

Melliste algkool-lasteaed-spordihoone energiauuring



Energiaklassi spetsialist
Energiaklassi juht, energiaaudiitor

Jaanus Uiga
Priit Pikk

Tartu 2012

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1. TULEMUSTE KOKKUVÕTE JA ÜLEVAADE SÄÄSTUMEETMETEST	5
1.1. Ülevaade hoonetekompleksi soojakadude jagunemisest.....	5
1.2. Hoone soojaenergiatarbe vähendamise võimalused.....	9
1.2.1. Säästumeetmed algkool-lasteaias	10
1.2.2. Säästumeetmed spordihoones.....	13
1.3. Küttesüsteem	14
1.4. Küttesüsteemi pumpade energiatarve.....	15
1.5. Soojaenergia hinna vähendamise võimalustest	16
1.6. Hoone elektrienergiatarbe vähendamise võimalused	16
2. HOONETEKOMPLEKSI ASUKOHT JA ÜLDANDMED	18
3. ÜLEVAADE HOONETEKOMPLEKSI TARBIMISANDMETEST	21
3.1. Veetarbimine	21
3.2. Elektritarbimine.....	22
3.3. Soojaenergiatarve	23
3.4. Katelseade ROCA CPA 400	26
4. HOONE PIIRDED JA TEHNOSÜSTEEMID	29
4.1. Algkool-lasteaia piirdetarindid.....	29
4.2. Spordihoone piirdetarindid.....	37
4.3. Hoonetekompleksi soojusbilanss	42
4.4. Hoone piirdetarindite renoveerimine	44
4.5. Tasakaalutemperatuuride leidmine	45
4.6. Sisekliima mõõtmised ja ventilatsioon.....	47
4.7. Hoonetekompleksi küttesüsteem.....	54
4.8. Küttesüsteemi juures paiknevad paisupaagid.....	55
5. ELEKTRIENERGIATARVE JA SELLE VÄHENDAMINE	56
6. UUE KATELSEADME PAIGALDAMINE JA SELLE TASUVUS	61
KIRJANDUS	63
LISAD.....	64

SISSEJUHATUS

Melliste algkool-lasteaed-spordihoone kompleksi energiauuringut teostati vastavalt Mäksa vallavalitsuse ja Eesti Maaülikooli vahelisele lepingule. Lepingu algatajaks oli Mäksa valla majandusnõunik Toomas Otsatalo, kes võttis Eesti Maaülikooliga ühendust, leidmaks võimalusi suurenevate küttearvete vähendamiseks ning määramaks võimalikud puudused hoone soojustuses ning küttesüsteemis.

Töö Eesti Maaülikooli poolseks teostajaks valiti EMÜ Tehnikainstituudi allüksusena tegutsev Energiaklass, mille üheks tegevusalaks on algatusdefiniitsiooni järgi ühiskondlike hoonete teadus- ja rakendusauuringute teostamine. Töö teostasid Energiaklassi spetsialist Jaanus Uiga ning Energiaklassi juht, energiaaudiitor Priit Pikk. Küttesüsteemi pumpade tööpunktide efektiivsuse kontrolli teostas Grundfos Pumps Baltic SIA Eesti esindaja Rivo Randmäe.

Lepingust tulenevalt võttis EMÜ Energiaklass kohustuse leida hoonetekompleksi võimalikud energiakaod ja energiasäästukohad vastavalt püstitatud lähteülesandele.

Käesolevas uuringus on:

- 1) koostatud hoone energiabilanss, mille käigus on arvutatud välja hoonekompleksi välispiirete soojakaod, tuginedes materjalide standardsele soojaerijuhtivusele ning termoülevaatus tulemustele;
- 2) uuritud hoone küttesüsteemi lahenduse tõhusust;
- 3) uuritud ventilatsioonisüsteemide tõhusust;
- 4) antud ülevaade viimaste aastate sooja- ja elektrienergia tarbimise kohta;
- 5) antud hinnang võimalike säästumeetmete maksumusele ja lihtsuvusajale.

Hoonetekompleksi energiakasutuse auditeerimisel kasutati Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ning TTÜ poolt koostatud juhendmaterjale; Vabariigi Valitsuse määrust "Energiatõhususe miinimumnõuded" ning hoonetekompleksi tarbimisandmeid aastatel 2009-2011, mis koguti ja edastati Mäksa valla majandusnõunik Toomas Otsatalo poolt.

Uuringu teostamisel kasutati järgmisi seadmeid:

- 1) infrapunakaamera FLIR ThermoCAM E300;

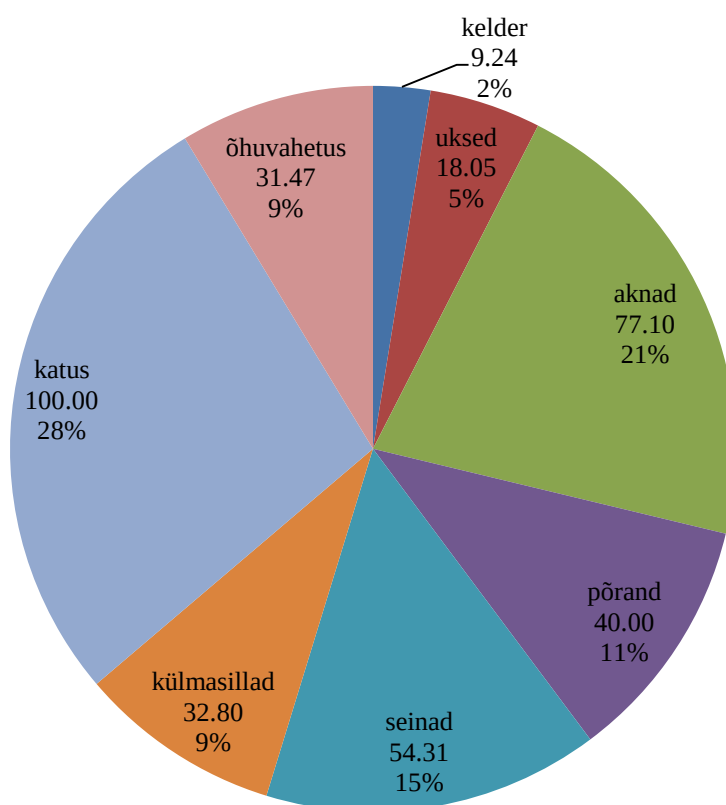
- 2) suitsugaaside analüsaator Testo 330-1;
- 3) Libelium Wasp mote seadmed niiskuse ja temperatuuri anduritega (RH $\pm 1\%$; temp $\pm 1^\circ\text{C}$);
- 4) Welleman USB niiskuse ja temperatuuri loggerid (RH $\pm 2,5\%$; temp $\pm 0,35^\circ\text{C}$);
- 5) 3-faasiline võrguanalüsaator Chauvin Arnoux 8332B;
- 6) Fluke 922 Aiflow Meter

Uuringu käigus külastati hoonetekompleksi mitmel korral – teostati välistarindite visuaalne ning termograafiline ülevaatus; sisekliima, elektritarbimise ning ventilatsioonisüsteemi mõõtmised.

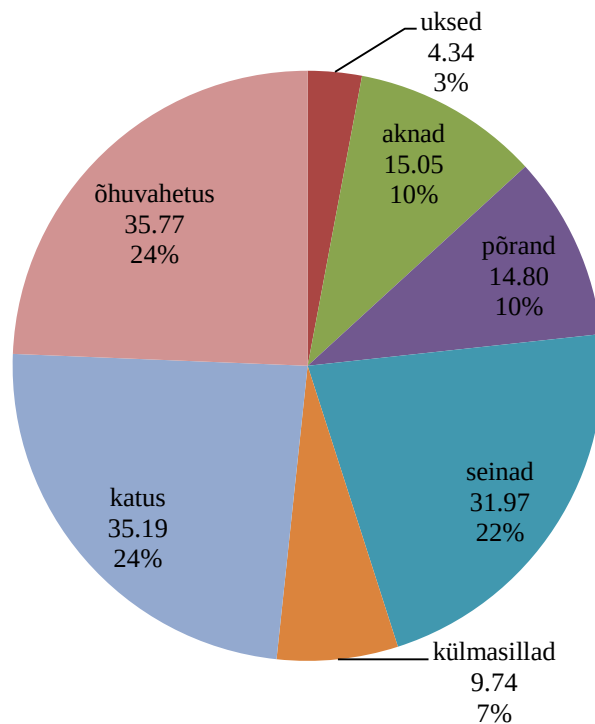
1. TULEMUSTE KOKKUVÕTE JA ÜLEVAADE SÄÄSTUMEETMETEST

1.1. Ülevaade hoonetekompleksi soojakadude jagunemisest

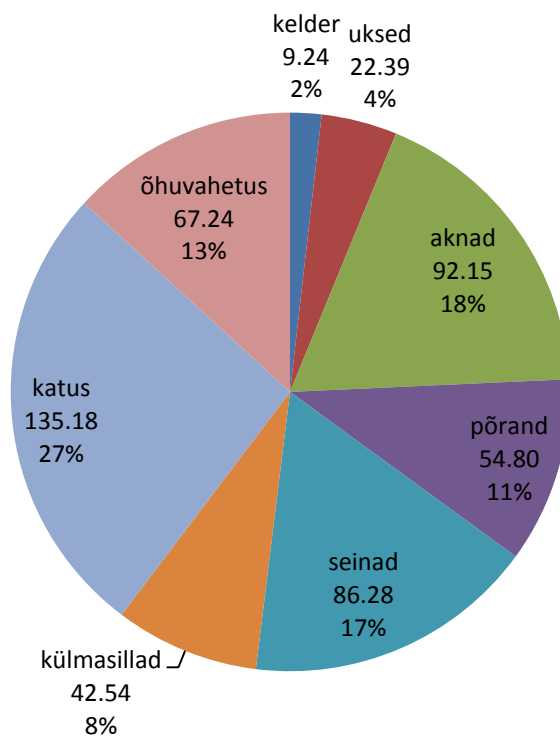
Melliste algkool-lasteaed-spordihoone tarbimisandmeid, hoonete piirdetarindeid ning nendest tehtud termopilte analüüsid, leiti soojaenergia kadude jagunemised. Soojuskadude jagunemist nii algkool-lasteaia, spordihoone kui ka läbi mõlema hoone välispiirete kokku on esitatud referentsaasta 2010 kohta alljärgnevatel graafikutel (joonis 1.1...1.3). Referentsaasta valiku põhjused on selgitatud peatükis 4.



Joonis 1.1. Soojuskadude jagunemine MWh kaupa ning protsentuaalselt **algkool-lasteaia** 2010. aastal



Joonis 1.2. Soojuskadude jagunemine MWh kaupa ning protsentuaalselt **spordihoones** 2010. aastal



Joonis 1.3. Soojuskadude jagunemine MWh kaupa ning protsentuaalselt **terves hoonetekompleksis** 2010. aastal

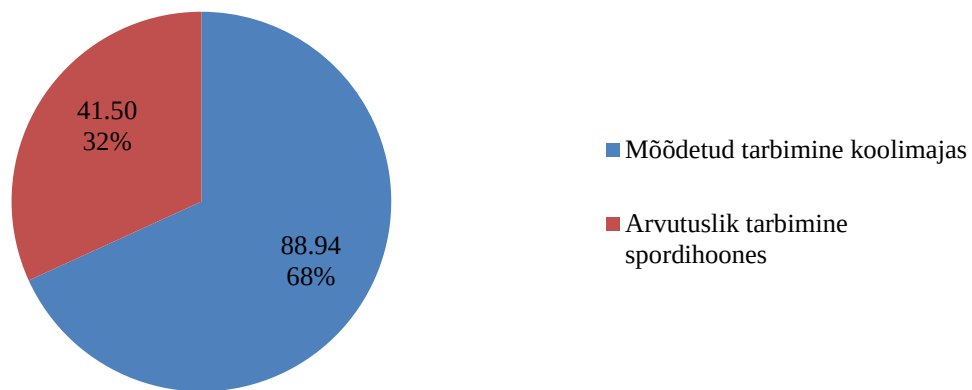
Joonistelt nähtub, et kõige rohkem soojaenergiat väljub Melliste algkool-lasteaed-spordihoonest läbi katuse: see kehtib nii algkool-lasteaia kui ka spordihoone kohta. Siiski tuleb arvestada, et akende ja uste kaod on eraldi välja toodud ja seega ei kajastu seinte soojakadudes. On näha, et spordihoonest, kus on parem ventilatsioon, toimub suur osa soojuse eraldumisest ka läbi õhuvahetuse. Ka algkool-lasteaia soojakaod läbi õhuvahetuse suurenevad, kui sinna nõuetekohane ventilatsioon paigaldada.

2011. aasta maikuus paigaldati katlaruumist koolimajja minevale soojatrassile soojaenergia mõõtur. Saadud tulemuste põhjal hinnati koolimajja ja spordihoonesse antavaid energia hulkasid. Tulemusi kirjeldab tabel 1.1.

Tabel 1.1. Soojaenergia jagunemine Melliste algkool-lasteaed-spordihoones

Aasta-kuu	Vedelgaasi tarne	Arvutuslik soojusenergia kogus vedelgaasist	Mõõdetud tarbimine koolimajas	Arvutuslik tarbimine spordihoones
	t	MWh	MWh	MWh
2011-V	1.26	14.40	5.94	8.46
2011-VI	0	0.00	0.66	-0.66
2011-VII	0	0.00	0.50	-0.50
2011-VIII	1.16	13.26	1.10	12.16
2011-IX	0	0.00	4.69	-4.69
2011-X	3.85	44.01	14.00	30.01
2011-XI	2.17	24.80	26.50	-1.70
2011-XII	3.6	41.15	35.55	5.60
2012-I	0	0.00	0	0.00
Kokku	12.04	137.62	88.94	48.68

Tabeli viimases veerus esinevad negatiivsed väärtused on tingitud vedelgaasi tarne ebakorrapärasusest, mis tegi hoonetekompleksi energiatarbe hindamise keerulisemaks. Tuleb eeldada, et tarnitud ning tarbitud vedelgaasi kogused tasakaalustavad üksteist pikema perioodi jooksul.



Joonis 1.4. Katelseadme abil genereeritud soojaenergia koguste jagunemine mõõteandmete alusel, MWh/aastas 2011.

Hoonete kütteenergia vajadus kõetava pinna kohta

Alljärgnevas tabelis 1.2 on esitatud 2011. a. kogutud mõõte- ning tootmisandmete põhjal leitud soojaenergiatarbed nii hoonete ruutmeetrite kui ka mahu kohta, sest spordihoone maht on märkimisväärselt suurem kõetavast pindalast.

Tabel 1.2. Hoonetekompleksi kütteks tarvitava soojaenergia koguse jagunemine kõetava pinna ja kubatuuri kohta.

	Ühik	Algkool-lasteaed	Spordihoone
Soojaenergiatarve kõetava pinna kohta	kWh/m ²	57.27	30.33
Soojaenergiatarve hoone kõetava kubatuuri kohta	kWh/m ³	22.60	6.49
Soojaenergiatarve hoone mahu kohta	kWh/m ³	20.33	4.60

NB! Antud soojenergia eritarbimine kõetava pinna ja hoone kubatuuri kohta on antud ainult **tabelis 1.1 toodud perioodi kohta**. Neid andmeid kasutada vaid kummagi hoone soojaenergiatarbe mõõtmiseks, mitte kui energiamärgist. Kuivõrd algkool-lasteaia osas tarbitakse kogu mõõdetud soojaenergia kütteks, on spordihoone hindamiseks lahutatud tabelis 1.1 esitatud 48,68 MWh-st 7,18 MWh suurune hinnanguline energiakulu sooja tarbevee saamiseks antud perioodil.

Hinnangust on näha, et spordihoone tarbimine ruutmeetri ning hoone mahu kohta on mitmeid kordi madalam. Pärast säästumeetmete rakendamist soojaenergiavajadused ühtlustuvad.

1.2. Hoone soojaenergiatarbe vähendamise võimalused

Kuivõrd mõlema ehitise puhul on tegemist erisuguste konstruktsioonide ning ehituskvaliteedi ja -ajaga, siis on mõlema hoone soojuskaod leitud eraldi ning energiabilanss on koostatud mõlema hoone soojatarvete summana. Energiasäästupaketid (edaspidi säästupaketid) koostati algkool-lasteaia osale, sest mahukaid renoveerimistöid spordihoones kui uusehitises lähiajal põhjust ette võtta ei ole.

Säästupakettidest saab tellija ülevaate võimalikest komplekssetest renoveerimistöödest. Säästupakette on esitatud mitu ning tellija valib endale sobiva arvestades enda võimalusi ning soove. Alljärgnevalt on esitatud säästupakettides tehtavate renoveerimistööde sisu, maksumus, tasuvusaeg ning meetme teoreetiline eluiga. Energiasäästuvõimalused, mille kasutamiseks ei ole vaja mahukaid renoveerimistöid ette võtta, on eraldi välja toodud.

Säästupakettides esitatud lihttasuvusaeg on leitud, kasutades 2011. aasta keskmist soojaenergia hinda. Aastasest säästust on maha lahutatud ventilatsioonile kuluma hakkav elektrienergia kogus ning maksumus. Hinnad sisaldavad käibemaksu.

1.2.1. Säätumeetmed algkool-lasteaias

Esimene säästupakett

Esimene säästupakett koosneb algkool-lasteaia pööningu soojustamisest ja kütetorustiku ning radiaatorite vahetusest. Pööningu soojustamise vajalikkuse tingib praegune ebapiisav vahelduva paksusega soojustus.

Vajalik on samuti laudpiirete rajamine, et paigaldatud soojustus laiali ei vajuks. Tuleb rajada laudteed, et juhul kui keegi pööningule läheb, jääks soojustuskiht rikkumata.

Küttesüsteemi uuendamine on tingitud asjaolust, et praegune süsteem on ehitusaegne ning töötab ebaühtlaselt. Näiteks hoone lõunaosas, mis paikneb küttesõlmest kõige kaugemal, on sageli vaja teostada lisakütmist elektriradiaatoritega. Teine väga oluline faktor on võimaliku vabasoojuse kasutamine ruumides, mida vana küttesüsteem ei võimalda.

I paketi raames puhastatakse ventilatsioonikanalid ning tehakse töötajatele infopäev teemal värskõhuklappide ning mikrotuulutuse kasutamine, suurendamaks ruumide ventileeritust.

