

**Tellija:** SA Keskkonnainvesteeringute Keskus  
**Täitja:** Eesti Kütte-ventilatsiooniinseneride Ühendus

**Soojuspumpade rakendusuringu  
soojustegurite määramiseks Eesti oludes ja  
saasteheidete keskkonnamõju võrdlemiseks  
kohtküttel enamkasutatavate kütustega**

**ARUANNE**

Projektijuht Vello Penjam

Tallinn 2005

## **EESSÕNA**

Käesolev rakenduslik uuring käsitleb Endla Looduskaitseala Tooma keskusehoones paiknevat soojuspumpa. Hoone rekonstrueeriti 2002. aastal, mille käigus paigaldati ka järvesoojuse baasil toimiv ülekuumendusgaasi soojuspump ja põrandkütte süsteem.

Uuringu eesmärgiks on kindlaks teha paigaldatud soojuspumba tegelik soojustegur ja hinnata soojuspumba tinglikku atmosfääriõhu saastamist eeldusel, et ta tarbib põlevkivielektrit. Soojuspumba tinglikku atmosfääri saastamist võrreldakse puidust, kergest kütteõlist ja maagaasist saadava soojuse atmosfääri heitmetega.

Tööd finantseeris põhiosas Sihtasutus Keskkonnainvesteeringute Keskus.

Uuringu koostajaks oli Eesti Kütte-ventilatsiooniinseneride Ühendus. Töörühma kuulusid Vello Penjam (projektijuht) ja Teet Tark, alltöövõtjatena osalesid Hevac OÜ ja Ecomatic AS.

Töö autorid tänavad SA Keskkonnainvesteeringute Keskust, pr Inge Roosi ja hr. Villu Varest TTÜ Soojustehnika Instituudist ning Endla Looduskaitseala direktorit hr. Toomas Võimet uuringu valmimisele kaasaaitamise eest.

## SISUKORD

1. Sissejuhatus.....	1
2. Uuringu objekti kirjeldus .....	2
2.1 Keskusehoone .....	2
2.2 Soojuspump .....	3
2.3 Küttesüsteemid.....	5
3. Soojuspumba soojusteguri määramine .....	5
3.1 Paigaldatud mõõteriistad.....	5
3.2 Soojustegur .....	7
4. Soojusenergia koormus ja ruumiõhu temperatuurid 2003/2004 kütteperioodil .....	8
5. Soojuspumba ja teiste soojussaamisviiside atmosfääri heitmete võrdlus .....	10
6. Eksperthinnang alakütmise põhjuste kohta.....	16
6.1 Küttesüsteemi projektlahendusest.....	16
6.2. Ruumiõhu ja soojuskandja temperatuurid .....	17
6.3. Küttekontuuri vooluhulgad .....	19
6.4. Põrandapinna temperatuurid .....	19
6.5. Kokkuvõte.....	19
6.6. Soovitused ja ettepanekud.....	19
7. Kokkuvõte.....	20

## 1. Sissejuhatus

Sihtasutus Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK) ja Eesti Kütte-Ventilatsiooniinseneride Ühendus (EKVÜ) sõlmisid 03.10.2003. a. sihtfinantseerimise lepingu nr.03-03-5/911, millega EKVÜ võttis endale kohustuse KIKi 2003. a tehnikaprogrammi projekti nr.8 „Soojuspumpade rakendusuuring soojustegurite määramiseks Eesti oludes ja saasteheidete keskkonnamõju võrdlemiseks kohtkütteil enamkasutatavate kütustega” teostamiseks.

Esialgsete kavade kohaselt kavatseti uurida mitut realselt tegutsevat soojuspumpa, mille kohta tehti KIK'ile taotlus. Kuna KIK rahuldab taotluse vaid osaliselt, siis osutus finantsvahendite limiteerituse tõttu võimalikuks teostada uuring vaid ühel objektil.

Rakendusuuringu objektiks valiti Endla LKA Tooma keskusehoone. Lähtudes säästva arengu seaduse põhiteesidest energeetiliste ressursside kasutamiseks, tuleb soojusallika optimaalse lahenduse leidmiseks analüüsida erinevate kütuste kasutamise variante, võttes arvesse ka kütuste põletamisel tekkivate saasteheidete mõjusid keskkonnale.

Käesoleva rakendusuuringu eesmärgiks oli:

- selgitada soojuspumba soojusteguri suurus, kontrollimaks müügi- ja paigaldusfirmade poolt pakutavaid suurus;

- koostada planeerimis- ja ehitusprojektide lahenduste keskkonnamõjude hindamiseks vajalikud andmed kütuste saasteheidete koguste kohta.

Soojuspumpade monitooringu käigus ilmnes, et hoone küttesüsteem ei kindlusta nõuetekohast sisetemperatuuri. Hoone alakütmise põhjuste väljaselgitamiseks täiendati Endla LKA juhatause palvel sihtfinantseerimise lepingut 15.09.2004 lisaga, mille kohaselt EKVÜ kohustus tegema hoone küttesüsteemi eksperthinnangu ja andma ettepanekud olukorra parandamiseks.

## 2. Uuringu objekti kirjeldus

### 2.1 Keskusehoone

Hoone on kolmekorruseline puitkonstruktsioonidest seintega, köetav pind 740 m<sup>2</sup>. Hoone rekonstrueeriti ja paigaldati uued tehnosüsteemid 2002.a.

Renoveerimisprojekti andmetel on välispiirete soojusjuhtivus:

- välisseinad  $U= 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
- mansardkorruse (3.korrus) välisseinad  $U= 30 \text{ W/m}^2\text{K}$
- mansardkorruse lagi  $U= 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$
- keldrilagi  $U= 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
- aknad  $U= 1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$

Igapäevaselt kasutatakse esimest korrust, kus paiknevad kaitseala töötajate tööruumid, saal ja kaitseala tutvustava väljapaneku ruum. Teine ja kolmas korrus on ette nähtud külaliste (teadlaste) majutamiseks ja kasutatakse perioodiliselt. Keldrikorrusel on saun puhkeruumiga ja mitteköetavad majandusruumid, kuhu on paigaldatud ka soojuspumbaseade.



Joonis 1 Endla LKA Tooma hoone välisilme

## 2.2 Soojuspump

Soojuspumba paigalduse projekti on koostanud Polar Maja, ehitanud OÜ PG Ehitus.

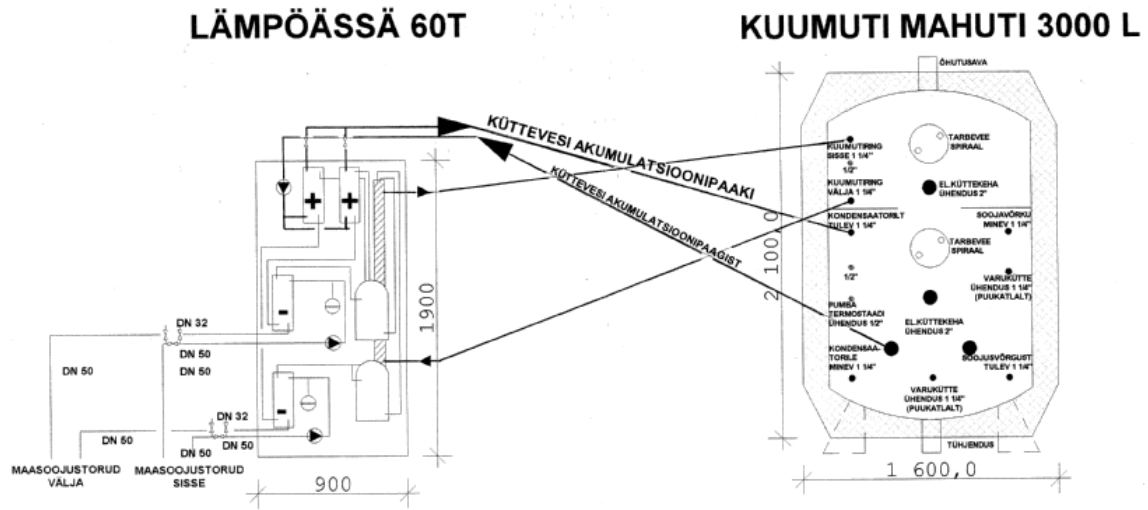
Hoone kütte soojuskoormuseks on arvestatud:

- |  |       |
|--|-------|
| • soojuskaod läbi välispiirete                                   | 35 kW |
| • välisõhuklappide kaudu infiltreeritava välisõhu soojendamiseks | 20 kW |
| Kokku  | 55 kW |

Kütteks ja sooja tarbevee valmistamiseks on paigaldatud 60 KW võimsusega soojuspump „Lämpössa GOT” koos 3000 l soojaveemahutiga. Soojusallikaks on hoonest ca 100m kaugusel asuv Linajärv, kuhu on paigaldatud 4 x 600 m soojustoru.

