0,76	10,5
	1200	4,5	21	0,20	1,0	8,8	32	0,38	3,1	10,8	37	0,48	4,5	12,8	42	0,57	6,0
	700	3,2	24	0,14	0,5	6,2	37	0,27	1,7	7,6	43	0,34	2,4	9,0	48	0,40	9,9
15	2000	4,7	22	0,20	1,1	10,5	31	0,46	4,3	13,2	35	0,58	6,6	16,0	39	0,71	9,2
	1200	3,5	24	0,15	0,6	7,8	34	0,34	2,5	9,8	39	0,43	3,8	11,8	44	0,52	5,2
	700	2,3	25	0,10	0,2	5,5	39	0,24	1,4	7,0	45	0,31	2,0	8,4	51	0,37	2,8
20	2000	3,1	25	0,14	0,5	9,2	34	0,40	3,4	12,0	38	0,53	5,4	14,7	42	0,65	7,8
	1200	2,0	25	0,09	0,2	6,8	37	0,30	2,0	8,9	42	0,39	3,1	10,9	47	0,48	4,5
	700	1,1	25	0,05	0,1	4,9	41	0,21	1,1	6,3	47	0,28	1,7	7,7	53	0,34	2,4

$T_z$ - veetemperatuur sisselaskeava juures seade,  $T_p$ - veetemperatuuri väljalaske juure seade,  $T_{p1}$ - õhutemperatuur sisselaske seade,  $T_{p2}$ - õhutemperatuur väljalaskeava seade,  $P_g$ - küttevõimsus,  $Q_p$ - õhuvool,  $Q_w$ - veevool,  $\Delta p$ -rõhukadu soojusvahetil

Tabel 4.2. Pöörlemiskiiruse regulaator. [9]

AGC 0,6/1 juhtseadme ventilaator	-	III	II	I
kontrolleri väljundpinge	V	230	130	85
ventilaatori õhuvool	m³/h	2000	1200	700
mootori võimsus	W	124	78	38
horisontaalsuunaline ulatus	m	14	8	5
vertikaalsuunaline ulatus	m	8	5	3
müratase*	dB(A)	52,3	41,6	28,8

Pöörlemiskiiruse regulaatorit kasutatakse selleks, et saavutada küttevõimsuse maksimaalne ja minimaalne õhulabilaskvus. Sellega küttevõimsus suureneb ja väheneb.

Termostaadiga on võimalik ruumi temperatuuri hoida ja kasvuhoonete temperatuuri reguleerida. Termostaadiga käivitab autor ka tsirkulatsioonipumba eraldi igas kasvuhoones.