Hoone osa	Renoveerimistööde kirjeldus	Maksumus	Eluiga, a
Katus	Katus tuleks soojustamise käigus üle vaadata, et ei esineks lekkeid, mis soojustusmaterjali soojapidavust tunduvalt kahjustaksid. Katusematerjali vahetuse või parandamise maksumust ei ole käesolevas töös käsitletud	-	-
Pööning	Pööninglae U-arvuks pärast soojustamist on arvestatud $U = 0.12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Soojustamiskihi soojusjuhtivustegur peab olema maksimaalselt $U = 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Soojustamise hinnaks on võetud 18 EUR/m ³ . Soojustuskihi paksus vähemalt 40 cm. Laudadest piirete ja laudteede rajamiseks arvestati 8 EUR/jm.	€ 14 742	30
Küttesüsteem	Ehitusaegne küttesüsteemi torustik vahetatakse, vanad radiaatorid asendatakse kaasaegsetega, paigaldatakse termostaatventiilid radiaatoritele. Maksumus arvestati 80 radiaatori ja neile vajaliku torustiku kohta	€ 20 452	30
Ventilatsioon	Puhastatakse ventilatsioonikanalid ning töötajatele tehakse koolitus värskõhuklappide ning mikrotuulutuse kasutamise kohta.	€ 890	20
Aknad	Aknad on vahetatud 2011 a. kevadel	-	-
Uksed	Uksed on osaliselt vahetatud	-	-
Investeeringu kogumaksumus, EUR		36084	
Soojusenergia sääst, MWh/a		129	
Soojusenergia sääst kütava pinna kohta, kWh/m ² *a		83	
Soojusenergia sääst		35.52%	
Soojuse keskmine hind EUR/MWh		94.61	
Aastane energiasäästu väärtus, EUR		12198	
Lihttasuvusaeg, a		2.96	

Teine säästupakett

Teine säästupakett koosneb esimeses pakettis kirjeldatud meetmetest, lisaks teostatakse hoone välispiirete ehk tarindite soojustus. Selle tagajärjel vähendatakse välissein- välissein ning põrand-välissein tüüpi külmasildu. Väheneb hoone soojatarve tervikuna ning ehitusaegse, loomuliku ventilatsiooni ekspluatatsioon muutub ebamõistlikuks suurenenud õhupidavuse tõttu. Teostatakse ventilatsioonisüsteemi kaasajastamine ning selle raames paigaldatakse ruumipõhised soojatagastusega ventilatsiooniagregaadid.			
Hoone osa	Renoveerimistööde kirjeldus	Maksumus	Eluiga, a
Katus	Katus tuleks soojustamise käigus üle vaadata, et ei esineks lekkeid, mis soojustusmaterjali soojapidavust tunduvalt kahjustaksid. Katusematerjali vahetuse või parandamise maksumust ei ole käesolevas töös käsitletud.		
Pööning	Pööninglae U-arvuks pärast soojustamist on arvestatud $U = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Soojustamiskihi soojusjuhtivustegur peab olema maksimaalselt $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Soojustamise hinnaks on võetud 18 EUR/m ³ . Soojustuskihi paksus vähemalt 40 cm. Laudadest piirete ja laudteede rajamiseks arvestati 8 EUR/jm.	€ 14 742	30
Küttesüsteem	Ehitusaegne küttesüsteemi torustik vahetatakse, vanad radiaatorid asendatakse kaasaegsetega, paigaldatakse termostaatventiilid. Küttesüsteemi maksumus väheneb ruumide kütteks vajalike radiaatorite hulga vähenemise tõttu.	€ 15 339	30
Ventilatsioon	Seadmetekomplekti maksumuseks on arvestatud 1400 EUR ja vajaminevate seadmetekomplektide arvuks 66. Tegelik seadmetekomplektide arv selgub projekteerimise käigus	€ 92 400	20
Aknad	Aknad on vahetatud 2011 a. kevadel		
Uksed	Uksed on osaliselt vahetatud		
Välisseinad	Hinnanguline U-arv pärast soojustamist on $0.23 \text{ W/m}^2\text{K}$. Soojustuskihi paksuseks 15 cm. Tööde maksumuseks on arvestatud 70 EUR/m ² . Soojustuskiht kaetakse sobiva kattematerjaliga, soojustusmaterjali valikust sõltuvalt.	€ 82 689	30
Sokkel	Sokli soojustus 10 cm paksuse soojustusmaterjaliga. Tööde maksumuseks on arvestatud 40 EUR/m ² . Soojustuskiht kaetakse sobiva kattematerjaliga vastavalt tellija soovile.	€ 8 460	31
Investeeringu kogumaksumus, EUR		213629	
Soojusenergia sääst, MWh/a		168	
Soojusenergia sääst koetava pinna kohta, kWh/m ² *a		108	
Soojusenergia sääst		46.42%	
Soojuse keskmine hind EUR/MWh		94.61	
Aastane energiasäästu väärtus, EUR		15941	
Lihttasuvusaeg, a		13.40	



Kolmas säästupakett

Kolmas säästupakett koosneb eelmises pakettis kirjeldatud meetmetest. Erinevusena kasutatakse välisseinte soojustamiseks paksemat soojustusmaterjali kihti, aknad tõstetakse soojustuse sisse, mistõttu vähenevad akende ja uste külmasillad.

Hoone osa	Renoveerimistööde kirjeldus	Maksumus	Eluiga, a
Katus	Katus tuleks soojustamise käigus üle vaadata, et ei esineks lekkeid, mis soojustusmaterjali soojapidavust tunduvalt kahjustaksid. Katusematerjali vahetust või parandamist ei ole käesolevas töös arvestatud		
Pööning	Pööninglae U-arvuks pärast soojustamist on arvestatud $U = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Soojustamiskihi soojusjuhtivustegur peab olema maksimaalselt $U = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Soojustamise hinnaks on võetud 18 EUR/m ³ . Soojustuskihi paksus vähemalt 40 cm	€ 14 742	30
Küttesüsteem	Ehitusaegne küttesüsteemi torustik vahetatakse, vanad radiaatorid asendatakse kaasaegsetega, paigaldatakse termostaatventiilid. Küttesüsteemi maksumus väheneb ruumide kütteks vajalike radiaatorite hulga vähenemise tõttu.	€ 15 339	30
Ventilatsioon	Paigaldatakse ruumipõhised, soojatagastusega ventilatsiooniagregaadid. Seadmetekomplekti maksumuseks on arvestatud 1400 EUR ja vajaminevate seadmetekomplektide arvuks 66. Tegelik seadmetekomplektide arv selgub projekteerimise käigus	€ 92 400	20
Aknad	Aknad tõstetakse soojustuse sisse		
Uksed	Uksed tõstetakse soojustuse sisse		
Välisseinad	Teostatakse välisseinte soojustus materjaliga, mille paksuseks vähemalt 25 cm. Tööde maksumuseks on arvestatud 90 EUR/m ² . Soojustuskiht kaetakse sobiva kattematerjaliga, soojustusmaterjali valikust sõltuvalt.	€ 106 314	30
Sokkel	Sokli soojustus 10 cm paksuse soojustusmaterjaliga. Tööde maksumuseks on arvestatud 40 EUR/m ² . Soojustuskiht kaetakse sobiva kattematerjaliga vastavalt tellija soovile.	€ 8 460	30
Investeeringu kogumaksumus, EUR		237255	
Soojusenergia sääst, MWh/a		175	
Soojusenergia sääst köetava pinna kohta, kWh/m ² *a		113	
Soojusenergia sääst		48.28%	
Soojuse keskmine hind EUR/MWh		94.61	
Aastane energiasäästu väärtus, EUR		16578	
Lihttasuvusaeg, a		14.31	

1.2.2. Säästumeetmed spordihoones

Spordihoone on uusehitis, seetõttu põhjalikust renoveerimisest on mõtet selle hoone puhul rääkida korraliku ehituskvaliteedi juures alles 20...30 aasta pärast. Samas ilmnesid termoülevaatusel mõningad kitsaskohad hoone soojustuses. Täpsem ülevaade piirdetarindite olukorrast on antud peatükis 4.

Kuivõrd spordihoone ventilatsioonisüsteemide mõõtmistulemustest ei nähtunud erilisi soojuse lisakadusid antud ehitisest, on ainsaks säästumeetmeks, mida siinjuhul pakkuda, **Paroc-paneelide vaheliste ühenduskohtade ning saali välisnurkade** soojustuse korrastamine, vähendamaks neis paiknevate külmasildade mõju hoone energiabilansile. Hinnanguliselt on võimalik kadusid läbi paneelide ühenduskohtades ja hoonekarbi välisnurkades paiknevate külmasildade vähendada kuni 50% ($9,8 \cdot 0,5 = 4,9 \text{ MWh}$). Soojustuskihi paiknemist Paroc-paneelide vahel kirjeldab joonis 1.5.



Joonis 1.5. Soojustuse paiknemine Paroc-paneelidevahelistes ühendustes

Suviti toimuv spordihoone kütmine on samuti üks soojaenergia kuluallikaid. Põhjuseks spordisaali põrandakate. Suvised kütmise vajadust tuleb ümber hinnata lähtudes põranda

paigaldaja Sigmar OÜ esindaja Marek Ainsami kommentaarist põrandale vajaliku sisekliima kohta. Nimelt **puudub otsene vajadus spordisaali kütmiseks suveperioodil**. Vaja on jälgida niiskust, sest kõrge õhuniiskuse pikaajalisel toimel võib põrand üles punduda. Kõrgeks suhteliseks õhuniiskuseks loetakse 60%, toimega üle nädala. Suvise kütmise vajalikkuse üle otsustamiseks **tuleb suveperioodil teostada spordisaali sisekliima mõõtmisi** nii küttesüsteemi rakendamisel kui ka ilma. Mõõtetulemuste põhjal saab hinnata, kas suvisel ajal ületab kütmata saalis suhteline õhuniiskus pikaajaliselt 60%.

Suvise soojaenergia osakaalu on praktiliselt võimatu hinnata, kuna vedelgaasi tarne toimub vastavalt tarneettevõtte Reola Gaas OÜ hinnangule. Seega ei saa tarnitud vedelgaasi hulka lühemate perioodide korral ümber hinnata teatud perioodi tarbimiseks.

1.3. Küttesüsteem

Energiasääst temperatuuri langetamisest

Detsembrikuus teostatud sisekliima mõõtmistest ei olnud näha, et toimuks öine temperatuurilangus. Öine temperatuuri langetamine aitab vähendada hoonetekompleksi antavat soojaenergia hulka ajal, mil seda nii palju ei vajata. Melliste algkool-lasteaed-spordihoone kui kompleksi puhul, mida kasutatakse peamiselt tööpäevadel, tähendaks temperatuuri langetamine tasakaalutemperatuuri vähenemist. Arvestades, et öist temperatuurilangust teostatakse 22:00...05:00 ning nädalavahetustel, on võimalik temperatuuri langetada ~50...54% kütteperioodist. Seega, 2 kraadine langus sisetemperatuuris võimaldaks 1 kraadist tasakaalutemperatuurilangust. 6552 tunnise kütteperioodi puhul oleks võimalik seega kokku hoida kuni 42 MWh soojaenergiat. Kiiret temperatuuride langetamist võimaldab küttesüsteemi ümberehitus, kuna küttesüsteem on võimeline kiiremini reageerima.

Katelseadmed

Algselt oli hoonetekompleksi jaoks projekteeritud kaks katelseadet, milledest üks pidanuks töötama vaid tipukoormuse katteks. Praegune seade töötab nimorežiimis suhteliselt suure kasuteguriga ning vaatluste hetkedel ei esinenud väga lühikesi (alla 1 min) pikkusi tööperioode. Seega olenemata asjaolust, et nii suure võimsusega katel terve aasta jooksul oma optimaalses režiimis ei tööta, toimub seadme ekspluatatsioon siiski suhteliselt kõrge kasuteguriga. Kütuse ülekulu esinemiseks peab liigse kütte koguse põlemise tõttu tekkinud

soojuse ülejääk majast väljuma (näiteks suitsugaaside kaudu), kuid vastavad mõõtmised sellist olukorda ei näidanud. Peale säästumeetmete rakendamist jääb katelseade siiski liiga võimsaks üldise soojaenergiavajaduse vähenemise tõttu.

1.4. Küttesüsteemi pumpade energiatarve

Ühena kergemini rakendatavatest meetmetest võib välja pakkuda algkool-lasteaia keldris paikneva küttesüsteemi pumba kiiruse **seadearvu reguleerimist** ühe võrra madalamaks (s.o. 3-lt 2-le). Põhjuseks 10.01.2012 toimunud küttesüsteemi pumpade auditi (lisa A) käigus tehtud tähelepanek, et hoonesse siseneva ja hoonest väljuva kütetrassi soojuskandjate temperatuuride vahe oli 7...9 °C, soovituslik oleks aga 20 °C. See annab alust arvata, et trassivesi käib süsteemis liiga kiiresti ringi ja ei jõua jahtuda. Lugem võeti süsteemi enda termostaatidelt. Küttesüsteemi ringluspumba kiiruse madalamaks reguleerimisel tuleb meele pidada, et süsteem on vana ja seega ei pruugi pärast reguleerimist kõikidesse radiaatoritesse piisavalt soe vesi enam jõuda. Sellisel juhul tuleb pump endisele töörežiimile reguleerida. Küttesüsteemi uuendamise käigus toimub ka küttesüsteemi tasakaalustamine ning seega ei ole pumba reguleerimisel mõtet II ja III säästumeetme rakendamise korral.

Töörežiimi alandamine vähendab kulusid seeläbi, et torustikes ringlev soojuskandja saab rohkem maha jahtuda ja seega sama tsükli jooksul rohkem soojaenergiat radiaatoritele edasi kanda. Kindlasti on seadearvu reguleerimisega võimalik säästa elektrienergia kuludelt (lisa A), kuid soojaenergia kokkuhoidu pole hetkel otstarbekas prognoosida. **Reaalse tulemuse annab süsteemi katsetamine vastavas olukorras.**

Küttesüsteemi pumpade energiatarbe vähendamise võimalused on toodud lisa A, kusjuures praktiliselt iga pumba pealt on võimalik ligi 50% elektrienergia kokku hoida, vahetades praeguse pumba säästlikuma vastu. Tasuvusajad varieeruvad praeguse elektrienergia hinnataseme juures olenevalt pumba võimsusest ning saavutatava elektrienergia säästu suuruselt 5...10 aastani (paigalduse maksumust ei ole arvestatud). Elektrihinna kasvades tasuvusajad lühenevad.

1.5. Soojaenergia hinna vähendamise võimalustest

2011 oli hoonetekompleksi soojaenergia aastakeskmise hind vedelgaasi kütteväärtust ning katelseadme kasutegurit arvestades 94,61 EUR/MWh. See ligineb Konkurentsiameti poolt kehtestatud soojaenergia piirhindade maksimaalsele väärtusele 2011. aastal.

Alternatiivse soojaenergia allikana on käesolevas töös soovitatud hakkepuitu. Sellega seoses on valitud parameetritelt sobiv katelseade ning leitud seadme vahetuse lihttasuvusaeg (ptk 6). Selgus, et praeguse soojatarbe juures oleks uue katelseadme lihttasuvusajaks 8,54 aastat ning II säästupaketi teostamise järgselt **14,1 aastat**. Hakkpuidust saadava energia hinnaks valiti 43 EUR/MWh, mis arvestab lisaks küttematerjali omahinnale ja transpordi maksumusele veel ka lisanduvaid ekspluatatsiooni ning amortisatsioonikulusid.

NB! Tuleb arvestada, et uue katelseadme rakendamisega ning seeläbi soojaenergia hinna vähendamisega, **suurenevad soojustusmeetmete tasuvusajad**.

1.6. Hoone elektrienergiatarbe vähendamise võimalused

Hoone elektrienergiatarbimise mõõtmisel selgus, et öösel ja nädalavahetusel toimuv tarbimine (ehk siis baastarbimine) moodustab **19,4 %** kogu ehitise elektrienergiatarbest. Kuivõrd ventilatsioonisüsteem lülitatakse ööseks välja, toimub osa tarbimist küttesüsteemi pumpades, ülejäänud tarbimine toimub töörežiimi jäetud valgustite, tööle jäetud radiaatorite ning *standby* režiimis olevates seadmetes.

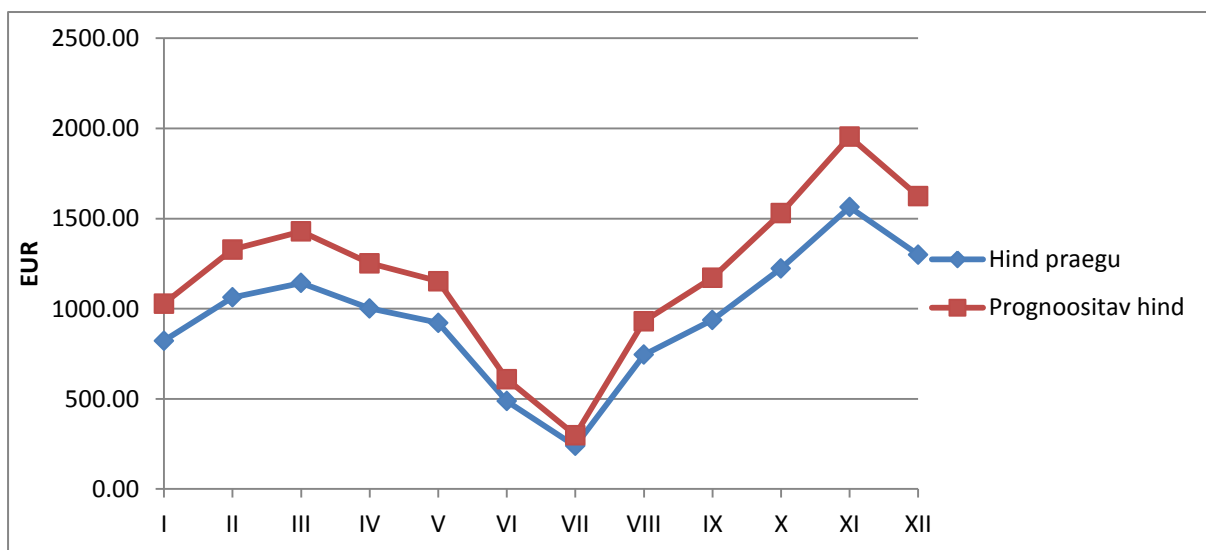
Muud elektrienergia tarbijad hoones

Lisaks küttesüsteemi pumpade välja vahetamisele, on mõistlik välja lülitada kõik *standby* režiimis olevad seadmed (arvutid, veeautomaat, monitorid, printerid), kuna isegi 4 W suurune tarbevõimsus summeerub näiteks 10 arvutiga (tarbijateks arvuti+monitor) klassiruumis $2 \times 4 \times 10 = 80\text{W}$ suuruseks hetktarbimiseks, mis päeva 4-tunnise tööaja juures tähendab $20 \times 80 = 1,6\text{ kWh}$ tühja tarbimist päevas.