Sooja tarbevee valmistamiseks on soojuspumbal ka teine nn ülekuumendusenergia küttering, millega köetakse soojaveemahuti ülemist (ca 1/3 mahust) sektsiooni, kus on sooja tarbevee küttespiraalid (2 x 60 dm<sup>3</sup>/min). Võimsusreserviks on mahutis 4 x 9 KW elekterküttekehad. Soojuspumba komplekti kuulub ka automaatjuhtimise süsteem.

Soojuspumba põhimõtteline skeem on toodud alljärgneval joonisel.



Joonis 2 Soojuspumba põhimõtteline skeem



Joonis 3 Soojuspump (taamal paremas nurgas) koos veemahuti ja paisupaagiga



Joonis 4 Linajärve suunduvad torustikud

## 2.3 Küttesüsteemid

Küttesüsteemi on projekteerinud ja ehitanud OÜ PG Ehitus. Hoones on vesi-põrandaküttesüsteem, mis on jaotatud kaheks, eraldi segamissõlmedega küttesüsteemiks.

Ruumide kütteringide ühendamiseks on 11 jaotuskollektorikappi, kus paiknevad ruumide kütteringide sulgemis- ja reguleerimisventiilid. Sisetemperatuuri reguleerimine toimub tsentraalselt välisõhu temperatuuri järgi, segamissõlme elektrilise ajamiga 3-e tee ventiili abil.

Küttesüsteemi projekti arvutuste osas on toodud järgmised, süsteemi efektiivsust iseloomustavad, andmed:

- arvutuslik küttevõimsus 36,7 kW (s.h kelder 3,4 kW, 1.-, 2.- ja 3.korrus 33,3 kW)
- peavoolu maksimaalne temperatuur 44 °C
- peale- ja tagasivoolu temperatuuride vahe 8,4 °C
- ruumide ääretsoonide põrandapinna temperatuur 35 °C
- ruumide kesktsooni põrandapinna temperatuur 29 °C

## 3. Soojuspumba soojusteguri määramine

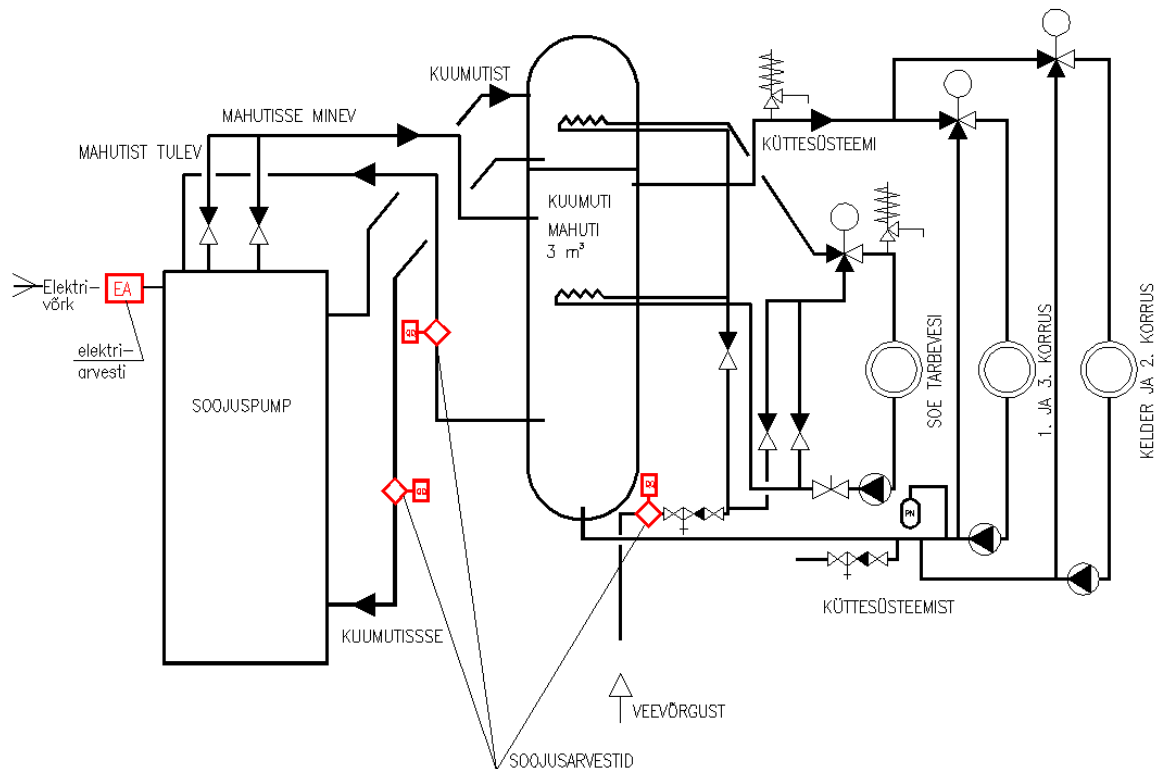
### 3.1 Paigaldatud mõõteriistad

Elektrienergia kulu mõõtmiseks paigaldati kaks mälublokiga elektrienergia arvestit (Kamstrup), üks soojuspumba toitele ja teine soojaveemahuti elektriküttekehade toitele.

Soojuspumba toite elektrimõõtja arvestas ka järvevee ja paagi tsirkulatsioonipumpade elektrienergiat. Samas tuleb märkida, et soojaveemahuti elekterküttekehad ei tarbinud kogu uuritud perioodi jooksul elektrienergiat.

Toodetava soojusenergia hulga mõõtmiseks paigaldati kaks mälublokiga soojusenergia arvestit (Kamstrum 10), üks soojaveemahuti põhikütteringile, teine ülekuumendusenergia kütteringile. Mõõtjad asetsesid soojuspumba ja mahuti vahelistel torustikel.

Hindamaks soojatarbevee energiakulusid paigaldati lisaks kolmas mälublokiga soojusenergia arvesti (Kamstrum). Arvesti mõõtis mahutisse mineva külma veekiulu ja mahutist väljuva soojatarbevee ning mahutisse mineva külma veekiulu temperatuuride vahet. Energiarvestite paiknemine on toodud alljärgneval joonisel.



Joonis 5 Soojusvarustuse põhimõtteline skeem ja energiameetrite paiknemine

Energiameetrid on taadeldud AS Tepso poolt ja vastavad EN 1434 kohaselt metrooloogilise klassi 3 nõuetele.





**Joonis 6. Paigaldatud soojusmõõturid**

Kogu automaatika töötas vastavalt Töövõtja poolt ehitise üleandmisel seadistatud tingimustel ja parameetritel.

Küttesüsteemi efektiivsuse hindamiseks paigaldati välisõhu, korruste siseõhu ja põrandapinna temperatuuri registraatorid.

### **3.2 Soojustegur**

Soojuspumba efektiivsust iseloomustab soojustegur (*ingl. COP coefficient of performance*). Soojustegur näitab kui palju saadakse soojusenergiat ühe kulutatud elektrienergia ühiku kohta. Näiteks soojusteguri 3 korral kulub kolme ühiku soojuse saamiseks 1 ühik elektrienergiat.

Mõõturid paigaldati 14.11.2003 ja viimased näidud võeti 14.03.2005. Kokku oli mõõteperioodi pikkus aasta ja 4 kuud.

Alljärgnevasse tabelisse on koondatud energiatarbimised erinevatel perioodidel ja nendele vastavad soojustegurid.

**Tabel 1 Energia tarbimised ja soojuspumba soojustegurid mõõteperioodil**

Periood	Näit, MWh		Tarbimine, MWh		Soojustegur	
	Elekter	Soojus	Elekter	Soojus	Periood	Algusest
14.11-26.11.03	2,70	6,63	2,704	6,63	2,45	2,45
26.11.03-8.01.04	12,91	32,498	10,208	25,868	2,53	2,52
8.01-4.02.04	20,52	52,369	7,603	19,871	2,61	2,55

Periood	Näit, MWh		Tarbimine, MWh		Soojustegur	
	Elekter	Soojus	Elekter	Soojus	Periood	Algusest
4.02-24.03.04	32,75	80,523	12,239	28,154	2,30	2,46
24.04-20.12.04	63,91	158,07	31,16	77,547	2,49	2,47
20.12.04-02.03.05	84,94	205,7	21,028	47,63	2,27	2,42
02.03.05-08.03.05	87,01	210,39	2,068	4,69	2,27	2,42
08.03-14.03.05	89,59	216,21	2,576	5,82	2,26	2,41

Soojusteguri maksimaalne väärtus 2,61 oli 2004. aasta jaanuari kuus. Aasta keskmine soojustegur oli 2,47. See tähendab, et 2,47 ühiku soojuse saamiseks kulus aastas keskmiselt 1 ühik elektrienergiat. Mõõteperioodi keskmine soojustegur oli 2,41.

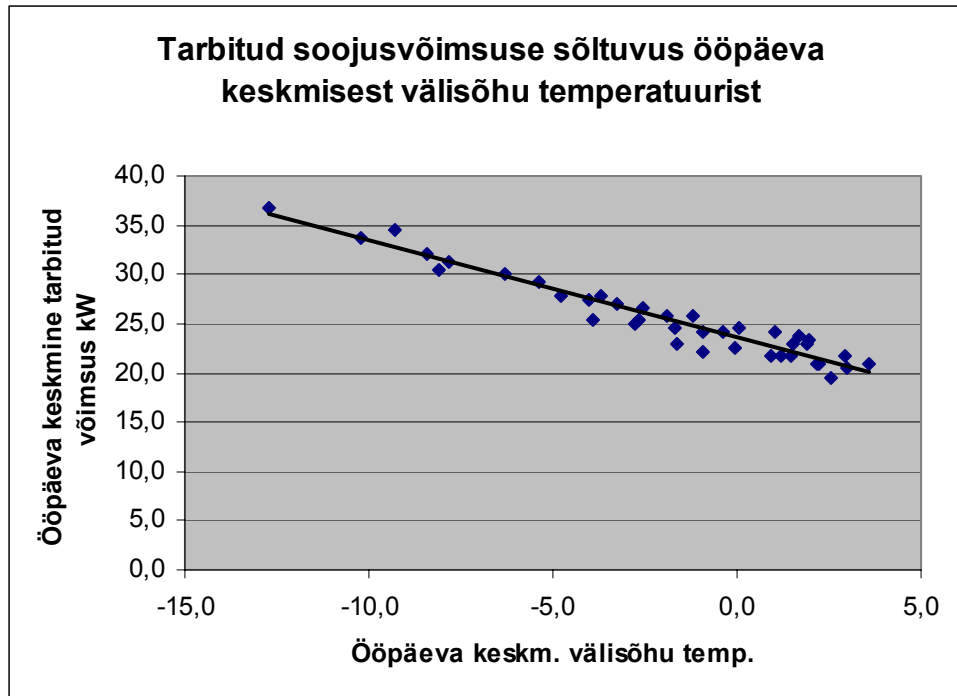
Antud soojuspumba omapäraks on nn. ülekuumendusgaasi kasutamine soojatarbevee valmistamiseks. Kuna soojavee temperatuur peab olema kõrgem põrandküttesüsteemi mineva vee temperatuurist, siis nimetatud tehniline lahendus alandab pumba soojustegurit.

Kogu mõõteperioodi jooksul oli soojatarbeveele kulunud soojusenergia kõigest 2,47 MWh ehk 1,14 % kogu tarbitud soojusenergiast. Arvestades soojatarbevee tühist osakaalu, tundub selline ülekuumendatud gaasiga soojavee valmistamine ebaotstarbekas.

Kui eeldada, et ühe 1 MWh elektrienergia maksumus on 1000 krooni, siis oleks sooja vee valmistamiseks ilma soojuspumbata kulunud kogu vaadeldud perioodi jooksul ca 2 500 krooni eest elektrienergiat. Normaalse töö korral peaks soojuspumba keskmine kasutegur olema suurusjärgus 3. Sellisel juhul oleks elektritarbimine olnud ca 15 MWh võrra ehk ca 15 000 krooni võrra väiksem. Soojuspumba primaarpoole ringluspump on võimsusega 550 W. Kui eeldada, et kütteperioodi väline aeg on 5 kuud ehk 3650 tundi, siis kuluks soojavee valmistamiseks suurusjärgus 1 MWh tsirkulatsioonipumba tarbeks elektrienergiat, mis on samas suurusjärgus samal perioodil tarbitava soojavee energiaga. Seetõttu tuleks kaaluda soojavee valmistamisel soojuspumbast ja paigaldada soojavee tarbeks mahtboiler. Külmal perioodil võiks kasutada soojuspumba soojavee eelsoojenduseks.

#### **4. Soojusenergia koormus ja ruumiõhu temperatuurid 2003/2004 kütteperioodil**

Soojuspumbast tarbitud ööpäeva keskmist võimsust illustreerib alljärgnev joonis.



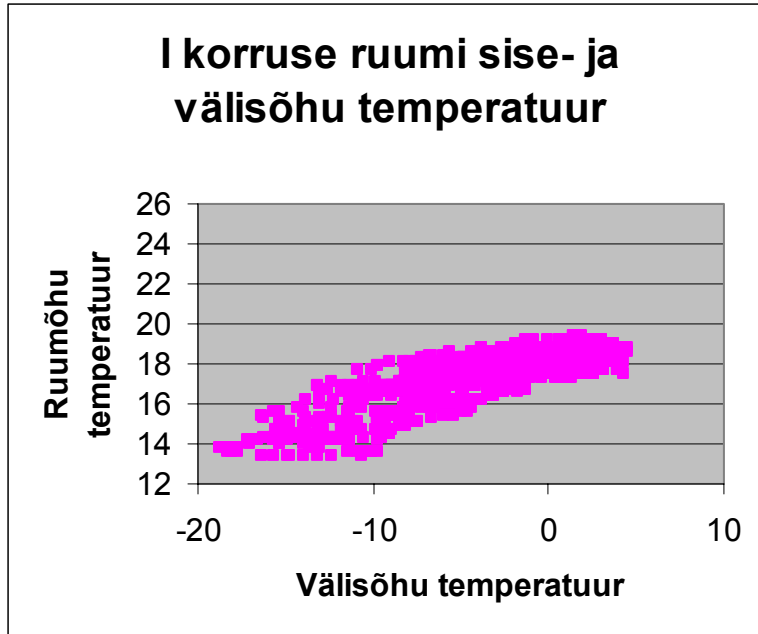
**Joonis 7 Ööpäeva keskmine soojuskoormus (-võimsus) sõltuvalt välisõhu temperatuurist**

Joonise tõlgendamisel tuleb arvestada, et hoone oli alakõetud ja siseõhu temperatuurid olid ettenähtust madalamad (vt. joonist 2 ja 3). Hoone tegelik soojuskoormus arvutuslikel tingimustel (välisõhu temperatuur  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja siseõhu temperatuur  $+21$ ) on suurusjärgus 60 kW, mis on vastab soojuspumba nimivõimsusele.