Päevase elektritarbimise moodustavad elektriboilerid, spordihoone ventilatsioonisüsteemid, elektriradiaatorid (kütteperioodil suuremate külmade ajal) valgustid, köögi- ja muud tehnikaseadmed. Säästu saavutamist nende seadmete ekspluatatsiooni piiramise läbi on raskem saavutada, kuivõrd see nõuaks suurt investeeringut energiasäästlikumate seadmete

soetamise näol. Samas piisab elektritarbimise vähendamiseks alati sellest, kui seadme või ruumi kasutamise lõpetamisel seade vooluvõrgust välja lülitatakse.

Kokkuhoid elektrienergia arvelt on tähtis, kuna 2013. aastast tuleb kõigil tarbijatel hakata elektrit ostma Nordpool vabaturult. Seega tõuseb elektri hind juba 2013. aastal vähemalt 1,25 korda (võrgutasud märkimisväärselt ei muutu, suureneb Eesti Energialt või mõnelt teiselt ettevõttelt ostetava elektrienergia hind). Hinnaprognosis on esitatud 2009...2011 keskmise tarbimise põhjal joonisel 1.6.



Joonis 1.6. Kulutused elektrienergiale

Seega suurenevad kulutused elektrienergiale 2013. aastal hinnanguliselt **2862 EUR** võrra, mis tähendab, et sama hinnataseme saavutamiseks oleks vaja säästa **29 MWh elektrienergiat**. 2009...2011 aastate keskmisest tarbimisest moodustab 29 MWh 25%.

Mõningane elektrienergia sääst saavutatakse säästumeetmete rakendamisel, kuivõrd siis kaob vajadus kasutada elektriradiaatoreid lisakütteallikatena. Elektriga kütmise vähendamisel on energiasäästupotentsiaal ligikaudu 21 MWh/a.

2. HOONETEKOMPLEKSI ASUKOHT JA ÜLDANDMED

Hoonetekompleksi üldandmete kogumisel lähtuti Ehitisregistris olevatest andmetest, olemasolevatest ehitusjoonistest ning teabest, mis saadi Mäksa vallavalitsuse poolset kontaktisikult. Spordihoone, kui suhteliselt uue ehitise ehitusjoonised saadi samuti vallavalitsuselt, algkool-lasteaia plaanid olid osaliselt olemas Tartu Maa-arhiivis. Puuduolevad andmed leiti toimunud ülevaatuste käigus.

Praegune hoonetekompleks koosneb omavahel ühe küljega kontaktis olevast spordihoonest, mis valmis 2008. aastal ning algkool-lasteaia osa, mille esmane kasutuselevõtu aeg on 1990. Hoonetekompleksi üldandmed on antud tabelites 2.1 ja 2.2.

Tabel 2.1. Melliste algkool-lasteaia üldandmed

Aadress:	Tartu maakond, Mäksa vald, Melliste küla, Melliste algkool-lasteaia
EHR kood:	104047131
Ehitusaasta:	1990
Hoone kasutamise otstarve:	Algkooli ja lasteaia õppehoone
Suletud netopind (m ²):	1553
Kasulik pind (m ²):	1553
Minimaalne korruste arv	1
Maksimaalne korruste arv	2
Hoone maht (m ³)	4375
Ruumide köetav sisekubatuur (m ³):	3936

Tabel 2.2. Melliste spordihoone üldandmed

Aadress:	Tartu maakond, Mäksa vald, Melliste küla, Melliste algkool-lasteaia
EHR kood:	104047131
Ehitusaasta:	2008
Hoone kasutamise otstarve:	Spordihoone
Suletud netopind (m ²):	1368.6
Kasulik pind (m ²)	1368.6
Minimaalne korruste arv	1
Maksimaalne korruste arv	2
Hoone maht (m ³)	9020
Ruumide köetav sisekubatuur (m ³):	6391

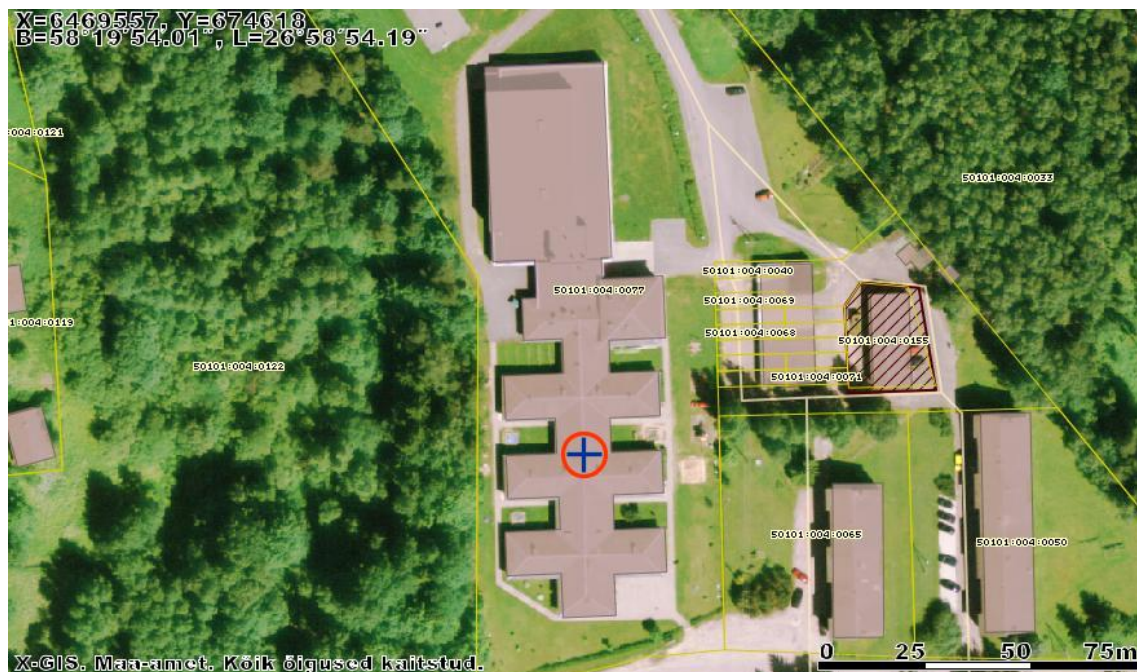
Tabelites esitatud ruumide köetav sisekubatuur on leitud köetavate pindalade ja ruumide kõrguste järgi. Köetavad pindalad ja hoone tegelikud mahud on saadud kogutud andmetest ning ehitusjoonistelt, sest spordihoone andmeid uuringu valmimise hetkel Ehitisregistrisse veel kantud polnud. Samuti erines EHR-s esitatust ehitusjoonistelt leitud algkool-lasteaia alune pindala ning hoone kasulik pind.

Hoonetekompleksi energia ja veetarbimise üldiseloomustus on toodud tabelis 2.3.

Tabel 2.3. Melliste algkool-lasteaia energia- ja veevarustuse üldiseloomustus

Soojusenergia tarnija	Reola Gaas OÜ
Põhiline kütteviis	Lokaalne katlamaja
Kasutatav kütus	Vedelgaas
Küttesüsteemi põhimõtteline lahendus	Kahetorusüsteem
Kütte automaatika	Ouman EH
Soojuskulu mõõtmine	algkool-lasteaed: alates 2011 mai; spordihoone: ei mõõdeta
Tarbevee tarnija	OÜ Emajõe Veevärk
Veevarustuse liik	Tsentraalne, asulavõrgust
Olmekanaliseerimine	Tsentraalne, juhitakse asulavõrku
Sooja tarbevee valmistamine	algkool-lasteaed: elektriboilerid; spordihoone: katlamajas
Sooja tarbevee arvestus	puudub
Ventilatsiooni liik	algkool-lasteaed: loomulik; spordihoone: sundventilatsioon
Elektrienergia tarnija	Eesti Energia AS

Hoonetekompleksi paiknemist kaardil kirjeldab joonis 2.1.



Joonis 2.1. Melliste algkool-lasteaed spordihoone asukoht kaardil [1].

3. ÜLEVAADE HOONETEKOMPLEKSI TARBIMISANDMETEST

3.1. Veetarbimine

Algkool-lasteaias ning spordihoones tarbitavad vee kogused mõõdistatakse eraldi (tabel 3.1; tabel 3.2). Tuleb märkida, et algkool-lasteaia aastast veekulu mõjutab suuresti basseini kasutamine. Näiteks 2010. aastal, kui basseini ei töötanud on veekulu märksa madalam 2009. ja 2011. aastal tarbitud vee kogusest (tabel 3.1).

Tabel 3.1. Melliste algkool-lasteaia veetarbimine

Kuu	Veetarbimine		
	2009	2010	2011
	m ³	m ³	m ³
I	69	58	92
II	58	63	63
III	74	70	107
IV	80	65	68
V	66	73	73
VI	54	31	35
VII	20	2	3
VIII	47	39	51
IX	85	82	85
X	114	63	75
XI	164	73	85
XII	80	56	57
Kokku	911	675	794

Tabel 3.2. Spordihoone veetarbimine

Kuu	Veetarbimine		
	2009	2010	2011
	m ³	m ³	m ³
I	47	52	27
II	40	47	30
III	50	49	43
IV	44	44	34
V	29	36	28
VI	11	8	6
VII	4	0	4
VIII	30	61	48
IX	50	29	23
X	51	40	32
XI	53	36	39
XII	32	34	33
Kokku	441	436	347

Tabelist 3.2 nähtub, et kuigi 2009. ja 2010. aastal spordihoone oli veetarbimine suhteliselt ühtlane, muutus 2011. aastal veetarbe vajadus ligi 90 m³ väiksemaks. Seetõttu langes ka kolme aasta keskmine veetarve.

Algkool-lasteaia osas soojendatakse vett boileritega nii köögis kui ka rühma- ja kooliruumides. Soe vesi, mis saadakse katla eksploatatsioonil, jõuab vaid söökla ukse ees paiknevatesse kraanikaussidesse. Vastav vee kogus läks arvestuslikult spordihoone vee tarbimisse. Kuivõrd eespool mainitud hoonetekompleksi osas toimub vee soojendamine elektri abil, ei arvestatud selleks kulutatavat energia hulka hoonete soojusbilansis.

Spordihoone soe tarbevesi saadakse hoone idaküljes paikneva katelseadme abil. Kuna hoone energiabilanss koostati 2010. aasta põhjal (peatükk 4), võeti arvestuslikuks sooja tarbevee kuluks 173,5 m³, mille saamiseks tuleb kulutada 10,12 MWh soojaenergiat.

3.2. Elektritarbimine

Hoonetekompleksi elektritarbimist mõõdetakse liitumispunktis, mis paikneb algkool-lasteaia osas. Spordihoone ja algkool-lasteaia elektritarbimisi eraldi ei mõõdata. Melliste algkool-lasteaed-spordihoone elektritarbimine aastatel 2009...2011 on toodud tabelis 3.3.

Tabel 3.3. Melliste algkool-lasteaed spordihoone elektritarbimine

Kuu	Elektritarbimine		
	2009 (MWh)	2010 (MWh)	2011 (MWh)
I	0.00	13.45	11.97
II	9.45	11.71	11.67
III	12.53	11.60	11.18
IV	10.95	9.59	10.41
V	10.51	9.19	8.79
VI	6.40	4.76	3.91
VII	2.63	2.53	2.23
VIII	8.83	7.88	6.31
IX	11.70	9.28	7.99
X	15.59	10.82	11.42
XI	20.74	12.54	15.03
XII	18.24	12.04	9.89
Kokku	127.55	115.38	110.79

Tabelist 3.3 nähtub, et elektritarbimine on aastatel 2009...2011 ühtlaselt vähenenud, mis väärrib ära märkimist seetõttu, et basseinivett köetakse elektriga, 2010. a. teatavasti bassein ei

töötanud, seevastu 2011. aastal oli ujula uuesti kasutuses, kuid elektrienergiatarve siiski vähenes. Põhjuseks võib tuua asjaolu, et 2010. aasta oktoobrikuu keskmine temperatuur oli 2,9 kraadi kõrgem kui 2011. aasta oktoobrikuu keskmine [2]. Arvestades, et algkool-lasteaias teostatakse mõnel pool lisakütmist elektriradiaatoritega, võib elektrienergia tarbimise vähenemine 2011. aastal olla tingitud just kõrgematest välistemperatuuridest. Ruumide kütmiseks kulunud elektrienergia hulga arvestati 2009...2011 aastate keskmisena 3,04 MWh kuus (tulemus saadi ajavahemiku oktoober-märts ja aprill-september tarbimisi võrreldes) ehk 21,30 MWh terve kütteperioodi jooksul.

3.3. Soojaenergiatarve

Hoonetekompleksi kütmine toimub läbi vedelgaasikatla ROCA CPA 400. Kuni 2011. aasta maikuuni on hoonetele antud soojaenergia koguse andmed leitavad vaid läbi tarnitud vedelgaasi koguse (tabel 3.5). Tabelis 3.5 esitatavad andmed on reaalsed tarbimisandmed ja sõltuvad seega suuresti kliimatilistest tingimustest. Tabelis 3.4 on antud ülevaade kraadpäevadega taandatud soojaenergia tarbimise erinevusest arvutuslikust tarbimisest.

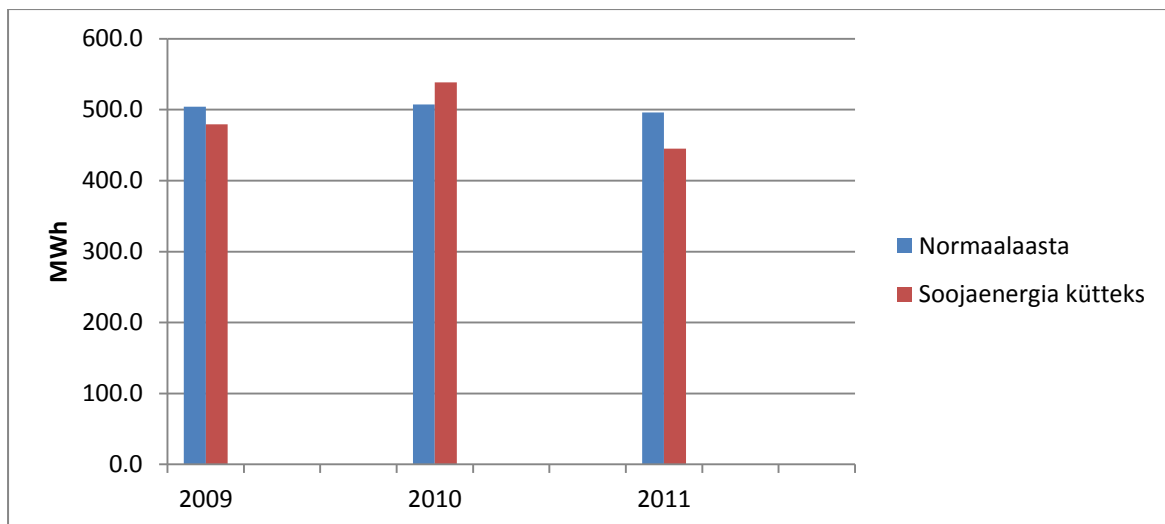
Tabel 3.4. Soojusenergia kulu

Soojusenergia tarbimine	2009	2010	2011	Ühik
Elektritarbimine kütteks*	21.3	21.3	21.3	MWh/a
Soojustarbimine kütteks	468.1	527.0	434.0	MWh/a
Soojuskulu tarbevee soojendamiseks	10.1	10.1	10.1	MWh/a
Energiatarbimine kütteks**	479.2	538.2	445.2	MWh/a
Kraadpäevade võtmepiirkond	Tartu			
Kraadpäevade arv	4747	5221	4478	°C
Normaalaasta kraadpäevad	4972			°C
Soojustarbimine normaalaastal	502.0	512.5	494.3	MWh/a
Kulutused soojusele	32252.0	43827.0	41059.2	EUR
Soojaenergia keskmine hind**	68.9	83.2	94.6	EUR/MWh
Eritarbimine kasuliku pinna kohta	164.0	184.2	152.4	kWh/m ² *a

* Arvestuslik, ei ole mõõdetud

** Leitud, kasutades katelseadme kasutegurit ning vedelgaasi alumist kütteväärtust

Soojaenergia eritarbimine on leitud kasuliku pinna kohta, kuna köetakse praktiliselt kõiki hoonetekompleksi ruume. Eritarbimist langetab suhteliselt suure pindalaga ning väikese soojaenergiavajadusega spordihoone.



Joonis 3.1. Hoonetekompleksi soojaenergia tarbimine normaalaastal ja mõõdetuna.

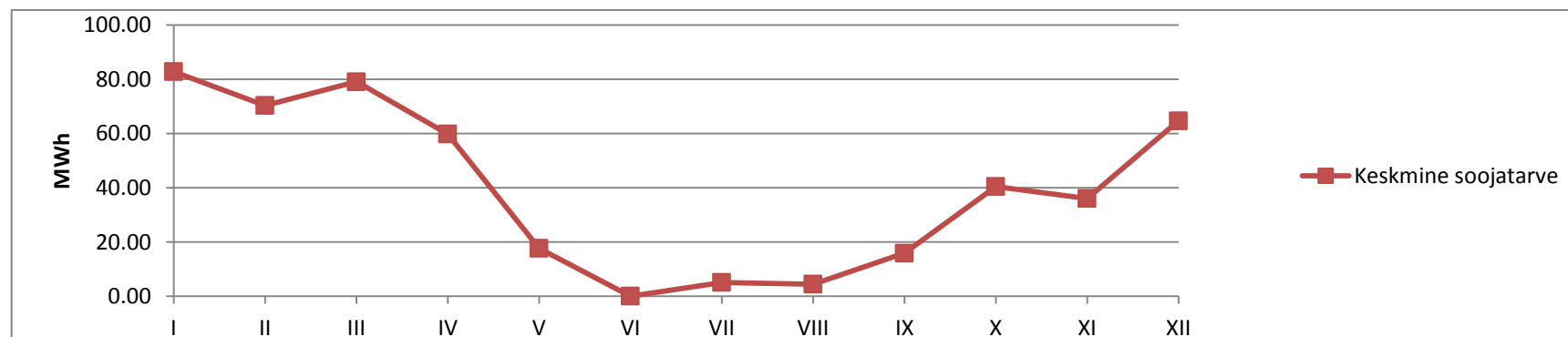
On näha, et 2010. aastal toimus normaalaasta energiavajadusega võrreldes ülekütmine, 2009 ja 2011 seevastu on selle graafiku põhjal koetud isegi vähem, kui vaja. Erinevusi põhjustab muidugi aastase toodetud soojaenergiakoguse määramine, mistõttu ei ole ka võimalik kütmisgraafikut kuude kaupa uurida. Üldine praktika algkool-lasteaed-spordihoones on kütta siis, kui selleks vajadus tekib.