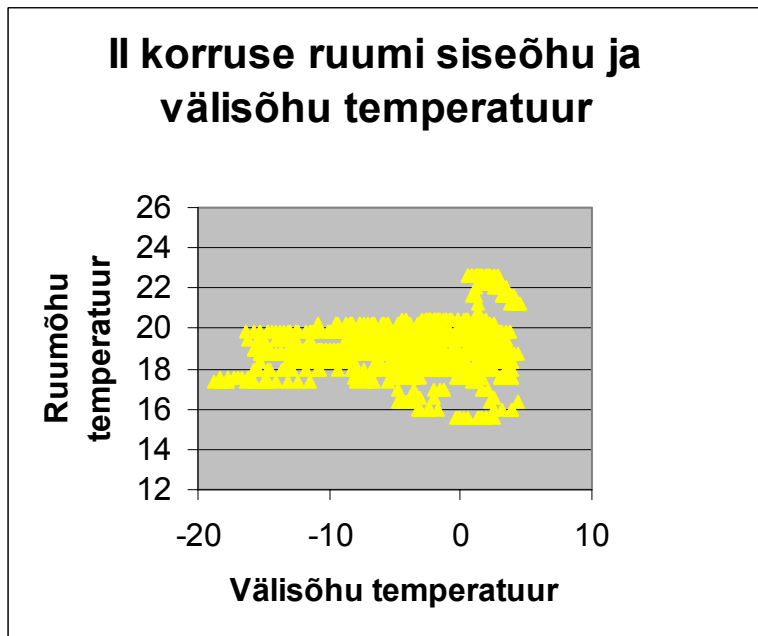
Hoone soojapidavus ei vasta tänapäeva hoonete nõuetele. Hoonet iseloomustavad järgmised erinäitajad:

arvutuslik erisoojusvõimsus	81 W/m <sup>2</sup>
aastane erisoojuskulu	250 kWh/m <sup>2</sup> a

Mõõteperioodil oli ruumiõhu temperatuur valdavalt alla  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Külmade ilmade korral oli esimese korruse ruumiõhu temperatuur kohati alla  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Põrandapinna temperatuur ei tõusnud üle  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja oli külmade ilmade korral oli alla  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Seega töötas küttesüsteem ebaefektiivselt ja ei taganud ruumiõhu vajalikku temperatuuri.



Joonis 8 I korruse ruumi siseõhutemperatuurid



Joonis 9 II korruse ruumi siseõhutemperatuurid

## 5. Soojuspumba ja teiste soojussaamisviiside atmosfääri heitmete võrdlus

Soojuspumba kasutamisega kaasnevate atmosfääri paisatavate saasteainete mõju hindamiseks on käesoleva töö raames tinglikult võrreldud, millised on sõltuvalt soojuspumba soojustegurist süsihappegaasi CO<sub>2</sub>

vääveldioksiidi SO<sub>2</sub>  
lämmastikoksiidide NO<sub>x</sub>

emissioonid võrreldes teiste enam levinud energiakandjatega nagu

otse elekterküte põlevkivist  
kerge kütteõlist  
maagaasist ja  
puidust.

Emisioonide arvutamisel on lähtutud alljärgnevas tabelis toodud eeldustest.

**Tabel 2 Emissioonid atmosfääri energia tootmisel väljastava energia kohta**

Energialiik ja selle saamiseks kasutatav kütus	Energia-tootmise eeldatav kasutegur	Heitmed 1 MWh väljastatava energia kohta		
		t CO <sub>2</sub> /MWh	kg SO <sub>2</sub> /MWh	kg NO <sub>x</sub> /MWh
Põlevkivielekter vanadest toimpõletusega energiablokkidest	29%	1,324	12,324	1,552
Põlevkivielekter uutest keevkihttehnoloogiaga energiablokkidest	34%	1,118	<0,420	1,323
Soojus kergel kütteõlil töötavast katlast	90%	0,294	0,189	0,818
Soojus maagaasil töötavast katlast	88%	0,224	0 <sup>1</sup>	0,600
Soojus puitkütustel töötavast katlast	75%	0 <sup>2</sup>	<2,791 <sup>3</sup>	0,480

Endla LKA soojuspumba emissioonide arvutamisel on lähtutud järgmistest eeldustest

aastane soojusenergia tarbimine 185 MWh  
keskmine aastane soojustegur 2,47

Endla LKA soojusenergia tarbimisest tingitud aastased heitmete kogused, sõltuvalt energia saamise viisist, on toodud alljärgnevas tabelis.

<sup>1</sup> Kuni 100 ppm väävlisisaldusega gaasid loetakse väävliivabaks ja väävliheitmeid ei arvestata. Tüüpiliselt on väävlisisaldus maagaasis ainult 1 ppm.

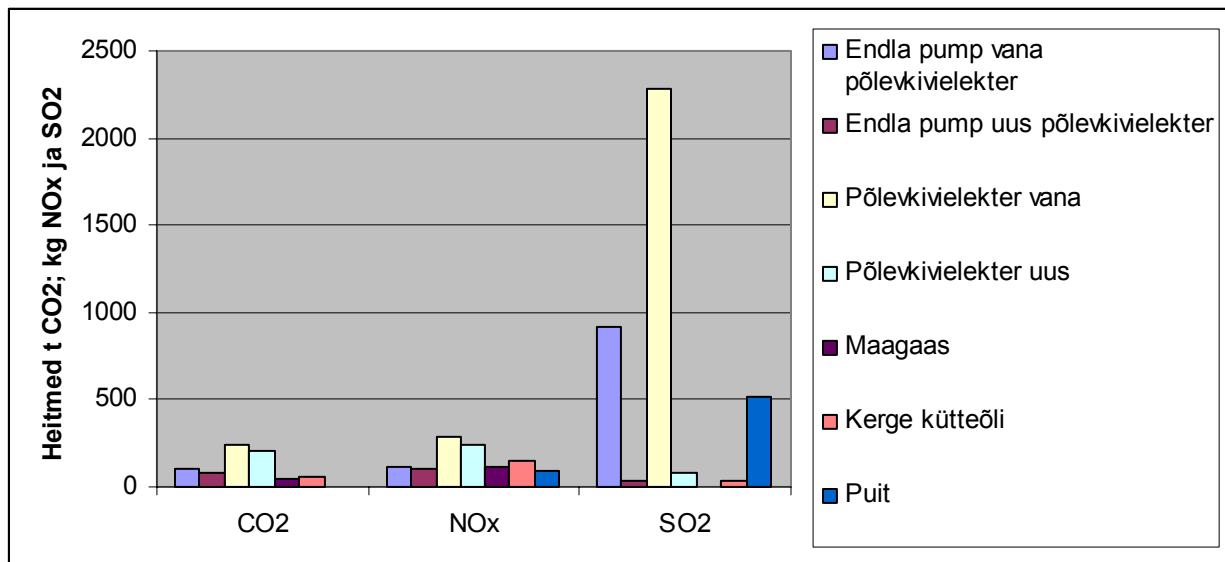
<sup>2</sup> vastavalt rahvusvahelisele kokkuleppele loetakse biokütuste (sh puidu) põletamisel tekkiv süsinikdioksiidi heitkogus nulliks, sest biokütused on kasvamise käigus absorbeerinud atmosfäärist samasuure koguse süsinikdioksiidi

<sup>3</sup> Lehtpuidu korral küünib väävliheitmete tase kuni toodud väärtusteni, okaspuude korral on sellest madalam.

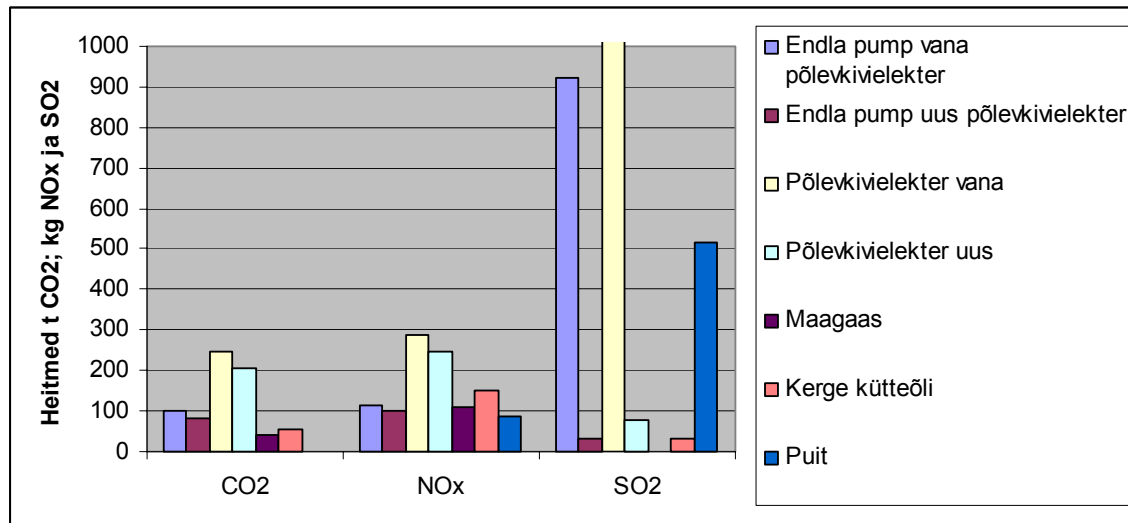
**Tabel 3 Endla LKA soojusenergia tarbimisega kaasnevad aastased atmosfääri heitmed sõltuvalt energia saamise viisist**

Energia saamise viis	T CO <sub>2</sub>	kg NO <sub>2</sub>	kg SO <sub>x</sub>
Endla pump vana põlevkivielekter	99,2	116,2	923,1
Endla pump uus põlevkivielekter	83,7	99,1	31,5
Põlevkivielekter vana (otse)	245,0	287,0	2279,9
Põlevkivielekter uus (otse)	206,8	244,8	77,8
Maagaas	41,5	111,0	0,0
Kerge kütteõli	54,4	151,4	32,1
Puit	0,0	88,8	516,4

Tabelis toodud arve illustreerivad alljärgnevad graafikud.



**Joonis 10 Endla LKA soojusenergia tarbimisega kaasnevad aastased atmosfääri heitmed sõltuvalt energia saamise viisist**



Joonis 11 Endla LKA soojusenergia tarbimisega kaasnevad aastased atmosfääri heitmed sõltuvalt energia saamise viisist (väiksem y-telje skaala)

Võrreldes soojuspumpa otse elekterküttega on selge, et atmosfääri heitmed on soojuspumbal soojusteguri võrra väiksemad.

**Süsinikdioksiidi** osas on soojuspumba tinglikud saastekogused võrreldes maagaasi ja kergekütteõliga vastavalt 2,3 ja 1,7 korda suuremad. Kuna vastavalt rahvusvahelisele kokkuleppele loetakse biokütuste (sh. puidu) põletamisel tekkiv süsinikdioksiidi heitkogus nulliks, sest biokütused on kasvamise käigus absorbeerinud atmosfäärist samasuure koguse süsinikdioksiidi, siis soojuspumba CO<sub>2</sub> heitkogused on puidu omadest oluliselt suuremad.

**Lämmastikoksiidide** osas on soojuspumba heitmed samas suurusjärgus maagaasiga, 10...15 % kõrgemad puidust ja ca 40...50 % madalamad kergest kütteõlist saadavast soojusest.

**Vääveldioksiidi** osas sõltub võrdlus põlevkivielektri saamisviisist. Uued keevkihtkatelde väävliemisioonid on vanade katelde omadest ca 30 korda väiksemad. Hinnanguliselt on uute kateldega toodetava energia osakaal ca 1/3 kogu põlevkivist toodetud elektrienergiast. Seega oleks põlevkivi energia keskmiseks vääveldioksiidi heitmeteks otse elektri korral 1553 kg ja Endla LKA soojuspumba korral 629 kg. Kerge kütteõliga võrreldes on soojuspumba heitmed ca 20 korda suuremad ja puidu korral ca 10...15 % suuremad. Maagaasi põletamise korral vääveldioksiidi praktiliselt ei eraldu.

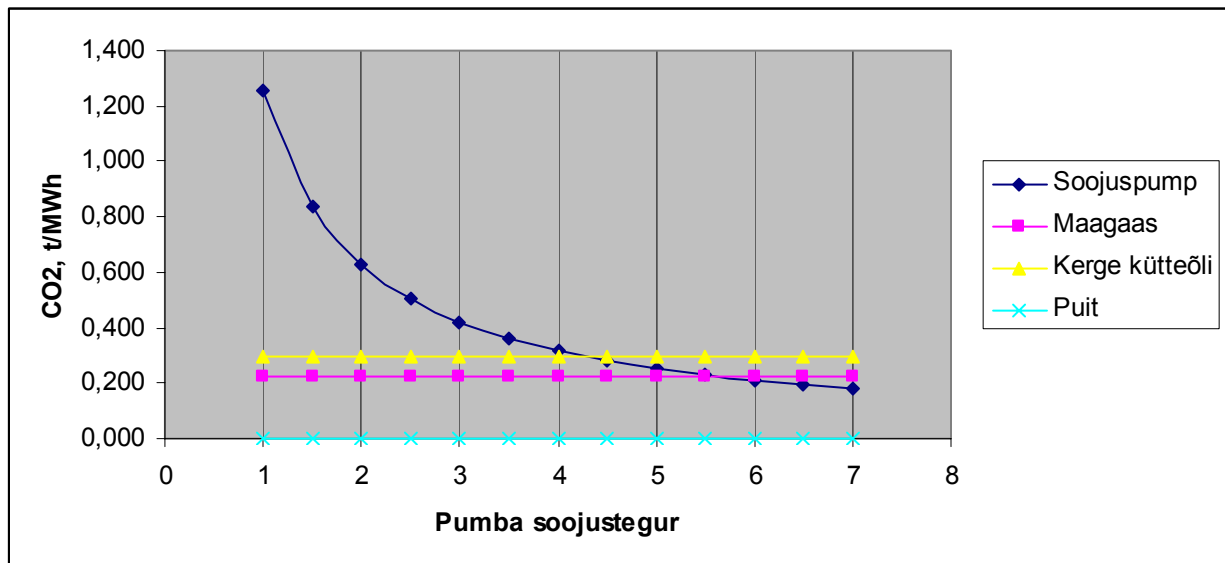
**Kui eeldada, et Endla LKA soojuspump tarbiks põlevkivi elektrienergiat, siis süsinikdioksiidi ja väävli osas on nii maagaasist, puidust kui ka kergest kütteõlist saadaval soojusel atmosfääri heitmed suuremad soojuspumbal. Soojuspumbal on heitmete kogus väiksem ainult lämmastikoksiidide osas ja sedagi ainult kerge kütteõliga võrreldes.**

Alljärgnevalt on analüüsitud, milline peaks olema suvalise soojuspumba soojustegur, et ta atmosfääri heitmed oleksid väiksemad, kui sama soojusenergia saamiseks kateldes, mis kasutaksid kütusena kas puitu, maagaasi või kerget kütteõli.

Arvutustes on lähtunud järgmistest eeldustest:

- Heitmete koguste määramisel on lähtunud tabelis 2 toodud väärtustest
- Elektrit toodetakse Narva Elektri jaamades põlevkivist, kusjuures 2/3 toodetakse vanadest blokkides ja 1/3 uutest keevkiht kateldegaga blokkides.

Arvutustulemusi iseloomustavad alljärgnevad graafikud.