Tabel 3.5. Melliste algkool-lasteaed spordihoonesse tarnitud vedelgaasi kogus ja sellest saadud soojaenergia kogus

Kuu	Tarnitud vedelgaasi hulk			Teoreetiline soojaenergia kogus vedelgaasist*			Arvutuslik soojaenergia kogus vedelgaasist**			Keskmine tarbitud soojaenergia kogus 2009...2011
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009...2011
	t	t	t	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
I	4.42	8.83	8.49	56.91	113.69	109.31	50.52	100.93	97.04	82.83
II	8.38	6.45	3.64	107.89	83.04	46.87	95.78	73.72	41.61	70.37
III	4.24	5.27	11.26	54.59	67.85	144.97	48.46	60.24	128.70	79.13
IV	6.04	7.12	2.54	77.77	91.67	32.70	69.04	81.38	29.03	59.82
V	1.50	1.87	1.26	19.31	24.08	16.22	17.15	21.37	14.40	17.64
VI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VII	1.33	0.00	0.00	17.12	0.00	0.00	15.20	0.00	0.00	5.07
VIII	0.00	0.00	1.16	0.00	0.00	14.94	0.00	0.00	13.26	4.42
IX	1.74	2.43	0.00	22.40	31.29	0.00	19.89	27.78	0.00	15.89
X	2.29	4.48	3.85	29.48	57.68	49.57	26.18	51.21	44.01	40.46
XI	4.79	2.50	2.17	61.67	32.19	27.94	54.75	28.58	24.80	36.04
XII	6.22	7.16	3.60	80.08	92.19	46.35	71.10	81.84	41.15	64.69
Kokku	40.95	46.11	37.97	527.23	593.67	488.86	468.07	527.05	434.00	476.37

* Soojaenergia kogus on leitud, kasutades Eesti Gaasiliidu kodulehelt leitud vedelgaasi alumist kütteväärtust 46,35 MJ/kg = 12,875 MWh/t [3]

** Leitud, kasutades vedelgaasikatla ROCA CPA 400 mõõdetud kasutegurit (88,78 %).



Joonis 3.2. Melliste algkool-lasteaed-spordihoone keskmine soojaenergiatarve 2009...2011.

Joonisel 3.2 kajastuv keskmine soojanergiatarve kirjeldab normeerimata tarbimisandmeid ja on lisatud siia vaid ülevaate andmiseks. Energiabilansi arvutustes kasutatakse 2010 aasta soojaenergiatarvet 507,3 MWh/a.

3.4. Katelseade ROCA CPA 400

Nii spordihoonet kui ka vanemat algkool-lasteaia osa köetakse, kasutades vedelgaasikatelt ROCA CPA 400. Katelseadme tootjapoolne spetsifikatsioon on antud tabelis 3.6. Samuti kasutatakse katelseadme poolt soojendatud vett spordihoone ventilatsioonisüsteemi küttekalorifeerides. Spordihoone ja söögisaali ees paiknevate kraanikausside soe vesi saadakse katelseadme abil.

Tabel 3.6. ROCA CPA 400 spetsifikatsioon

Parameeter	Väärtus
Väljundvõimsus	400 kcal/h
	465 kW
Arvutuslik kasutegur	90.2%
Ülerõhk põletuskambris	35 mm.w.c
Rõhulang veeringluses ($\Delta t=15^{\circ}\text{C}$)	260 mm.w.c
Kaal	835 kg
Veepaagi maht	453 l
Maksimaalne töö rõhk	6 bar
Maksimaalne töötemperatuur	100 °C
Sobivad kütused	Õli ja gaas
Soojendatav vedelik	vesi

Eespool mainitud katelseade on paigaldatud esialgselt planeeritud kahe katelseadme asemele, mille hinnanguline koguvõimsus oli projekteeritud 320 kW. 320 kW oli projekti järgi piisav võimsus ainult algkool-lasteaia soojatarbe (küte ja soe vesi) soojatarbe rahuldamiseks [4]. Uue katelseadme võimsus on aga spetsifikatsiooni järgi 465 kW. Projekteeritust suurema katelseadme olemasolu on varasemalt probleeme tekitanud, kuivõrd katla tööperioodi esimesel külmal talvel ei suudetud põletile piisavalt vedelgaasi ette anda. Olukorra parandamiseks paigaldati lisatrass kütuse transpordiks. Lisaliinil puudub hetkel vedelgaasi pihusti. Lisaliini paigaldamise vajadus näitab, et katelseadme maksimaalset võimsust läheb piisavalt madalate välistemperatuuride korral kompleksi soojendamiseks vaja.

09.12.2011 teostati katelseadme kasuteguri mõõtmise suitsugaaside analüsaatoriga Testo 330-1. Teostati 7 mõõtmist hetkel, kui katelseade oli tavatööolukorras. Kasuteguri mõõtmine

hetkel, kui katel ei tööta oma nimirežiimis ei ole otstarbekas, sest sellisel juhul ei pruugi seade adekvaatset tulemust anda. Katelseadme tööd jälgides, sai selgeks, et nimitööolukord saavutatakse suhteliselt kiiresti ning enamus katla tööperioodi toimus, vaatluse hetkel, katla maksimaalse kasuteguri juures. Katsete tulemused on antud tabelis 3.7.

Tabel 3.7. Katseseadme Testo 330-1 mõõtmistulemused

Katse nr	T_{δ} Õhutemperatuur katelseadet ümbritsevas keskkonnas	T_{sg} Suitsugaasi temperatuur	%O ₂ Hapnikusisaldus	%CO ₂ Süsihappegaasi kogus	qA Suitsugaaside kaudu lahkuv soojushulk	η Katelseadme kasutegur
	°C	°C	%	%	%	%
1	28.4	126.1	3.8	11.22095	11.39	88.61
2	29.2	129.5	3.9	11.15571	11.72	88.28
3	28.4	125.7	3.8	11.22095	11.35	88.65
4	28.4	124.4	3.8	11.22095	11.20	88.80
5	28.5	123.5	3.8	11.22095	11.08	88.92
6	27.8	122.9	3.8	11.22095	11.09	88.91
7	20.5	104.5	5.4	10.17714	10.11	89.89

Mõned suurused, mis tabelis paiknevad, on arvutatud vastavalt Testo 330-1 kasutusjuhendis toodud valemitele. Valemite rakendamiseks kasutati ettevõtte poolt leitud spetsiifilisi, kütusele iseloomulikke tegureid (tabel 3.8) [5].

Tabel 3.8. Väljavõtte kütuste parameetritest katseseadme Testo 330-1 jaoks.

Kütus	A2	B	CO _{2max} %	O ₂ referentsväärtus %
Vedelgaas	0.630	0.008	13.7	3

Tabelis 3.7 ja 3.8 toodud suuruste järgi teostati järgmised arvutused:

- Suitsugaasiga väljuva süsihappegaasi protsentuaalne leidmine

$$\%CO_2 = \frac{CO_2 \cdot (21\% - O_2)}{21\%}$$

- Suitsugaasidega väljuvate kadude protsentuaalse suuruse leidmine:

$$aA = \left((T_{sg} - T_{\delta}) \cdot \left(\frac{A2}{21\% - O_2} + B \right) \right)$$

- Kasuteguri leidmine:

$$\eta = 100\% - qA$$

- λ väärtuse ehk õhu hulga ja kütuse koguse suhe leidmine

$$\lambda = \frac{CO_{2\max}}{CO_2}$$

Katelseadme kasutegur on spetsifikatsiooni järgi 90.2%. Tabeli 2.2 andmete järgi arvutatud **keskmine seadme kasutegur mõõtmise hetkel on 88.78%**, arvestades spetsifikatsioonis toodut, on see reaalses tööttingimuste juures suhteliselt korralik tulemus.

4. HOONE PIIRDED JA TEHNOSÜSTEEMID

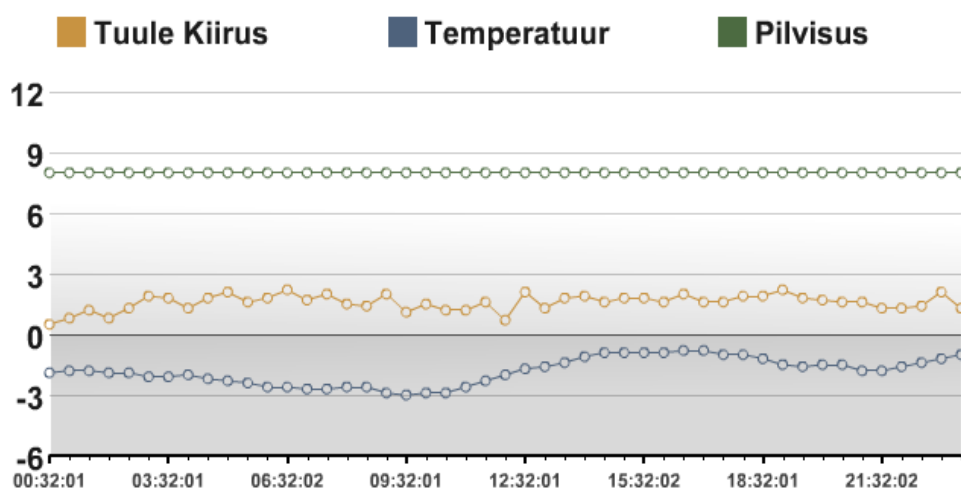
4.1. Algkool-lasteaia piirdetarindid

Hoonete piirdetarindite soojusjuhtivusteguri (U-arvu) hindamiseks kasutati lisaks tehnilises spetsifikatsioonis esitatud ehitusmaterjalide soojaerijuhtivustele termograafiat. Termoülevaatus toimumise ajal olid järgnevad ilmastikutingimused.

Tartu-Tõravere

12-22-2011

Pilvisus on 0-10ni ning 0 näitab pilvitu ilma. 10 täiesti pilves ilma

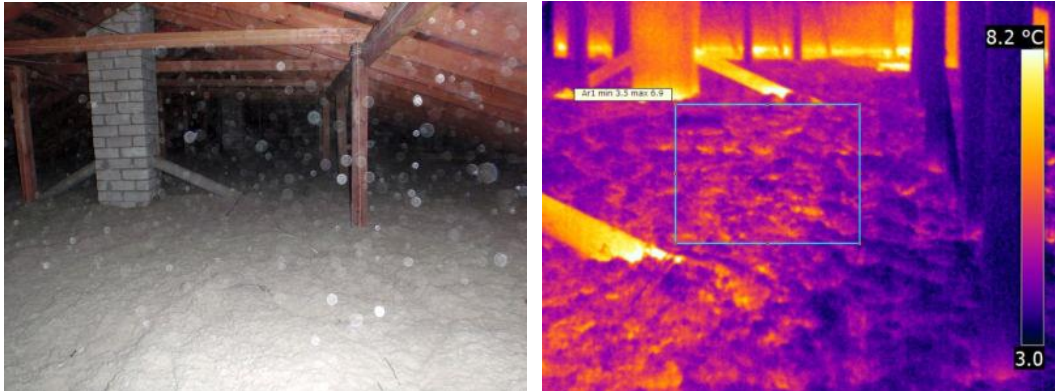


Joonis 4.1. Ilmastikutingimused Tartu-Tõravere 12-22-2011

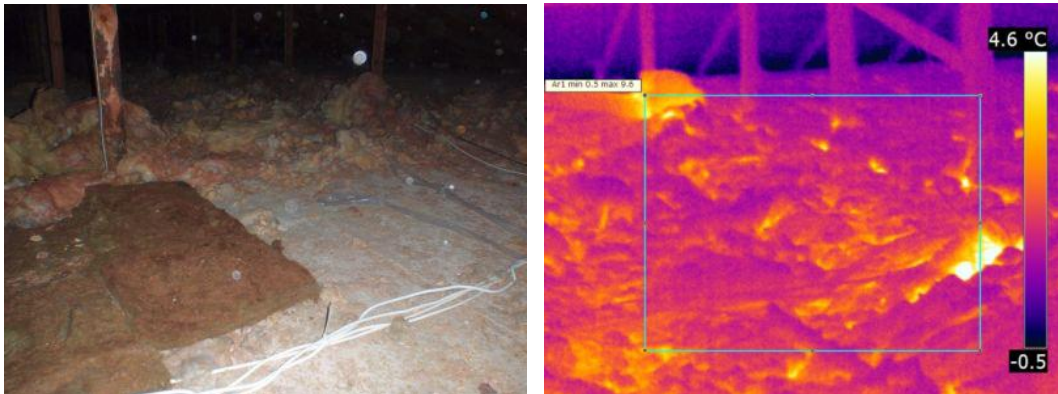
Katus

Olukorra kirjeldus		Võimalikud meetmed renoveerimiseks
Katusematerjaliks on ehitusaegne eterniit. Katusematerjali lekkeid ei täheldatud. Viilkatuse all paiknev soojustus on paigaldatud paneelide peale ning on jaotatud 80% ühtlaselt.		Pööningu lagi tuleks lisasoojustada nii, et lae äärtele paigaldatakse laudpiirded ning piirete vahele soojustusmaterjal võimalikult madala U-arvuga. Kindalasti tuleks rajada ka laudtee, et vajadusel saaks tehnik või mõni teine spetsialist seal kõndida ning ilma soojustust rikkumata nagu hetkel see juba juhtunud on.
Tarindi soojapidavad kihid		
Mineraalvill	8	cm
Soojustusega paneel	25	cm
U-arv	0.56	W/m ² *K

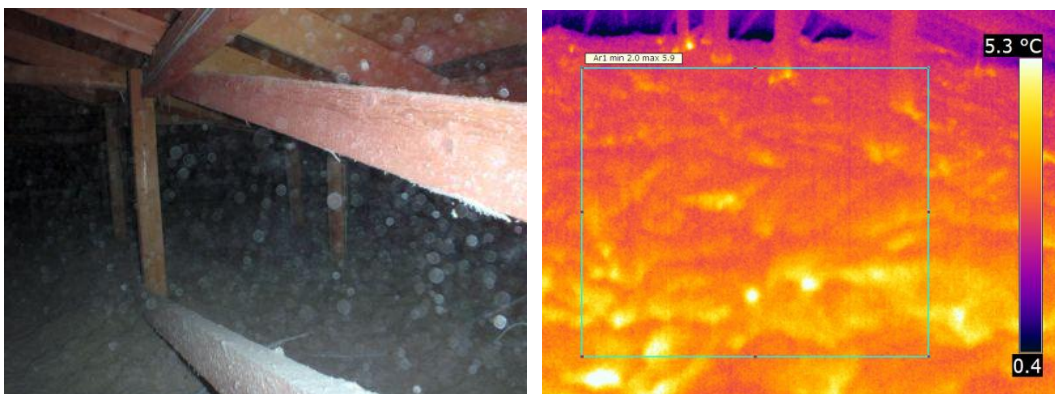
Soojustuse lõikes on temperatuuride vahe 3.4 kraadi, mis on soojustatud pinna kohta liiga ulatuslik temperatuuride vahe. Lisaks on termopildidelt märgata, et laele toetuvad puittalad peaksid oleme kõrgemalt soojustatud, et vältida külmasildu.

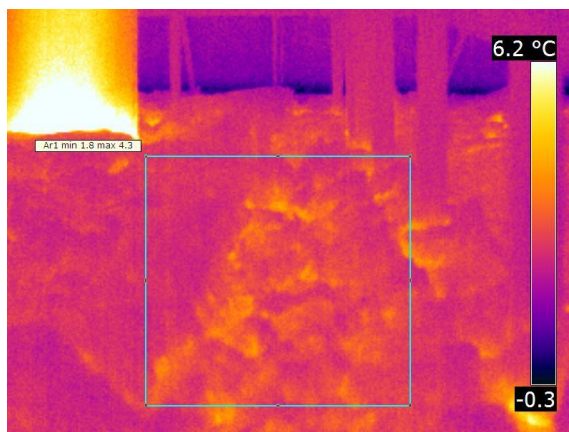


Tavapildilt on märgata, et kohati soojustusmaterjal puudub. Tihtipeale oli soojustusmaterjal ka liialt õhukese kihina ning kohati inimeste poolt rikutud.



Temperatuuride vahe määratud pinna ulatuses viitab sellele, et soojustuskiht on ebapiisav ning madalat soojusjuhtivust pole saavutatud. Otseselt termopildi alusel energiakulu määrata ei saa, kuid märgatav pinnatemperatuuride erinevus on kaasatud soojustuse U-arvu määramisel.