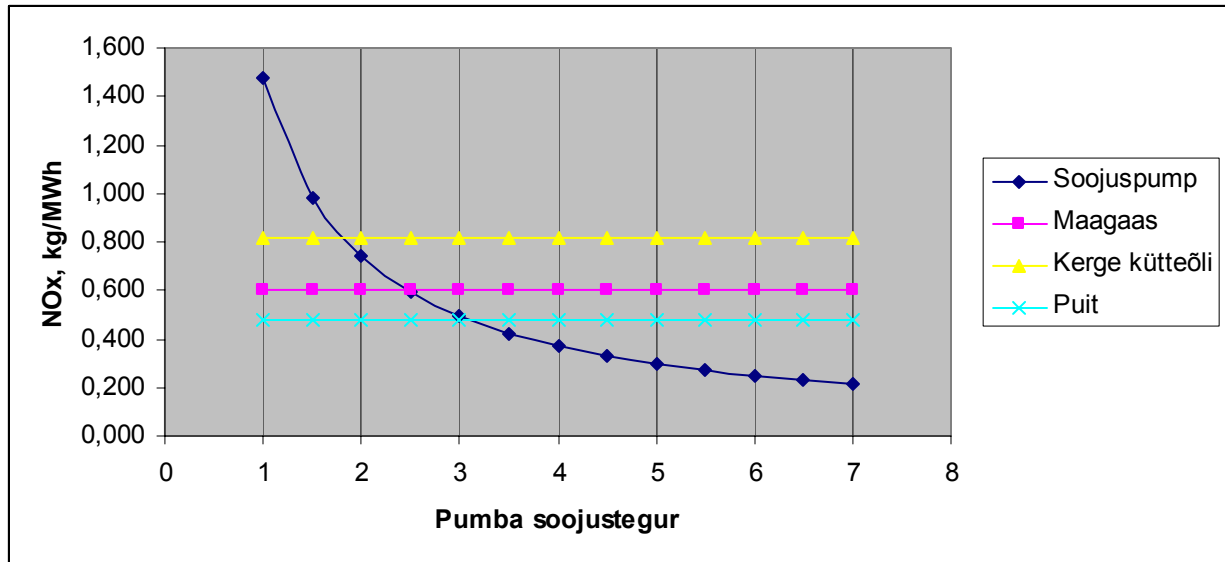


Joonis 12 Soojuspumba soojustegur ja süsinikdioksiidi emissioon

Nagu graafikult näha, peaks eeltoodud eelduste korral olema selleks, et soojuspumba tinglikud CO<sub>2</sub> heitmed oleksid väiksemad

- kergest kütteõlist saadud soojusenergiast ta soojustegur suurem 4,3
- maagaasist saadud soojusenergiast ta soojustegur suurem 5,6

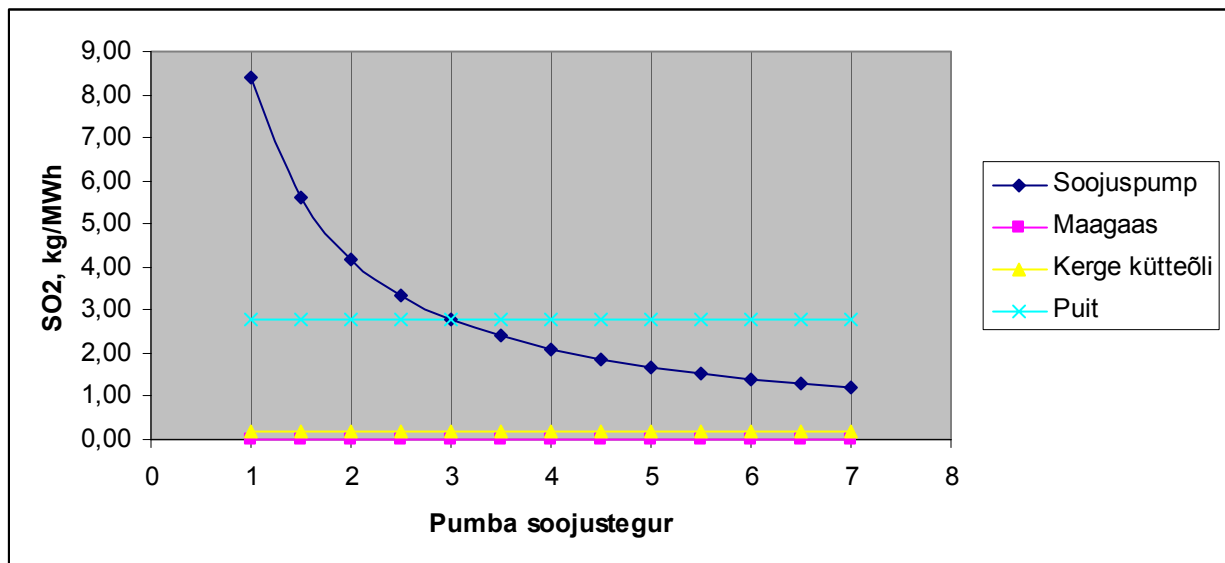




Joonis 13 Soojuspumba soojustegur ja lämmastikdioksiidide emissioon

Nagu graafikult näha, peaks eeltoodud eelduste korral olema selleks, et soojuspumba tinglikud NO<sub>x</sub> heitmed oleksid väiksemad

- kergest kütteõlist saadud soojusenergiast, peaks ta soojustegur suurem 1,7
- maagaasist saadud soojusenergiast, peaks ta soojustegur suurem 2,5
- puidust saadud soojusenergiast, peaks ta soojustegur suurem 3,2.



Joonis 14 Soojuspumba soojustegur ja vääveldioksiidi emissioon

Nagu graafikult näha, peaks eeltoodud eelduste korral olema selleks, et soojuspumba tinglikud SO<sub>2</sub> heitmed oleksid väiksemad puidust saadud soojusenergiast, peaks ta soojustegur suurem 3. Kergest kütteõlist ja maagaasist väiksemat heitmete kogust ei ole soojuspumbaga võimalik saavutada.

Arvestades, et kütteks kasutatava soojuspumba aasta keskmine kasutegur on üldjuhul vahemikus 2,5...4, siis põlevkivi elektrit tarviva soojuspumba tinglikud atmosfääri heitmed ületavad CO<sub>2</sub> osas maagaasist, kergest kütteõlist ja puidust saadava soojuse atmosfääri heitmeid. Soojuspumba tinglikud atmosfääri heitmed võivad olla väiksemad lämmastikoksiidide osas kõigi eelpool nimetatud kütuste korral ja vääveldioksiidi osas ainult puidu kasutamisel.

## 6. Eksperthinnang alakütmise põhjuste kohta

Vastavalt Endla LKA Administratsiooni palvele sõlmisid KIK ja EKVÜ 15.09.2004 täiendava leppe, millega EKVÜ kohustub selgitama hoone alakütmise põhjuseid ja tegema ettepanekuid sisetemperatuuri normaliseerimise abinõude kohta.

Alakütmise põhjuste väljaselgitamiseks analüüsiti projektlahendust ja teostati objektil 02.03.-14.03.2005 täiendavaid uuringuid ning mõõtmisi:

- Perioodiks 02.03-14.03.2005 paigaldati täiendavad temperatuuri-registraatorid hoone küttesüsteemi mõlema kütteringi peavoolu- ja tagasivoolutorudele;
- 02.03.2005 mõõdeti küttesüsteemi kontuuride vooluhulkasid;
- 08.03.2005 kella 14:00 paiku tõsteti esimese ja kolmanda korruse küttekontuuri temperatuuri graafikut;
- 02.03.2005 ja 14.03.2005.a. keskpäeval mõõdeti põrande ning välisseinte sisepindade temperatuure.

### 6.1 Küttesüsteemi projektlahendusest

Projektiseletuskirjas on hoone kütte soojuskoormuseks arvestatud:

- Soojakaod läbi välispiirete 35 kW
- Ventilatsioonisüsteemidega väljatõmmatava õhu kompensatsiooniõhu soojendamiseks 20 kW
- Küttesüsteemi soojusväljastusvõimsus 55 kW

Ekspertiisi käigus tehtud soojuskadude kontrollarvutused andsid küttesüsteemi soojuskoormuseks:

- Soojakaod läbi välispiirete 33,1 kW
- Välisõhu (kompensatsiooniõhu) soojendamiseks 17 kW

Projektkohane soojuskoormus kütteks oleks pidanud olema 50,1 kW. Projekti vesipõrandakütte arvutusest aga ilmneb, et küttesüsteemi soojusväljastuse võimeks on arvestatud 36,6 kW. **Seega ei ole küttesüsteemi küttepindadesse (kütetorude kütteringidesse) installeeritud välisõhu soojendamiseks vajalikku võimsust.**

Küttesüsteem on jaotatud kaheks, eraldi segamissõlmedega küttegruppideks, üks grupp keldrikorruse saunaruumidele ja teisele korrusele, teine grupp esimesele ja kolmandale korrusele.