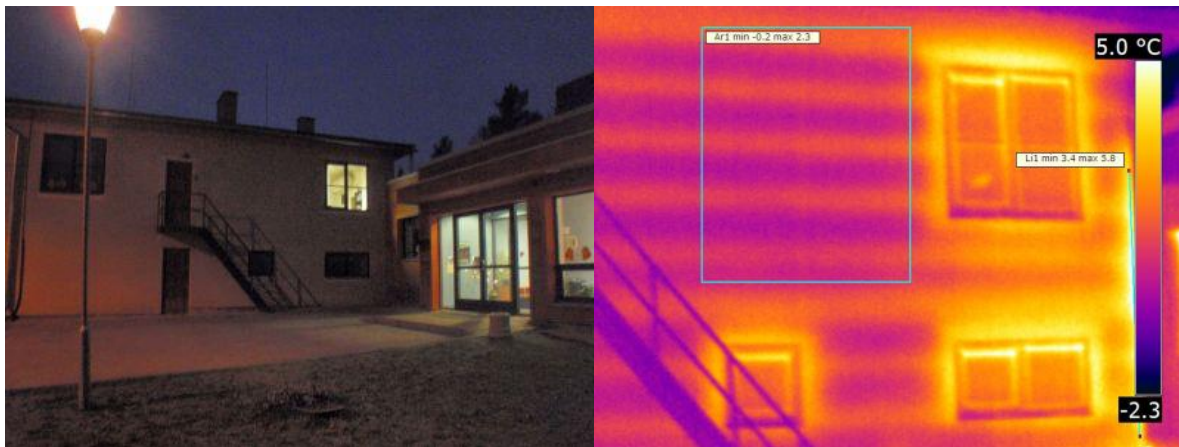
Välissein

Olukorra kirjeldus	Võimalikud meetmed renoveerimiseks	
Välisseinad on valdavalt soojustatud paneelidest koosnevad. Akende vahetuse käigus oli lasteaia rühmaruumide põhjapoolsele seinale paigaldatud ehitusaegsest väiksemad aknad. Alles jäänud tühimikud on täidetud kärgplokiga, mille soojajuhtivus oli termograafilise vaatluse andmetel suurem paneeli omast. Kärgplokk moodustas < 10% välisseinte pindalast. Esines välisfassaadi lagunemise märke ning lagunenud paneelivuuke.	Hoone soojapidavuse tõstmiseks tuleks välisseinad soojustada vähemalt 15 cm paksuse materjaliga, mille soojaerijuhtivus ei ületa 0,06 W/m*K. Soojustamisega saaks parandada ka välisfassaadi ilmet ning lahendada lagunenud vuukidest tekkivad külmasillad.	
Tarindi soojapidavad kihid		
Betoonpaneel	11	cm
Soojustuskiht	10	cm
Betoonpaneel	11	cm
krohv ja siseviim	1	cm
U-arv	0.55	W/m ² *K

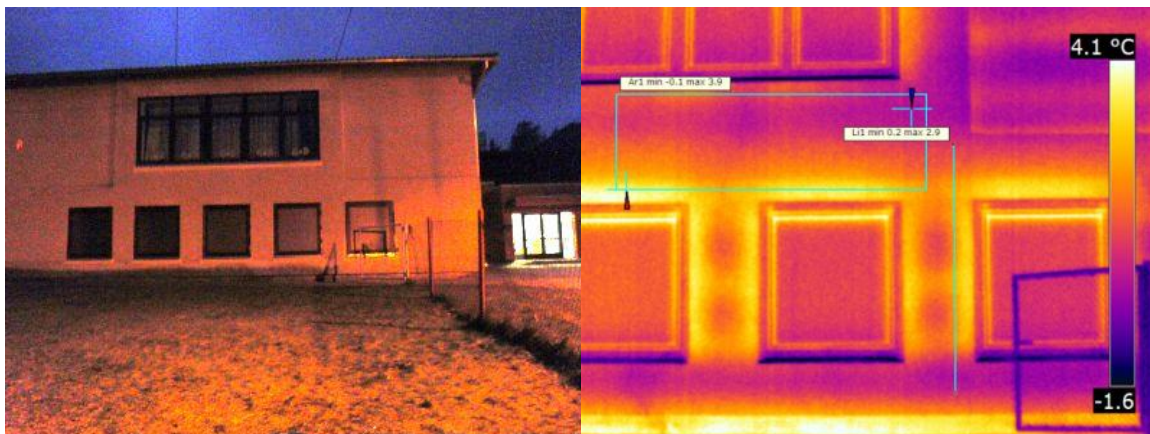
Basseinimaja välissein

Olukorra kirjeldus	Võimalikud meetmed renoveerimiseks	
Basseinimaja välisseinad on laotud tellistest, telliste vahel on projektijärgselt soojustusmaterjal. Termograafilise ülevaatus käigus ei leitud märke, et basseinimaja seinte soojustus oleks halvem algkool-lasteaia välisseintest	Hoone soojapidavuse tõstmiseks tuleks välisseinad soojustada vähemalt 15 cm paksuse materjaliga, mille soojaerijuhtivus ei ületa 0,06 W/m*K. Soojustamisega saaks parandada ka välisfassaadi ilmet ning lahendada lagunenud vuukidest tekkivad külmasillad.	
Tarindi soojapidavad kihid		
Krohv	2	cm
Silikaattellis	14	cm
Mineraalvattplaadid	10	cm
Silikaattellis	14	cm
U-arv	0.55	W/m ² *K

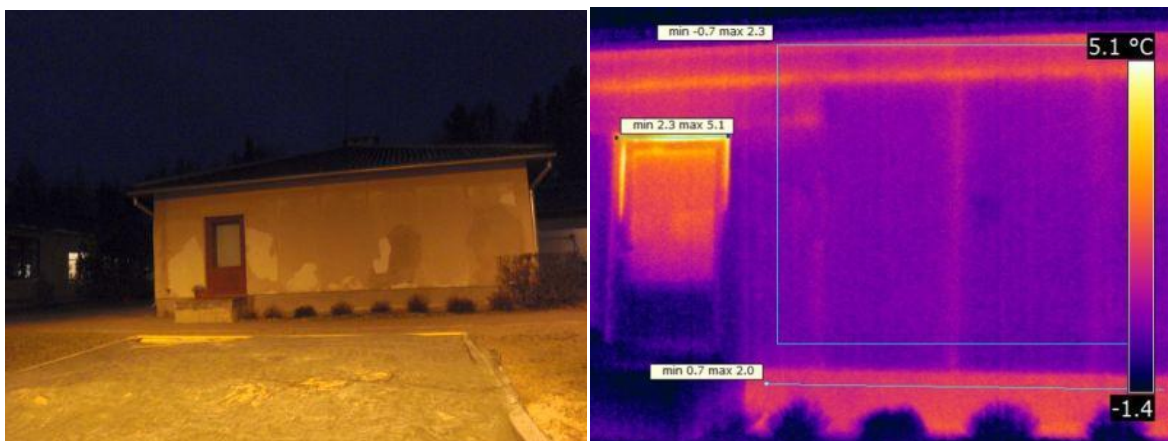
Märgata on siduvad telliste read, mis on külmasildadeks tarindis. Samuti akende kohal paiknevad sillused on kõrge soojajuhtivusega ning vähemtähtis pole ka külmasild kahe piirde kohtumiskohal pildi nurgas.



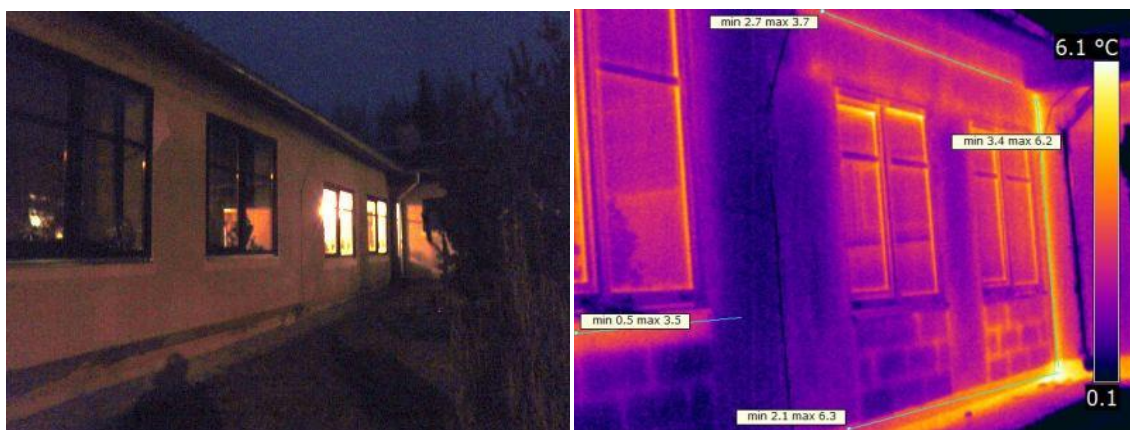
Tarindi temperatuurid erinevad seina lõikes 4 kraadi, mis on kordades suurem temperatuuride erinevus kui hea soojapidavusega seina korral. Samuti märkame, et akendevahelised piirkonnad on kõrge soojajuhtivusega.



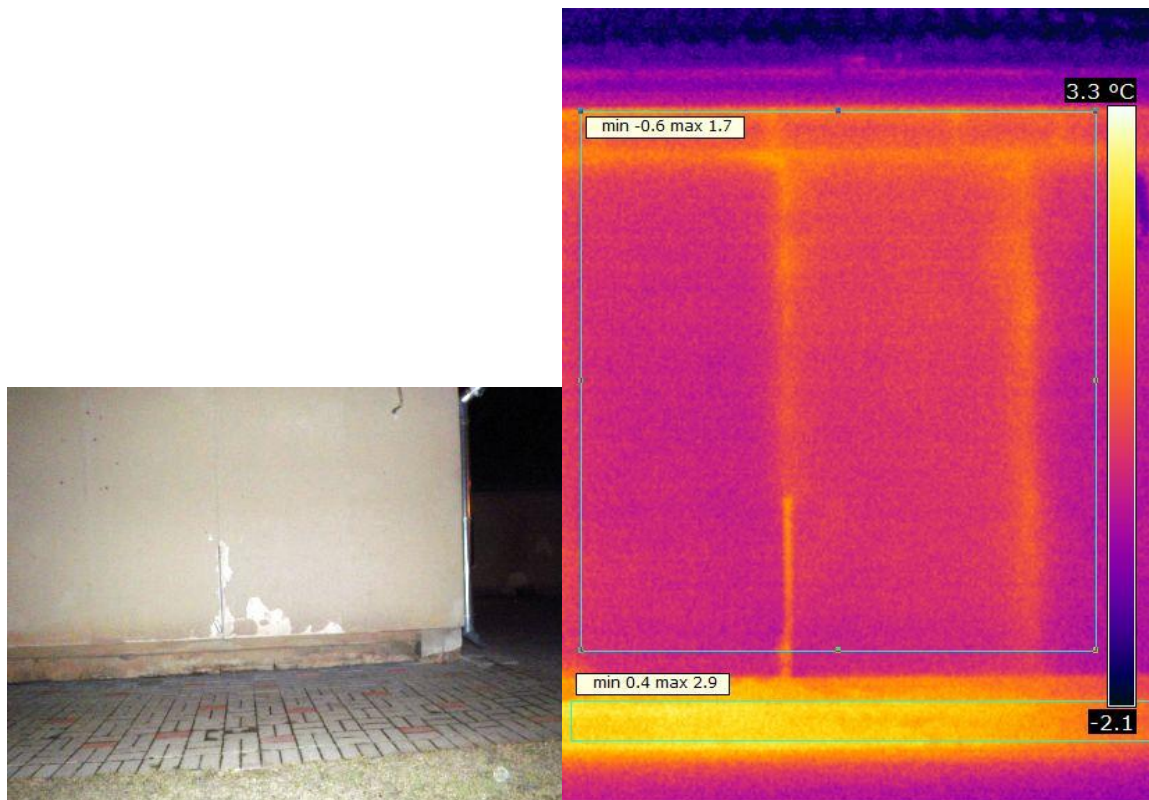
Paneelidevahelised vuugid on kõrgemate temperatuuridega, kuid samas pole temperatuuride vahe väga ulatuslik võrreldes tellistest või tuhablokkidest laotud pindadega. Samuti pole märgata temperatuuride erinevusi paneelide lõikes. Välisuks on vähese soojapidavusega: pildilt on näha, et ukse ülemises ääres erineb temperatuur välisseina omast kuni 5 kraadi.



Osad paneelid on asendatud ehitusplokkidega ning nende soojajuhtivus on kõrgem. Samuti näeme külmasildu seinte nurkades.



Paneeli ümber on ligi kahekraadine temperatuurierinevus. Sokkel paistab samuti üsna soe, kuid see on osaliselt põhjustatud põrandast tekkivast külmasillast ning osalt ka maapinnast tulevast soojusest. Mõned vuugivahed on lagunened. Paneelide ühenduskohad on suhteliselt hea soojapidavusega.



Põrand

Olukorra kirjeldus	Võimalikud meetmed renoveerimiseks
Hoone põrand paikneb valdavalt pinnasel.	Põranda soojustamist antud töös ei käsitletud selle töömahukuse ning keerulise teostatavuse tõttu. Termopilte samuti ei tehtud, sest temperatuuride vahe on liiga vähene.

Kelder

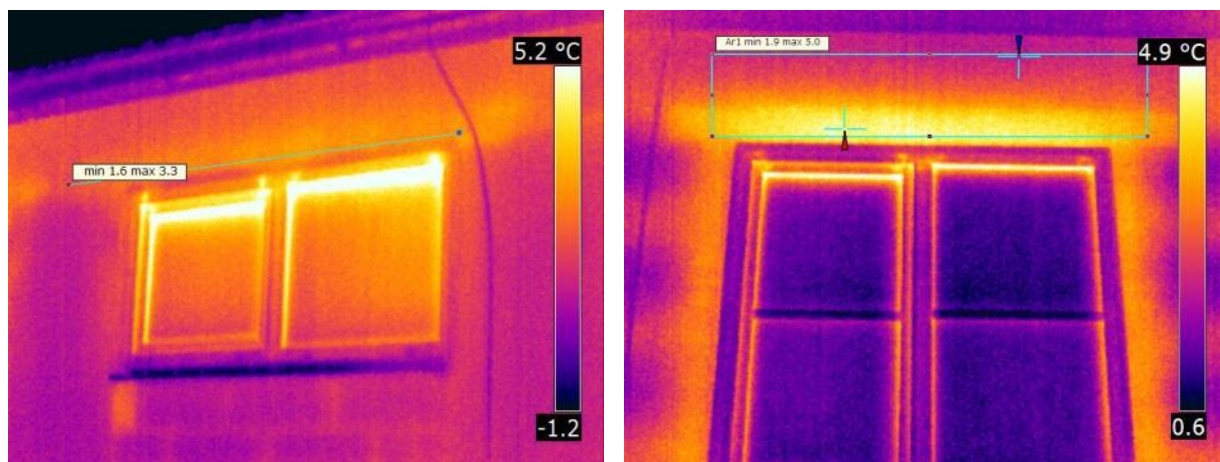
Olukorra kirjeldus	Võimalikud meetmed renoveerimiseks
Keldris paikneb eelnevalt kasutusel olnud elektrikatel ning uuel katelseadmelt saadava sooja trassivee jaotuskeskus. Keldri sisetemperatuur on kütteperioodil hinnanguliselt 15 kraadi	Keldri soojustamist antud töös ei käsitleda keldri väikese suuruse ning asjaolu tõttu, et keldris paiknevad küttesüsteemi torud on valdavalt isoleeritud ja seega on soojakadu nendest suhteliselt väike.

Aknad

Olukorra kirjeldus	Võimalikud meetmed renoveerimiseks		
Algkool-lasteaia aknad vahetati 2011 aasta kevadel. Aknad on kaasaegsed, suhteliselt madala U-arvuga. Termograafilise ülevaatus käigus oli näha, et akende ümber on siiski olemas külmasillad	Akende ümber paiknevad külmasillad saab ära kaotada III säästumeetmega.		
Tarindi soojapidavad kihid			
U-arv	1.80	W/m ² *K	



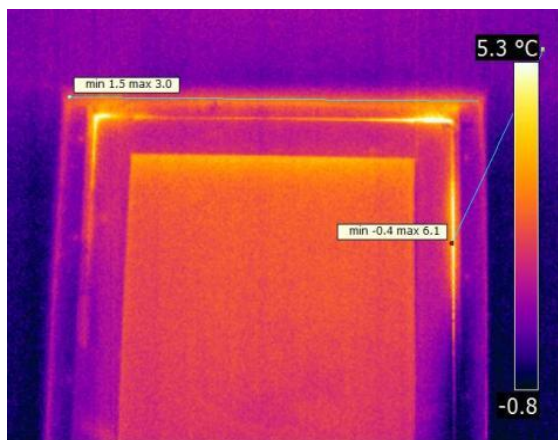
Akende nurkades on märgata soojemaid piirkondi, mis viitavad akende ebakvaliteetsele paigaldusele. Lisaks on paremal pool asetseval fotol hästi välja toodud silluse suur soojajuhtivus.



Uksed

Olukorra kirjeldus		Võimalikud meetmed renoveerimiseks	
Algkool-lasteaia uksed vahetati 2011 aasta kevadel. Uksed on kaasaegsed, suhteliselt madala U-arvuga. Termograafilise ülevaatus käigus oli näha, et akende ümber on siiski olemas külmasillad		Uste ümber paiknevad külmasillad saab ära kaotada III säästumeetmega.	
Tarindi soojapidavad kihid			
U-arv	2.80	W/m ² *K	

Lasteaia osas paiknevad uksed on kõik ülemistest nurkadest vähe õhupidavad ning suure soojajuhtivusega.



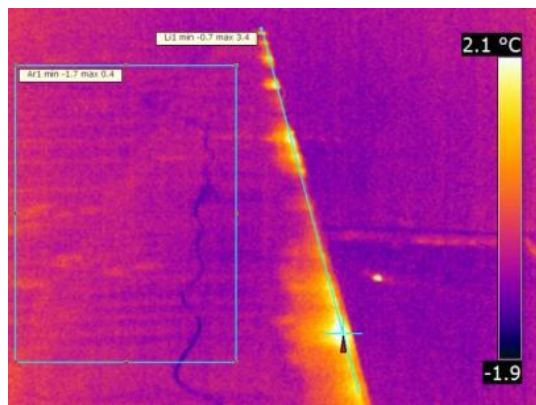
4.2. Spordihoone piirdetarindid

Kuigi spordihoone on suhteliselt uus ehitis, ei puudunud probleeme ka selle hoone soojustuses.

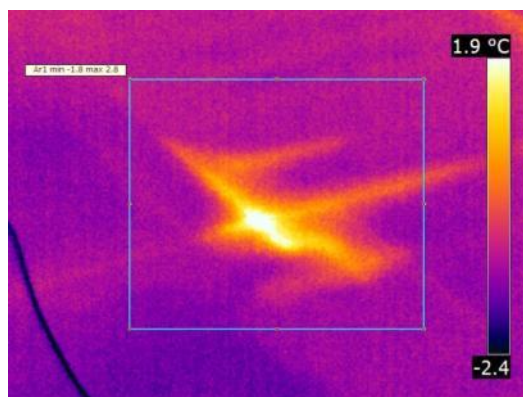
Katus

Olukorra kirjeldus	Võimalikud meetmed renoveerimiseks		
Katusematerjalina on kasutatud rullmaterjali. Suuri puuduseid katuse soojustamisel termoülevaatus välja ei toonud. Küll oli näha, et soojustamata suitsuluukide kaudu väljub palju soojaenergiat. Katuse soojustus varieerub olenevalt hoone osast.			
Tarindi soojapidavad kihid			
U-arv	0.17...0.26		W/m ² *K

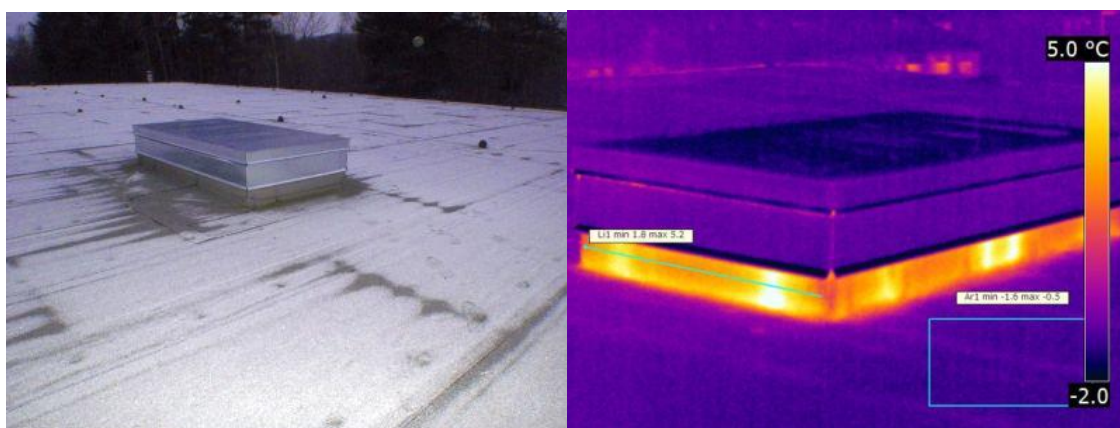
Katuse paremalt äärelt on märgata katuse tuulutust.