**Arvestades asjaolu, et alaliselt kasutatakse ainult esimest korrust, oleks 2. ja 3. korruse kütmisel säästurežiimi rakendamiseks olnud otstarbekas ehitada iga korruse tarvis eraldi soojussõlmedega küttegrupid.**

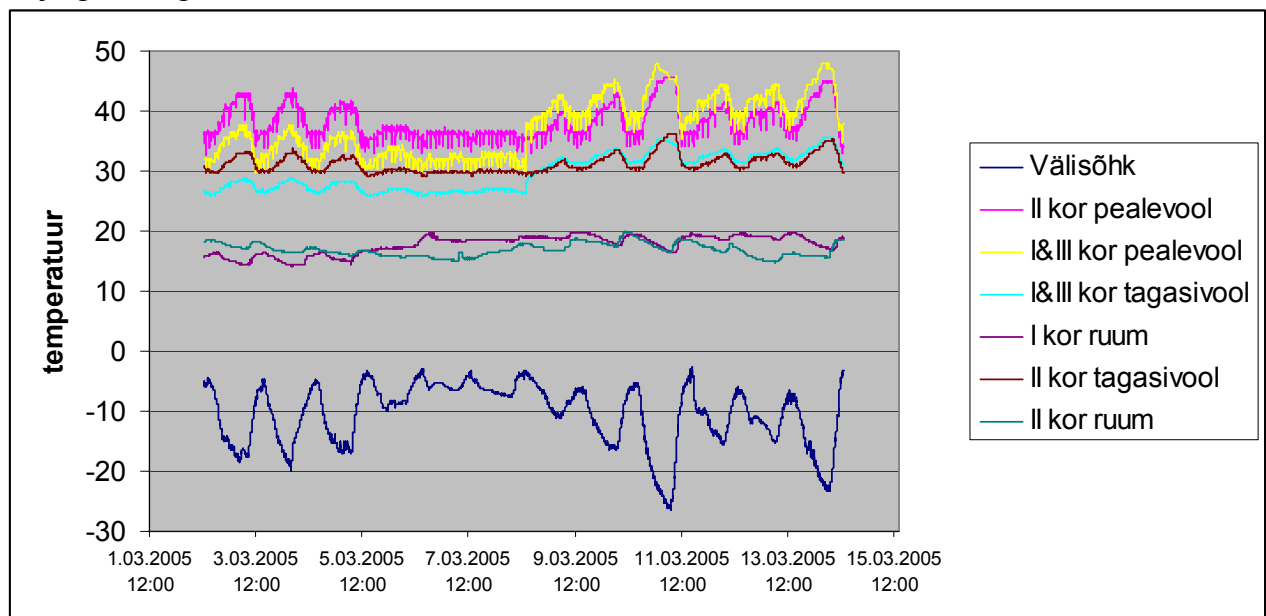
Projekteerija ei ole ette näinud ruumide sisetemperatuuride autonoomseks reguleerimiseks vajalikke ruumitermostaate ja ajamiga reguleerimisventiile kütteringidele.

**Tuleb nentida, et küttesüsteemi automatiseerimise tase ei ole küllaldane ega arvesta ruumide muutuvaid soojuskoormusi, mis põhjustatud hoones kasutatud ventilatsioonilahendustest.**

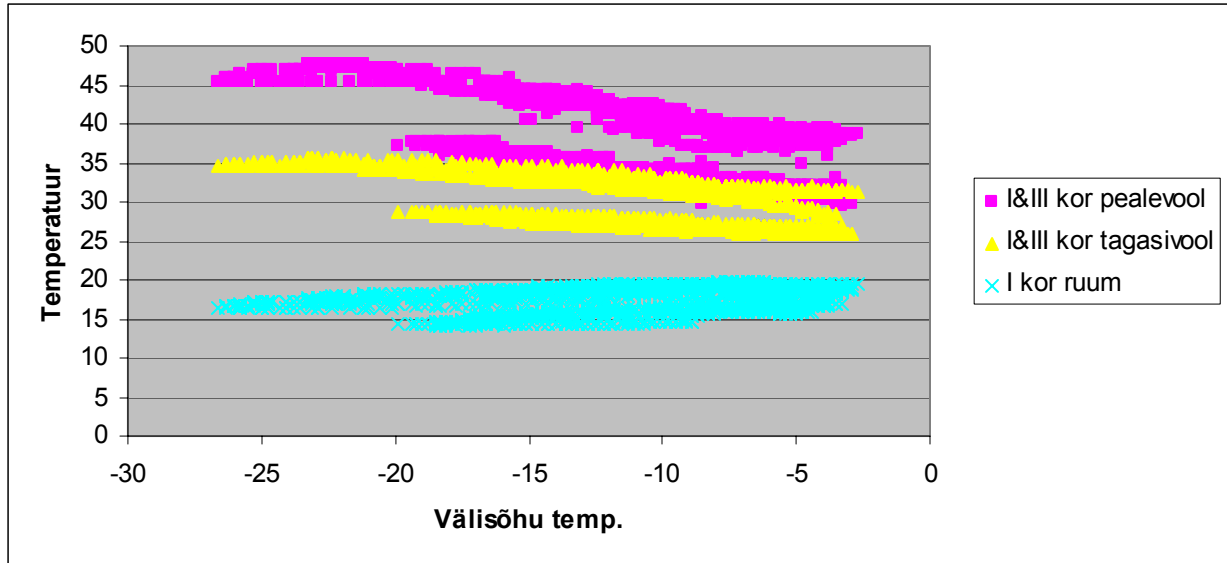
## **6.2. Ruumiõhu ja soojuskandja temperatuurid**

Mõõteperioodi (02.03-14.03.2005) ajal oli välisõhu temperatuur suhteliselt madal ja see periood iseloomustab küllaltki hästi külma talvist olukorda. Perioodi keskmine välisõhu temperatuur oli  $-10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

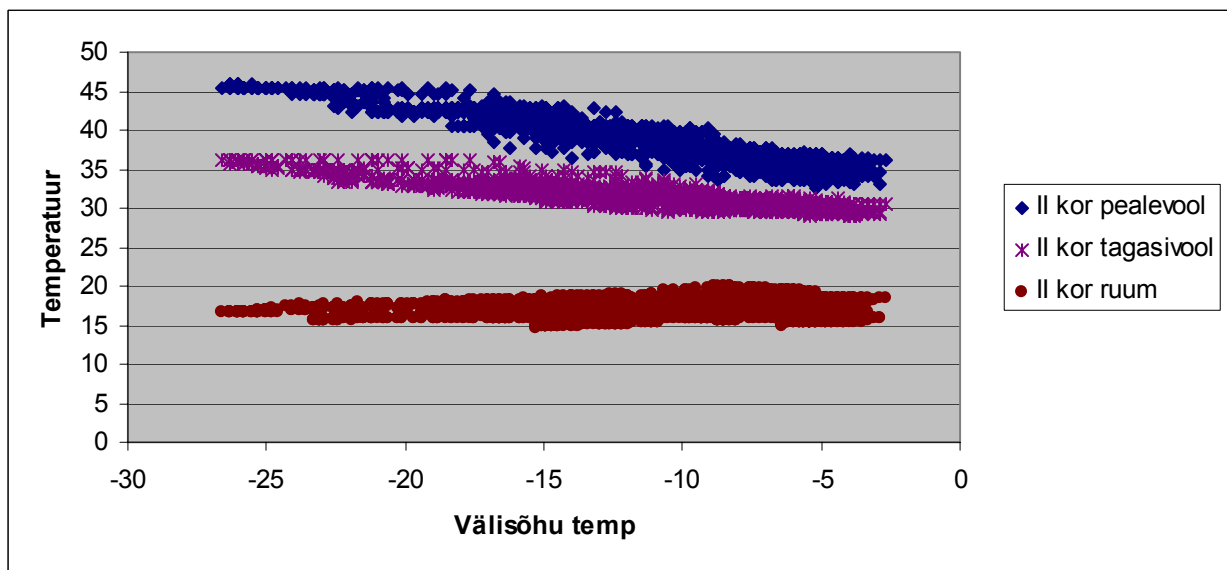
Alljärgnevad graafikud illustreerivad mõõtmistulemusi.