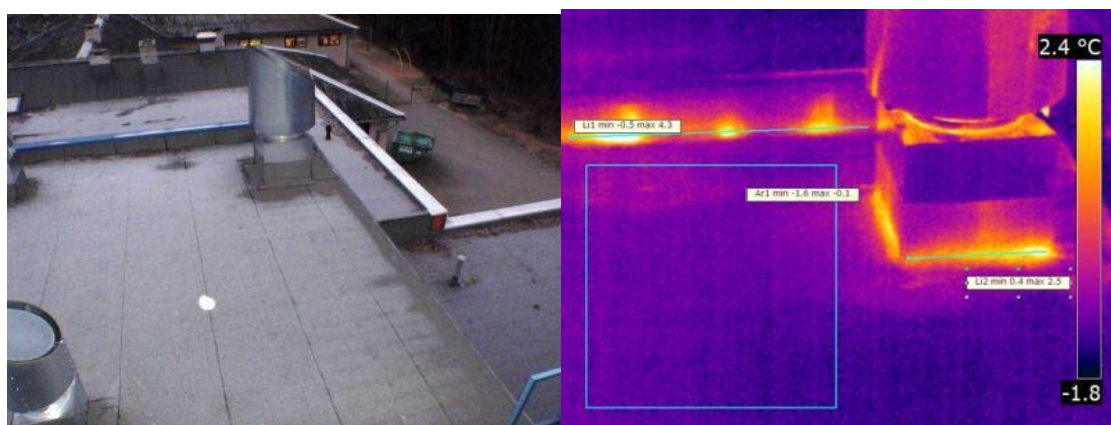
Katuse keskel oli märgata ka üksikuid soojemaid kohti, mis olid kuni kolme kraadise temperatuurierinevusega, ning see on taas liialt suur soojajuhtivus soojapidava pinna kohta.



Soojustus oleks tulnud tõsta kõrgemale, et vähendada soojakadusi automaatsuugist.



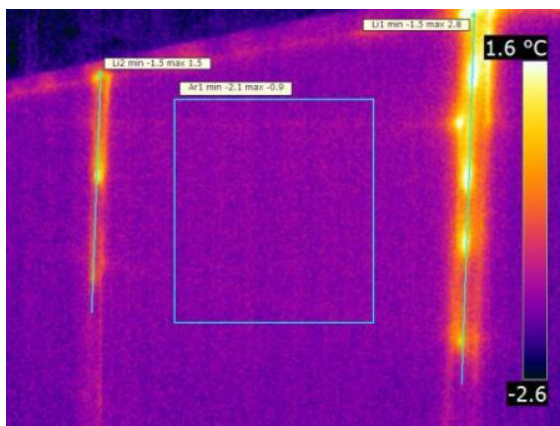
Mitmetes kohtades on külmasillad katuse ääres ning samuti ventilatsiooni väljapuhke ümber.



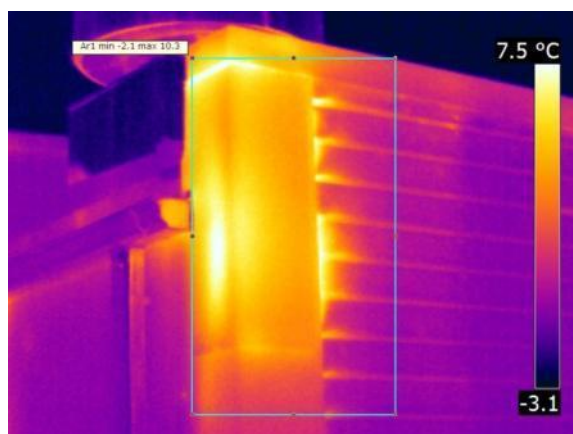
Välisseinad

Olukorra kirjeldus		Võimalikud meetmed renoveerimiseks
Suurima välisseina pindala haarab enda alla spordihoone kõrgema osa Paroc-paneelist sein. Seinte seisukord on termolülevaatuse järgi suhteliselt hea, kuigi esineb külmasildu nii seinte välisnurdades kui ka Paroc-paneeli ühendustes		Paroc paneelide ühenduskohad tuleks avada ning kas paigaldada uus soojustuskiht või siis lisada soojustust ühenduskohti katvate metallribade alla.
Tarindi soojapidavad kihid		
U-arv	0.22...0.29	W/m ² *K

Peaaegu igal Paroc-paneeli ühenduskohal oli märgata sarnaseid külmasildu, kus temperatuurid on kuni nelja kraadise temperatuurierinevusega.



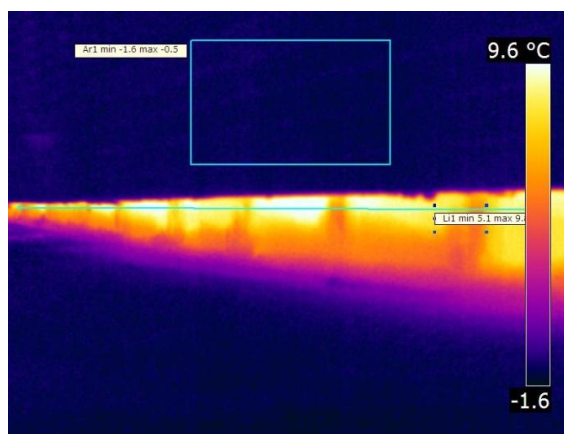
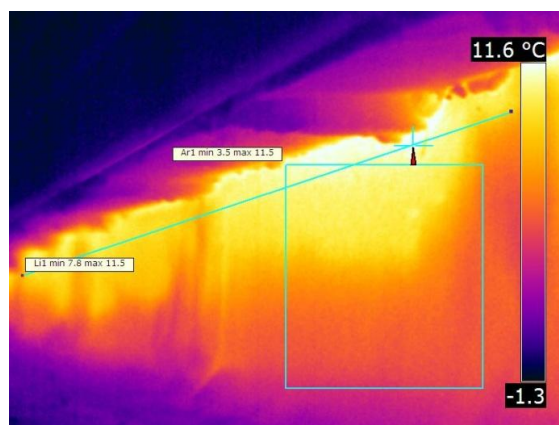
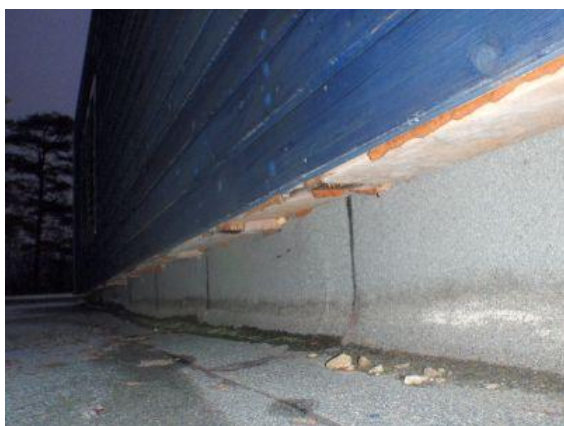
Hoone nurk on väga ebakvaliteetselt kokku pandud ning pole täpselt teada, kas on soojustus jäänud täiesti lisamata või probleem milleski muus. Lihtsam oleks piirkond avada ning taassoojustada.



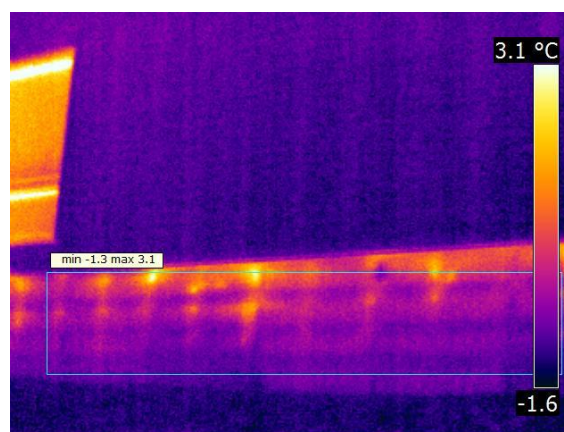
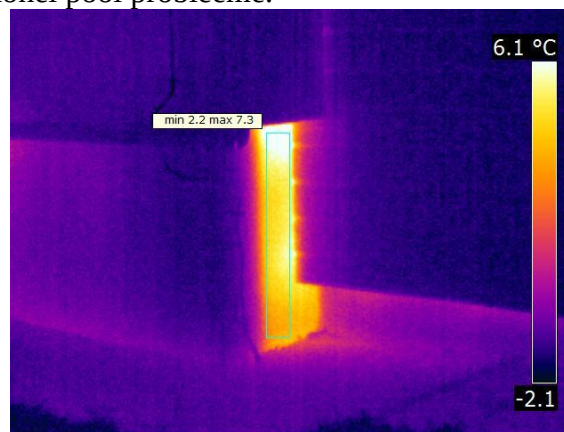
Põrand

Olukorra kirjeldus	Võimalikud meetmed renoveerimiseks
Hoone põrand paikneb pinnasel. Põranda alune on soojustatud. Samuti on soojustatud vundamendi äär (hoone lääneosas horisontaalselt)	

Ventilatsiooniruumi sokliosa on kaetud rullmaterjaliga, kuid pole kindel, kas on lisatud ka soojustust. Tundub, et mitte või siis liiga väheselt, sest pinnad soklil ulatuvad 11 kraadini ja enam.



Ka ülejäänud spordihoone sokliosas esines mõnel pool probleeme.



energiaklass
TAASTUNUTE TEKNOLOOGIADE LABOR



Eesti Maaülikool
EMU Tehnikainstituut

Aknad

Olukorra kirjeldus	Võimalikud meetmed renoveerimiseks	
Aknad on ehitusaegsed, kaasaegse soojapidavusega		
Tarindi soojapidavad kihid		
U-arv	1.80	W/m ² *K

Uksed

Olukorra kirjeldus	Võimalikud meetmed renoveerimiseks	
Uksed on ehitusaegsed, kaasaegse soojapidavusega		
Tarindi soojapidavad kihid		
U-arv	2.50	W/m ² *K



Termopildilt on näha, et akende ja uste ääres ning õhutuse läbiviigukohtades esineb välistemperatuurist kõrgemaid temperatuure, mis viitavad ebakvaliteetsele paigaldusele ning külmasildadele.

4.3. Hoonetekompleksi soojusbilanss

Melliste algkool-lasteaed-spordihoone soojusbilanss koostati 2010 aasta põhjal (akende U-arvud võeti märgatavalt suuremad), sest 2011 kevadel vahetati algkool-lasteaia aknad ning enamus uksi, seega soojusbilansi koostamine 2011 aasta põhjal polnud otstarbekas. Kraadpäevadeks on valitud 4972, kuivõrd algkool-lasteaia tasakaalutemperatuur oli 19,7°C, spordihoone oma oli seevastu 18 °C.

Tabel 4.1. Mõõdetud ja arvutatud energiakulu

		Kokku	Koolimaja	Spordihoone	Ühik
Mõõdetud energiakulu 2010	MWh	527.05			MWh
Arvutatud sooja vee kulu	MWh	10.12		10.12	MWh
Arvutatud sooja kulu kütmiseks	MWh	516.92			MWh
Arvutatud elektri kulu kütmiseks	MWh	21.30			MWh
Kogu energiakulu kütmiseks	MWh	538.23			MWh
Energiakulu 2010, taandatud normaalaastale	MWh	512.53			MWh
Soojuskadu läbi maapealsete piirdetarindite	KW/°C	3.20	2.37	0.84	kW/°C
Energiakulu õhuvahetuseks	KW/°C	0.56	0.26	0.30	kW/°C
Kokku	KW/°C	3.76	2.63	1.14	kW/°C
Arvutatud soojuskadu läbi piirdetarindite normaalaastal	MWh	508.59	362.97	145.62	MWh

Soojusbilansi kontrollarvutuse (tabel 4.3) teostamiseks kasutati 2011 aasta andmeid. Arvutus tehti ainult algkool-lasteaia osale, kasutades samal perioodil paigutatud soojamõõturilt saadud andmeid (tabel 4.2) ning soojakadusid õhuvahetusele ning läbi välispiirete.

Tabel 4.2. Melliste algkool-lasteaia soojaenegiatarve.

Kuu	Mõõdetud tarbimine	Kraadpäevadega taandatud soojaenergia tarbimine
	2011	2011
	MWh	MWh
I	0.0	0.0
II	0.0	0.0
III	0.0	0.0
IV	0.0	0.0
V	5.9	6.9
VI	0.7	4.3
VII	0.5	0.0
VIII	1.1	3.1
IX	4.7	9.7
X	14.0	17.2
XI	26.5	34.8
XII	35.6	49.7
Kokku	88.9	125.7

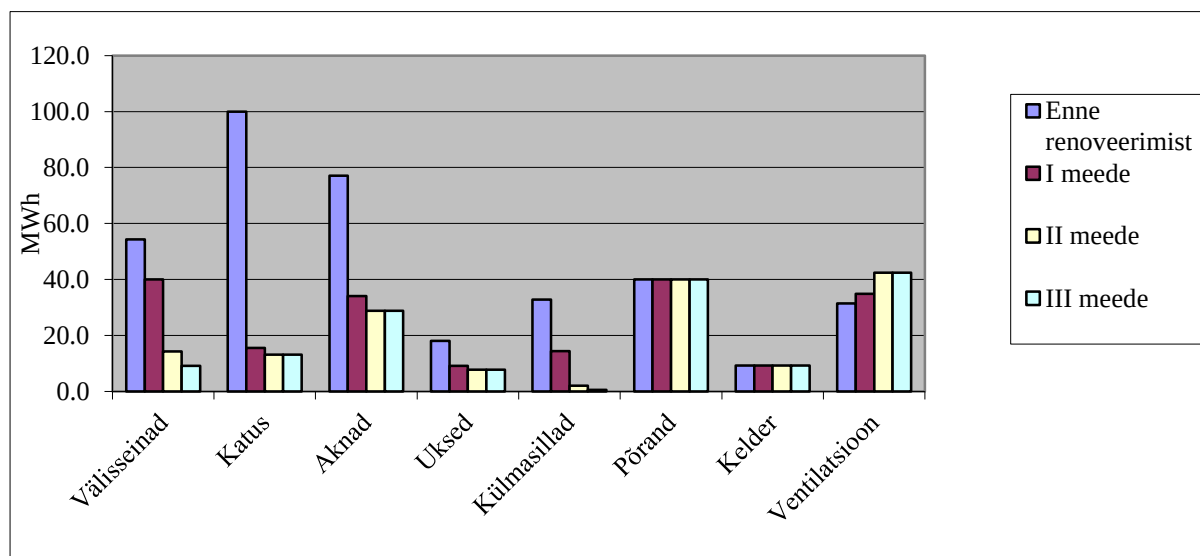
Tabel 4.3. Melliste algkool-lasteaia soojusbilanss V 2011...XII 2011.

	Kogus	Ühik
Mõõdetud kogukulu, taandatud normaalaastale	125.68	MWh
Soojuskadu läbi maapealsete piirdetarindite	86.75	MWh
Energiakulu õhuvahetuseks	10.92	MWh
Soojuskadu läbi põranda	27.60	MWh
Arvutatud soojakaod läbi piirdetarindite	125.26	MWh

Tabelist 4.3 nähtub, et algkool-lasteaia hoonele anti kraadpäevadega taandatult 125,68 MWh suurune soojushulk. Piirdetarindite kaudu lahkus arvutuslikult pea sama suur kogus soojaenergiat.

4.4. Hoone piirdetarindite renoveerimine

Järgnevalt on toodud hoone piirete renoveerimisel saavutatud soojusjuhtivustegur ja energiasääst piirete kaupa. Selgituseks võib öelda, et tasakaalutemperatuur näitab, milline oleks hoone sisetemperatuur, kui vabasoojuse arvelt hoone ei soojeneks. Soojakadude jaotumist algkool-lasteaia hoonest erinevate meetmete rakendamise korral võib vaadelda alljärgnevalt jooniselt.



Joonis 4.2. Algkool-lasteaia soojakadude jagunemine erinevate säästumeetmete rakendamisel

Alljärgnevalt kirjeldatakse U-arvude ning tasakaalutemperatuuride muutusi erinevate säästupakettide korral. Pindalad, mis on antud alljärgnevates tabelites, leiti sisemõõtude järgi, nagu nõuab Vabariigi Valitsuse määrus „Energiaühenduse miinimumnõuded“.

Enne renoveerimist

Tasakaalutemperatuur, °C					19
	Katus, pööning	Seinad	Põrand, kelder	Aknad	Uksed
Pindala (m ²)	1502.4	833.9	1553.0	215.4	39.2
Hinnanguline U-arvu väärtus (W/m ² *K)	0.56	0.55		1.8	2.8
Hinnangulised soojakaod (MWh/a)	100.00	54.31	49.24	46.26	12.21

Peale I säästupaketi rakendamist

Tasakaalutemperatuur, °C					15
	Katus, pööning	Seinad	Põrand, kelder	Aknad	Uksed
Pindala (m ²)	1502.4	833.9	1553.0	215.4	39.2
Hinnanguline U-arvu väärtus (W/m ² *K)	0.12	0.55		1.8	2.8
Hinnangulised soojakaod (MWh/a)	15.56	40.07	49.24	34.13	9.14

Peale II säästupaketi rakendamist

Tasakaalutemperatuur, °C					14
	Katus, pööning	Seinad	Põrand, kelder	Aknad	Uksed
Pindala (m ²)	1502.4	833.9	1553.0	215.4	39.2
Hinnanguline U-arvu väärtus (W/m ² *K)	0.12	0.23		1.8	2.8
Hinnangulised soojakaod (MWh/a)	13.16	14.33	49.24	28.85	7.73

Peale III säästupaketi rakendamist

Tasakaalutemperatuur, °C					13.5
	Katus, pööning	Seinad	Põrand, kelder	Aknad	Uksed
Pindala (m ²)	1502	834	1553	215	39
Hinnanguline U-arvu väärtus (W/m ² *K)	0.12	0.15		1.8	2.8
Hinnangulised soojakaod (MWh/a)	13.16	14.33	49.24	28.85	7.73

4.5. Tasakaalutemperatuuride leidmine

Vabasoojus on seadmete, inimeste ja päikese poolt normaalse elutegevuse käigus tekkiv ning hoonesse antav soojus. Vabasoojuse allikaks on inimesed, elektriseadmed, elektervalgustus ja päikeseikiirus. Vabasoojuse kasutamine on sõltumatu välistemperatuurist. Vabasoojusest tulenevat energiat saab katta energiakadude katteks tasakaalutemperatuurist kuni ruumi temperatuurini, kusjuures välist kütteenergiat vajatakse alles pärast välisõhutemperatuuri langemist alla tasakaalutemperatuuri. Vabasoojusest saadav energia katab hoone energiavajadusest seda suurema osa, mida parem on välispiirete sooja- ja õhupidavus. Samuti mängib rolli küttesüsteemi reguleeritus ning termostaatventiilide olemasolu. Vabasoojuse efektiivsem kasutus tekitab olukorra, kus pärast hoone renoveerimist tekib täiendav energiasääst tasakaalutemperatuuri langemise tõttu. Tasakaalutemperatuuride leidmiseks kasutati järgmisi andmeid:

Tabel 4.4. Melliste algkool-lasteaia teoreetiline vabasoojus

Kuu	Päike	Inimesed, seadmed, valgustus
	kW/m ²	kW/m ²
Jaanuar	0.8	7.2
Veebruar	1.7	6.5
Märts	4.4	7.2
Aprill	4.5	7.0
Mai	5.6	7.2
September	3.4	7.0
Oktoober	1.6	7.2
November	0.7	7.0
Detsember	0.3	7.2
Lisakoeffitsent*	0.53	1.0
Kokku	12.08	63.82

Tabel 4.5. Melliste spordihoone teoreetiline vabasoojus

Kuu	Päike	Inimesed, seadmed, valgustus
	kW/m ²	kW/m ²
Jaanuar	0.8	4.4
Veebruar	1.7	3.9
Märts	4.4	4.4
Aprill	4.5	4.2
Mai	5.6	4.4
September	3.4	4.2
Oktoober	1.6	4.4
November	0.7	4.2
Detsember	0.3	4.4
Lisakoeffitsent*	0.16	1.0
Kokku	3.79	38.47

* Lisakoeffitsient, mis arvestab akende asetusega ilmakaarte suhtes, on leitud passiivmaja standardit kasutades.

Tabelist 4.6 on nähtav tasakaalutemperatuuri ning erisoojuskadude muutus algkool-lasteaias erinevate säästupakettide korral.

Tabel 4.6. Hoone tasakaalutemperatuuri ning erisoojuskadude muutus algkool-lasteaia osas

	Ühik	Praegune olukord	Säästumeetmed		
			I meede	II meede	III meede
Arvutuslik vabasoojuskooormus, F_{vs}	kW	13.8	13.8	13.8	13.8
Vabasoojuse kasutegur		0.3	0.77	0.77	0.77
Kasutatav vabasoojuskooormus, F_{vs}	kW	4.1	10.6	10.6	10.6
Erisoojuskaod läbi välispiirete, H_{vp}	kW/°C	2.1	1.29	0.89	0.80
Õhuvahetuskordaja, n	1/h	0.2	0.3	1.0	1.0
Erisoojuskaod õhuvahetusele, H_{vent}	kW/°C	0.26	0.4	0.5	0.5
Erisoojuskaod kokku, $H = H_{vp} + H_{vent}$	kW/°C	2.32	1.7	1.4	1.3
Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt, $D_{tvs} = F_{vs}/H$	°C	1.8	6.3	7.5	8.0
Tasakaalutemperatuur, $t_B = 22 - D_{tvs} \cdot n$	°C	19.7	15.2	14.0	13.5

4.6. Sisekliima mõõtmised ja ventilatsioon

Melliste algkool-lasteaia hoonetekompleksis sundventilatsioon puudub (v.a. köögiroomides paiknev ventilatsioon). Kasutusel on ehitusaegne n.ö. „loomulik ventilatsioon“. Ülevaatuse käigus ei olnud märgata sellise ventilatsioonisüsteemi erilist toimimiseefektiivsust, kuivõrd väljatõmmet ventileerimisavadest ei toimunud ning mõnel pool toimus isegi välisõhu sissepuhe.

Üheks põhjuseks võib olla ventilatsioonikorstna liig väike kõrgus väljatõmbe ava asukohast. Sellisel juhul mõjutab õhuvahetuse toimimist tugevalt ka õhurõhk. Samuti on ventilatsiooni ebapiisavuse üheks põhjustajaks 2011 aasta kevadel paigutatud uued pakettaknad, mis soojapidavuselt on kõvasti efektiivsemad, kui nende eelkäijad, kuid samas takistavad nad ka välisõhu liikumist siseruumidesse.

Lahendusena soovitatakse käesolevas töös korraldada töötajatele koolitus „mikrotuulutuse“ ning värske õhu klappide kasutamisest, sest ülevaatuste käigus selgus, et paljud töötajad ei pööra sellistele ruumi ventileerimise võimalustele tähelepanu. Enimkasutatud on ruumide

õhutamine akende lahti hoidmisega, kui lapsed toast lahkunud on. Samas tuleks mõelda selle peale, et värsket õhku oleks vaja ka siis, kui inimesed toas viibivad. Samuti väljub tubade pikaajalisel tuulutamisel vastavalt temperatuuride vahele ning õhuvahetuse intensiivsusele küllaltki suur kogus soojust. Loomulikult peab ruume vahepeal õhutama, kuid värsket õhku klappide ning mikrotuulutuse kasutamisega on võimalik akende lahti hoidmise aega vähendada.

Muidugi tasub hoone renoveerimisel mõelda korraliku, soojatagastusega ventilatsioonisüsteemi lisamisega hoonesse. Sellisel juhul vähenevad kulutused soojaenergiale, paraneb sisekliima, aga suurenevad kulutused elektrienergiale.

Teostati ka spordihoone ventilatsioonisüsteemi energiatagastuse efektiivsuse mõõtmised, kontrollimaks, palju soojaenergiat soojusvaheti suudab välisõhule edasi anda. Mõõdeti järgmisi ventilatsiooniseadmeid SV-1; SV-2 ja SV-3. Nende soojatagastuse hetkeefektiivsused olid vastavalt 79%; 63% ja 75% minimaalsel režiimil töötades ning 76%; 67% ja 68% maksimaalsel režiimil töötades. Et välistemperatuuriks oli mõõtmise hetkel -1...-2°C, ei saa kindlalt väita, et soojusvahetid selliste kasuteguritega ka suuremate miinuskraadide juures töötavad, aga kuivõrd kütteperioodi keskmine temperatuur on reeglina + kraadide piirkonnas, siis võib väita, et aasta lõikes töötavad ventilatsiooniagregaatide soojusvahetid suhteliselt suurte kasuteguritega. Tulemused on esitatud tabelis 4.7.

Tabel 4.7. Ventilatsiooniagregaatide mõõtmistulemused

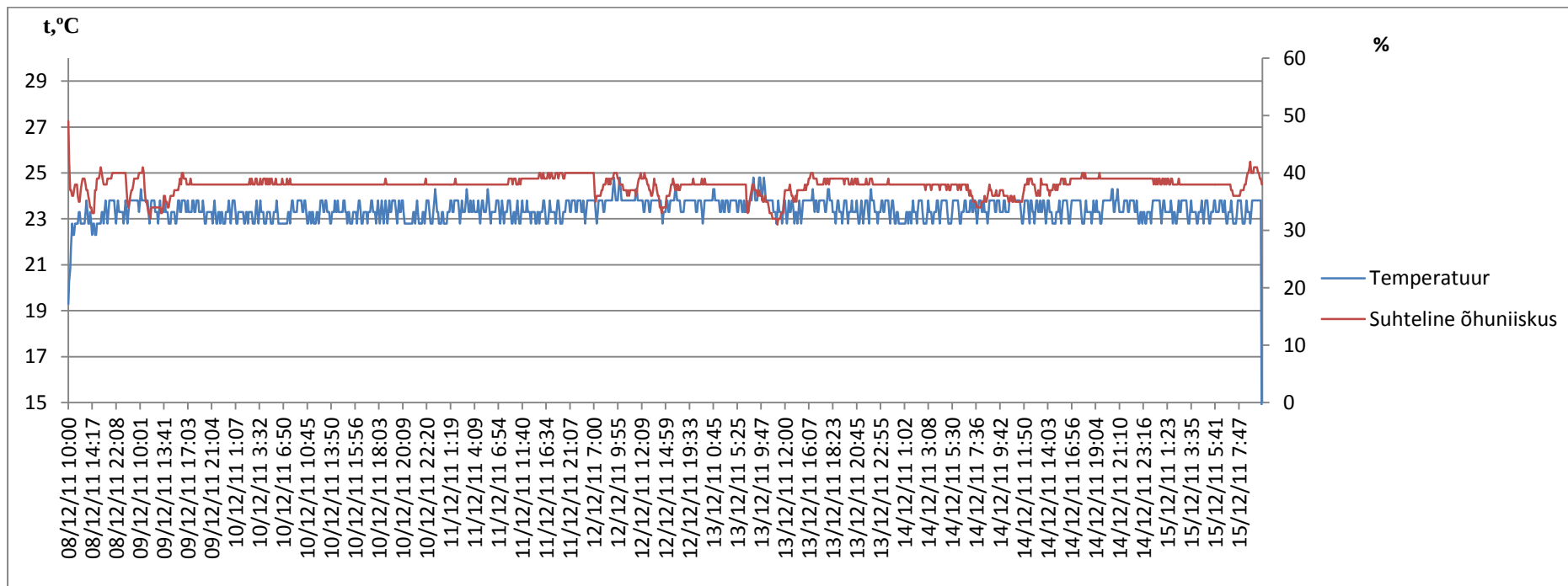
Seadme nimi	Kasutuskoht	Töörežiim	Soojatagasti efektiivsus, %	Õhu vooluhulk, l/s
SV-1	spordisaal	min	79	685
		max	76	1791
SV-2	tõstesaal	min	63	178
		max	67	413
SV-3	olmeruumid	min	75	110*
		max	68	220*

* Mõõtmisi teostati väljatõmbe poolelt.

Tabelist 4.7 nähtub, et SV-1 ja SV-2 sissepuhke vooluhulgad tulid ligilähedased projekteerituile ja seega peaks spordihoones olema tagatud piisav õhuvahetus.

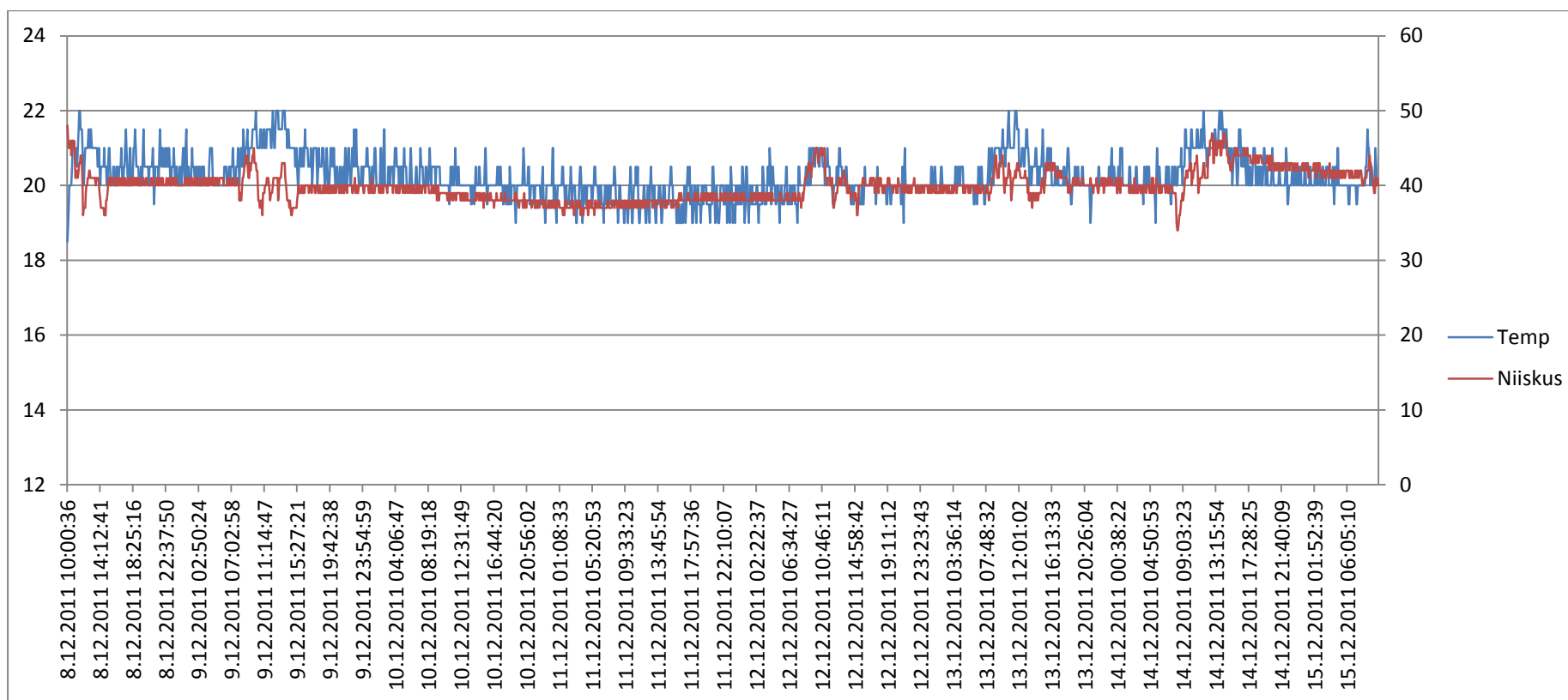
Sisekliima mõõtmistulemused on esitatud alljärgnevalt.

IV lasteaiarühma mänguruumi mõõtmistulemustest on näha, et temperatuur püsib suhteliselt ühtlane terve mõõteperioodi ulatuses, kõikudes $\pm 1 \dots 1,5$ kraadi. On märgata järske õhuniiskuse tõuse ja languseid see viitab laste viibimisele ruumis ning sellejärgsele õhutusele.



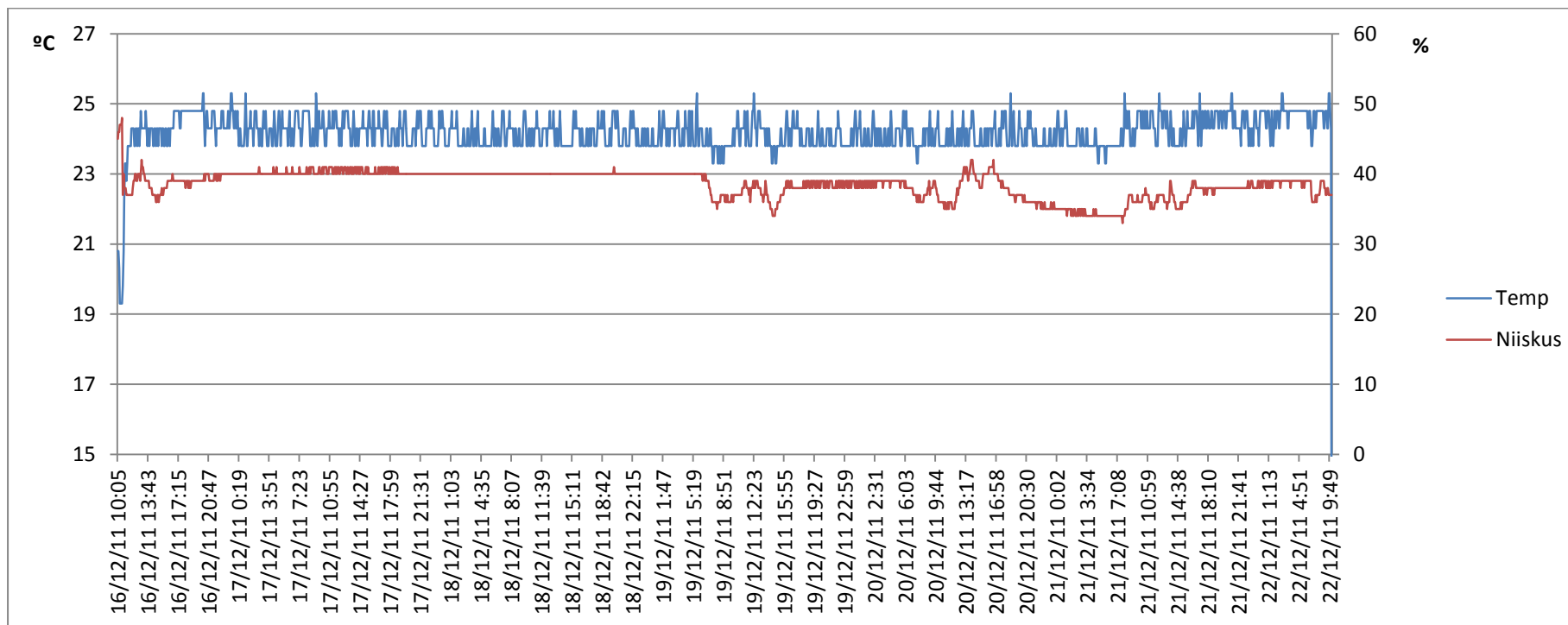
Joonis 4.3. IV rühma mänguruumi sisekliima mõõtmistulemused

6. klassi õpperuumi mõõtmistulemustest on näha, et esineb suuremaid temperatuurikõikumisi kui lasteaiarühmaruumis. Põhjus seisneb ilmselt asjaolus, et klassiruum paikneb hoone tagumises osas ning selle keskmine temperatuur on jahedam kui mujal. Temperatuuri kõikumised on põhjustatud inimtegevusest klassiruumides. On märgata järske õhuniiskuse tõuse ja languseid, see viitab laste viibimisele ruumis ning sellejärgsele õhutusele.