**Joonis 15 Temperatuurid mõõteperioodil**



Joonis 16 I ja III korruse soojuskandja ning I korruse ruumi temperatuurid sõltuvalt välisõhu temperatuurist



Joonis 17 II korruse soojuskandja ja ruumi temperatuurid sõltuvalt välisõhu temperatuurist

Mõõtmistest võib teha järgmised üldistused:

- Alates 08.03.2005. soojuskandja I ja III korruse kontuuri pealevoolu temperatuuri tõstmise tagajärjel tõusis ruumiõhu temperatuur 3...4 °C võrra;
- Vaatamata soojuskandja temperatuuri tõstmisele ei tagatud ruumis ette nähtud siseõhu temperatuuri;
- Mida külmem oli välisõhu temperatuur, seda madalam oli ruumiõhu temperatuur, mis viitab temperatuuri graafiku liiga madalale tõusunurgale;
- Soojuskandja temperatuuri lang küttekontuuris oli välisõhu arvutuslike temperatuuride juures ca 10...12 °C, mis on märgatavalt kõrgem projektikohasest

(8 °C) ja põrandkütte soovituslikust (5 °C). Suur temperatuuri lang viitab liiga väikesele vooluhulgale;

- Küttesüsteemi temperatuuri kvalitatiivse reguleerimise graafikud ei vastanud hoone tegelikele soojustehnilistele näitajatele.

### **6.3. Küttekontuuri vooluhulgad**

02.03.2005. a. mõõdeti I ja III ning II korruse küttekontuuride vooluhulkasid. Mõõtmistulemused näitasid, et tegelikud vooluhulgad olid ligilähedased projektikohaste näitajatega.

**Kuna soojuskandja temperatuuri lang oli suurem projektikohasest ja ruumides ei tagatud ette nähtud siseõhu temperatuure, võib teha järelduse, et hoone tegelikult soojuskaod on suuremad projektikohastest.**

### **6.4. Põrandapinna temperatuurid**

02.03.2005 mõõdeti osade ruumide põrandatemperatuure. Mõõtmiste ajal oli välisõhu temperatuur -5...-6 °C. III korruse saalis oli põrandapinna temperatuur 15,5...17 °C, II korruse ruumis 21,5...22,5 °C ja I korruse ruumis 15,5...17 °C.

14.03.2005 mõõdeti samade ruumide põrandapindade temperatuure. Võrreldes varasema mõõtmisega oli vahepeal tõstetud I ja III korruse kontuuri küttegaafiku ülemist punkti ca 10 °C võrra. Välisõhu temperatuur oli praktiliselt sama (-5 °C), kui eelmiste mõõtmiste ajal. III korruse saali põrandate temperatuur oli 19...22 °C, teise korruse ruumis 22...23 °C ja I korruse ruumis 20,5...22,5 °C.

Põrandapinna temperatuuri mõõtmistest võib teha järgmised üldistused:

- Põrandapinna temperatuurid olid lubamatult madalad ja ei võimaldanud efektiivselt ruume kütta;
- Soojuskandja temperatuuri tõstmine ca 10 °C võrra, tõstis vastavaid põrandapinna temperatuure ca 4...6 °C võrra ja ruumiõhu temperatuure 3...4 °C võrra;
- Ca 10 °C võrra soojuskandja temperatuuri tõstmine ei olnud piisav vajaliku põrandapinna temperatuuri ja nõuetekohase siseõhu temperatuuri tagamiseks.

### **6.5. Kokkuvõte**

Hoone alakütte põhilisteks põhjusteks on:

- Projektikohasest suuremad soojuskaod ;
- Küttesüsteemi kvalitatiivse reguleerimise graafiku mittevastavus hoone tegelikele soojustehnilistele näitajatele;
- Soojuskandja ebapiisav vooluhulk küttekontuurides;
- Küttesüsteemi soojusväljastuse reguleerimisvõimaluste puudulikkus.

### **6.6. Soovitused ja ettepanekud**

Arvestades, et hoone soojustehnilistesse süsteemidesse on juba tehtud märkimisväärseid investeeringuid ja süsteemide täielik renoveerimine on tehniliselt komplitseeritud ja

kulukas, ei ole reaalne nende suurmahuline renoveerimine. Seetõttu soovitaksime piirduda allpool toodud ettepanekutega ja leppida olukorraga, et eriti külmade ilmadega võib osutada vajalikuks osade ruumide täiendav kütmine otseelektriga (puhurid ja/või radiaatorid).

Ruumiõhu temperatuuride tõstmiseks ja energia otstarbekamaks kasutamiseks soovitame:

- Suurendada küttekontuuride vooluhulka. Sellega kaasneks väiksem temperatuuri lang küttekontuurides ja põrandapinna keskmise temperatuuri tõus. Vooluhulga suurendamiseks tuleks paigaldada küttekontuuridele suuremad tsirkulatsioonipumbad. Pumpade tootlikkus peaks olema ca 1,75 korda ja arendatav rõhk ca 3 korda suurem;
- Viia kütte kvalitatiivse reguleerimise graafikud vastavusse hoone tegelike soojustehniliste näitajatega;
- Kui konkreetne soojuspump võimaldab loobuda soojavee valmistamiseks ülekuumendusgaasi kontuuri kasutamisest, siis võiks pumba soojusteguri tõstmiseks kaaluda soojavee tarbeks elektri mahtboileri paigaldamist.

## 7. Kokkuvõte

Käesolev rakenduslik uuring käsitles Endla Looduskaitseala hoones paiknevat soojuspumba koos sinna juurde kuuluva küttesüsteemiga.

Soojuspumba arvutuslik võimsus on 60 kW. Soojust ammutatakse läheduses olevast Linajärvest. Uuringu põhjal selgus, et paigaldatud soojuspumba aastaseks keskmiseks soojusteguriks (COP) kujunes 2,47. Antud soojuspumba omapäraks on nn. ülekuumendusgaasi kasutamine soojatarbevee valmistamiseks. Kuna soojavee temperatuur peab olema kõrgem põrandküttesüsteemi mineva vee temperatuurist, siis nimetatud tehniline lahendus on üheks pumba soojusteguri suhteliselt madala näitaja põhjuseks.

Uuringu läbiviimisel selgus, et ruumide õhutemperatuur on ettenähtust madalam. Uuringu käigus anti eksperthinnang probleemi olemusele ja soovitused olukorra parandamiseks.

Töös analüüsiti soojuspumba tingliku atmosfääri saastamist ja võrreldi neid heitmete kogustega, mida saadaks soojuse tootmisel maagaasi, puidu ja kerge kütteõli põletamisel. Kui eeldada, et Endla LKA soojuspump tarbiks põlevkivi elektrienergiat, siis süsikdioksiidi ja väävli osas on nii maagaasist, puidust kui ka kergest kütteõlist saadaval soojusel atmosfääri heitmed suuremad soojuspumbal. Soojuspumbal on heitmete kogus väiksem ainult lämmastikoksiidide osas ja sedagi ainult kerge kütteõliga võrreldes.

Töös on kajastatud põlevkivi elektrit tarbiva soojuspumba soojusteguri ja saasteainete eriheitmete koguste vahelised sõltuvused ühe tarbitud MWh soojusenergia kohta. Samuti on välja toodud põlevkivi elektrit tarbiva soojuspumba soojusteguri minimaalsed väärtused, millisest alates on soojuspumba tinglik atmosfääri saastamine väiksem puidust, kergest kütteõlist ja maagaasist saadud soojusest. Arvestades, et kütteks kasutatava soojuspumba aasta keskmine kasutegur on üldjuhul vahemikus 2,5...4, siis

põlevkivi elektrit tarbiva soojuspumba tinglikud atmosfääri heitmed ületavad CO<sub>2</sub> osas maagaasist, kergest kütteõlist ja puidust saadava soojuse atmosfääri heitmeid. Soojuspumba tinglikud atmosfääri heitmed võivad olla väiksemad lämmastikoksiidide osas kõigi eelpool nimetatud kütuste korral ja vääveldioksiidi osas ainult puidu kasutamisel.