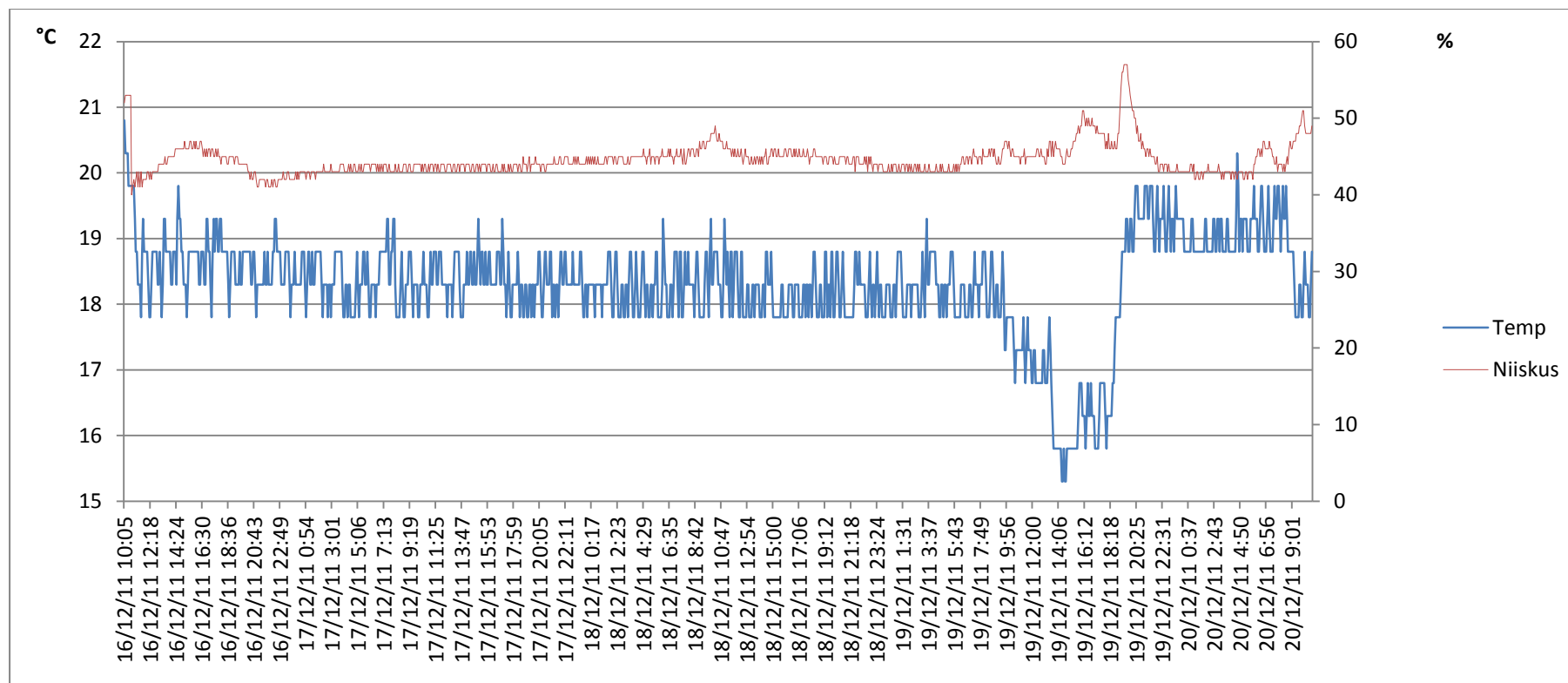
Joonis 4.4. 6. klassi klassiruumi sisekliima mõõtmistulemused

Sarnaselt IV lasteaiarühma mänguruumi mõõtmistulemustega on näha, et temperatuur püsib suhteliselt ühtlane terve mõõteperioodi ulatuses, kõikudes $\pm 1 \dots 1,5$ kraadi. On märgata järske õhuniiskuse tõuse ja languseid see viitab laste viibimisele ruumis ning sellejärgsele õhutusele.



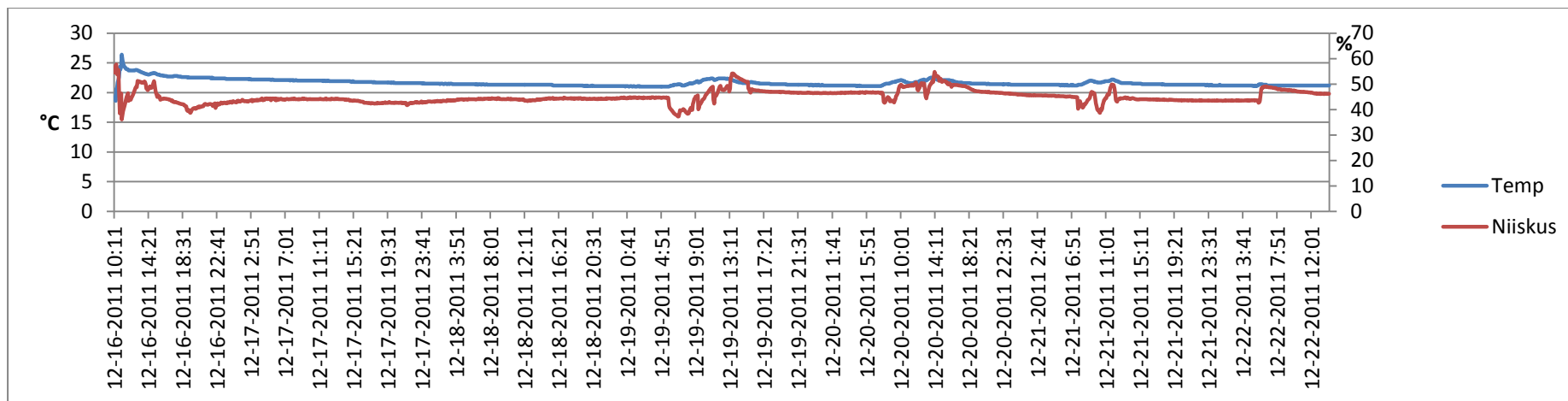
Joonis 4.5. III lasteaiarühma ruumi sisekliima mõõtmistulemused

Basseinimaja II korruse saal on üks kõige vähem kasutatumaid ruume terves hoones, seda kinnitab ka alljärgnev joonis, millelt on näha, et temperatuuritõuse esineb harva. Ruumi keskmine temperatuur on alla 19 °C. Suhteline õhuniiskus on mõõtmiste kestel ühtlane.

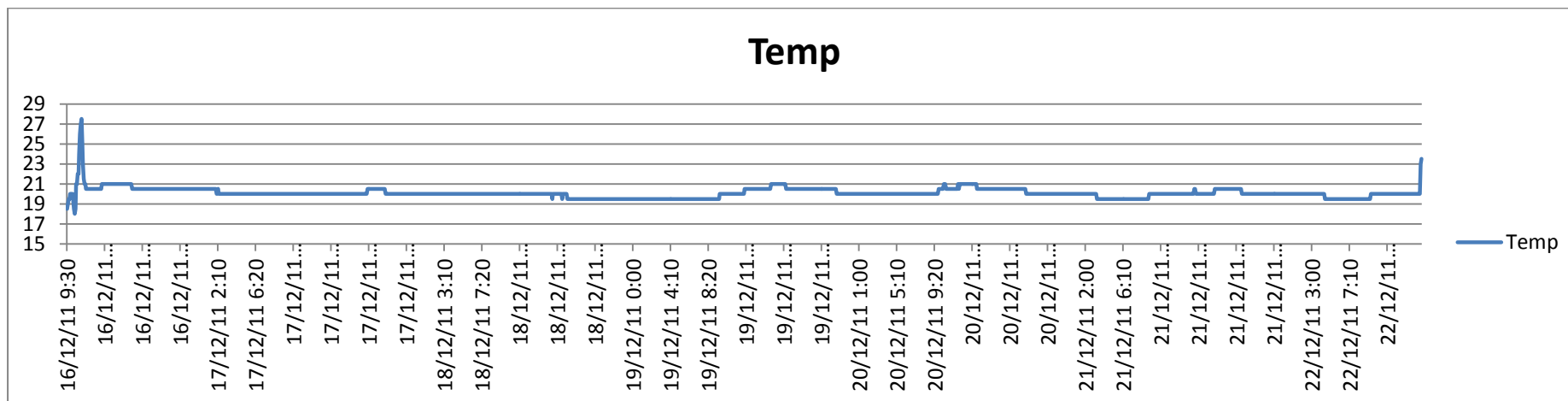


Joonis 4.6. Basseinimaja II korruse saali sisekliima mõõtmistulemused

Ka spordihoones paiknenud ruumide mõõtmistest ei saanud täheldada öise temperatuurilanguse mõjusid, sest saali keskmine temperatuur ei muutunud praktiliselt terve mõõtmise käigus.



Joonis 4.7. Spordihoones paikneva III klassi õpperuumi sisekliima mõõtmistulemused



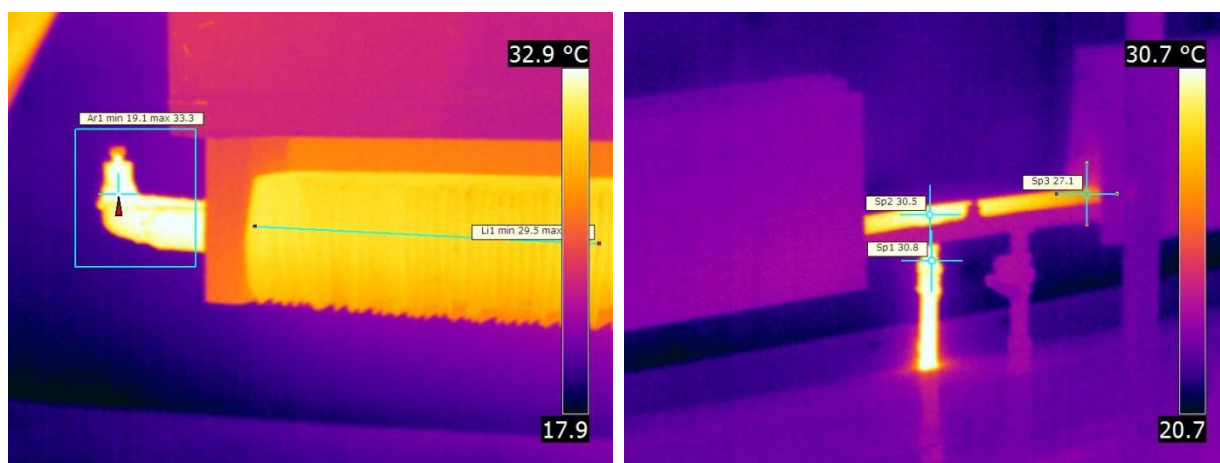
Joonis 4.8. Spordisaali sisekliima mõõtmistulemused

4.7. Hoonetekompleksi küttesüsteem

Algkool-lasteaia ruumides on kasutusel nii malm- kui ka vanemat tüüpi plekkradiaatorid, lisaks kasutatakse ka põrandakütet. Mõningatesse ruumidesse (õpetajate tuba, majandusjuhataja kabinet jne) on paigaldatud termostaatventiilidega kollektorid. Teostatud sisekliima mõõtmistest selgus, et ruumide temperatuuri öösiti ei langetata.

Hoonesiseselt teostatud termograafilise ülevaatus käigus uuriti radiaatorite soojusväljastust.

Algkool-lasteaia osaks on loetud ka basseinimaja, mille kütmisel samuti plekkradiaatoreid kasutatakse. Samas on basseiniruumi kasutamisel tugev soojuseraldus basseinist endast, kuigi seda on raske märgata suurenenud õhuniiskuse tõttu. Basseinivett köetakse elektri pealt töötava kütteelemendiga.



Et spordihoone on n.ö. uusehitis, siis kõik sinna paigaldatud kollektorid on varustatud termostaatventiilidega. Samuti on terve spordihoone küttesüsteem tasakaalustatud ning katelseade ja kogu küttesüsteem läbib igal aastal kontrolli. Termostaatventiilide olemasolu ja küttesüsteemi tasakaalustatus annavad aimdust otstarbekast vabasoojuse ära kasutamisest ning võimalikust üle- ja alakütmise vältimisest. Teostatud sisekliima mõõtmistest selgus, et mõõdetud ruumides märgatavat **öist temperatuurilangust ei toimunud** (vt eelmised joonised).

Küttesüsteemis kasutusel olevate pumpade efektiivsusest ning nendega seotud säästumeetmetest võib lugeda lisast A.

4.8. Küttesüsteemi juures paiknevad paisupaagid

Koos Grunfos esindajaga tehtud küttesüsteemi pumpade ülevaatus (lisa A) käigus selgus, et kuigi veepaisupaakide peale oli kirjutatud, et vajalik on teatav eelrõhk, ei andnud katsed manomeetriga rõhku mõõta tulemust. Rõhu puudumisel saadakse paakidest kätte vaid väike osa vee kogusest. Tulemusena toimub veepumba pidev sisse-välja lülitumine väiksema tarbimisega olukorras, mistõttu suureneb energiakulu, kuivõrd seadmete käivitusvoolud on 3...5 korda suuremad nimivoolust. **Paisupaakide eelrõhk tuleb taastada.**



Joonis 4.9. Katlaruumis paiknev paisupaak

5. ELEKTRIENERGIATARVE JA SELLE VÄHENDAMINE

Hoonetekompleksi elektritarbimine kujuneb elektriboilerite (tabel 5.1), spordihoone ventilatsiooniseadmete, küttesüsteemi pumpade (Lisa C), elektriradiaatorite, arvutite, köögitehnika jms seadmete ekspluatatsiooni tõttu.

Tabel 5.1. Melliste algkool-lasteaias kasutusel olevad boilerid

Asukoha tähistus	Boileri maht m ³	Nominaalvõimsus (kW)
Tööõpetus	0.05	1.5
Tüdrukute dušš	0.1	1.5
Kasvatajate ruum	0.15	1.5
Töötajate WC	0.015	1.5
Köök	0.15	1.5
Pesuruum	0.08	1.2
I Rühm	0.05	1.2
II Rühm	0.05	1.2
III Rühm	0.1	1.5
IV Rühm	0.1	1.5
Koristajate ruum	0.05	1.2
Õpetajate ruum	0.08	1.2
Kokku	0.975	16.5

Tabeli 3.4 andmed pärinevad Melliste algkool-lasteaia majandusjuhatajalt Viljar Rannikult. Tabelist nähtub, et kasutusel on 12 elektriboilerit kogumahuga 0,975 m³ ja koguvõimsusega 16,5 kW.

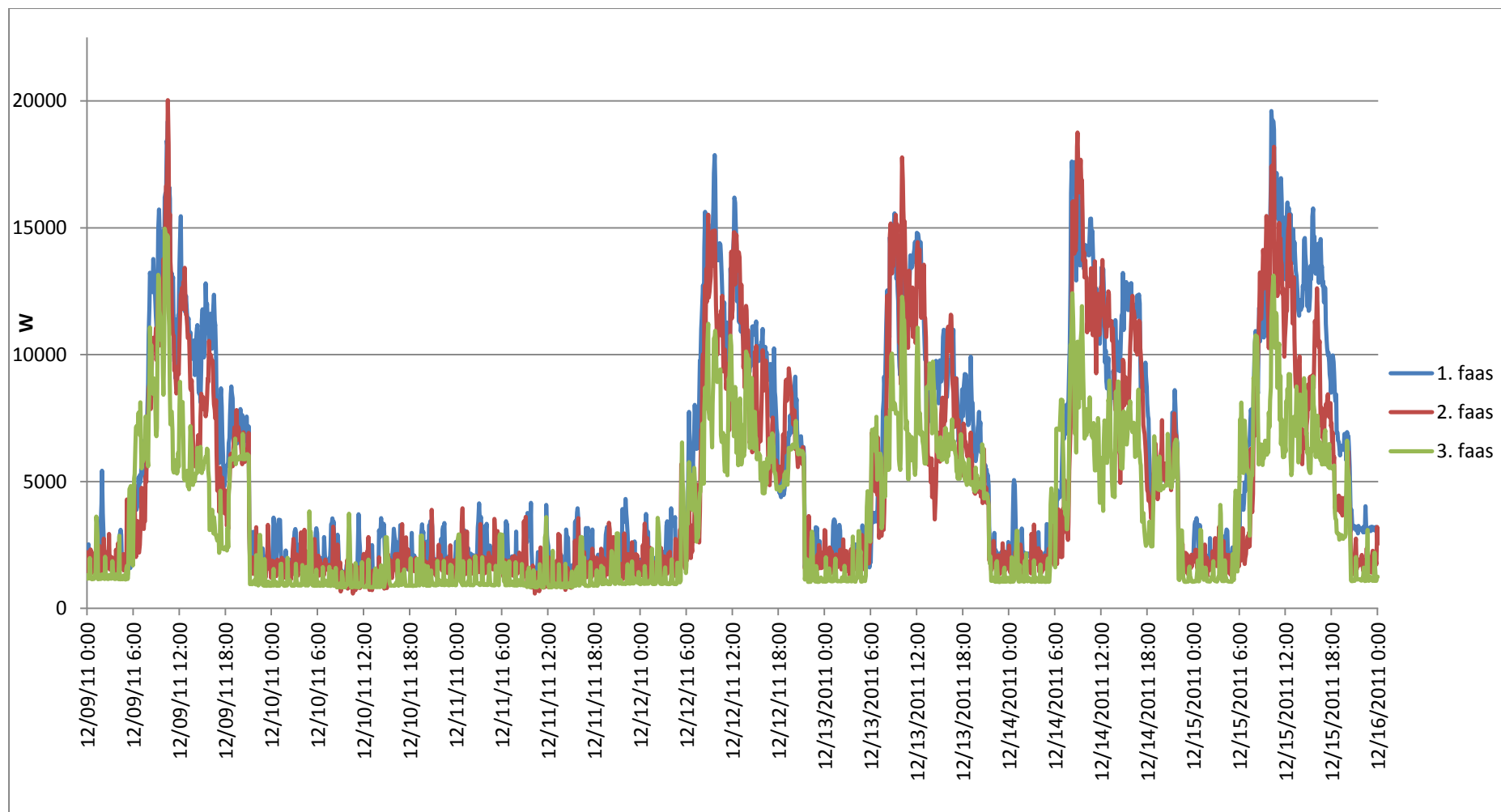
Oktoobri-, novembri-, ja detsembrikuu elektritarbimise andmetega koos saadeti ka elektrienergiale kulunud summa. Selle põhjal arvutati välja Melliste algkool-lasteaia keskmine elektrienergia hind (põhjudusel, et elektrienergia hind kõigub aasta lõikes suhteliselt vähe, kui ei toimu suuremaid konkurentsiameti poolt kinnitatud hinnatõuse). Elektrienergia hinnaks leiti 0,0971 EUR/kWh. Selle hinna põhjal arvutati välja kulutused, mis tehti hoonetekompleksi elektrienergiaga varustamiseks (tabel 5.2).

Tabel 5.2. Elektrienergia maksumus aastal 2011 ja prognoositav hind tulevikus

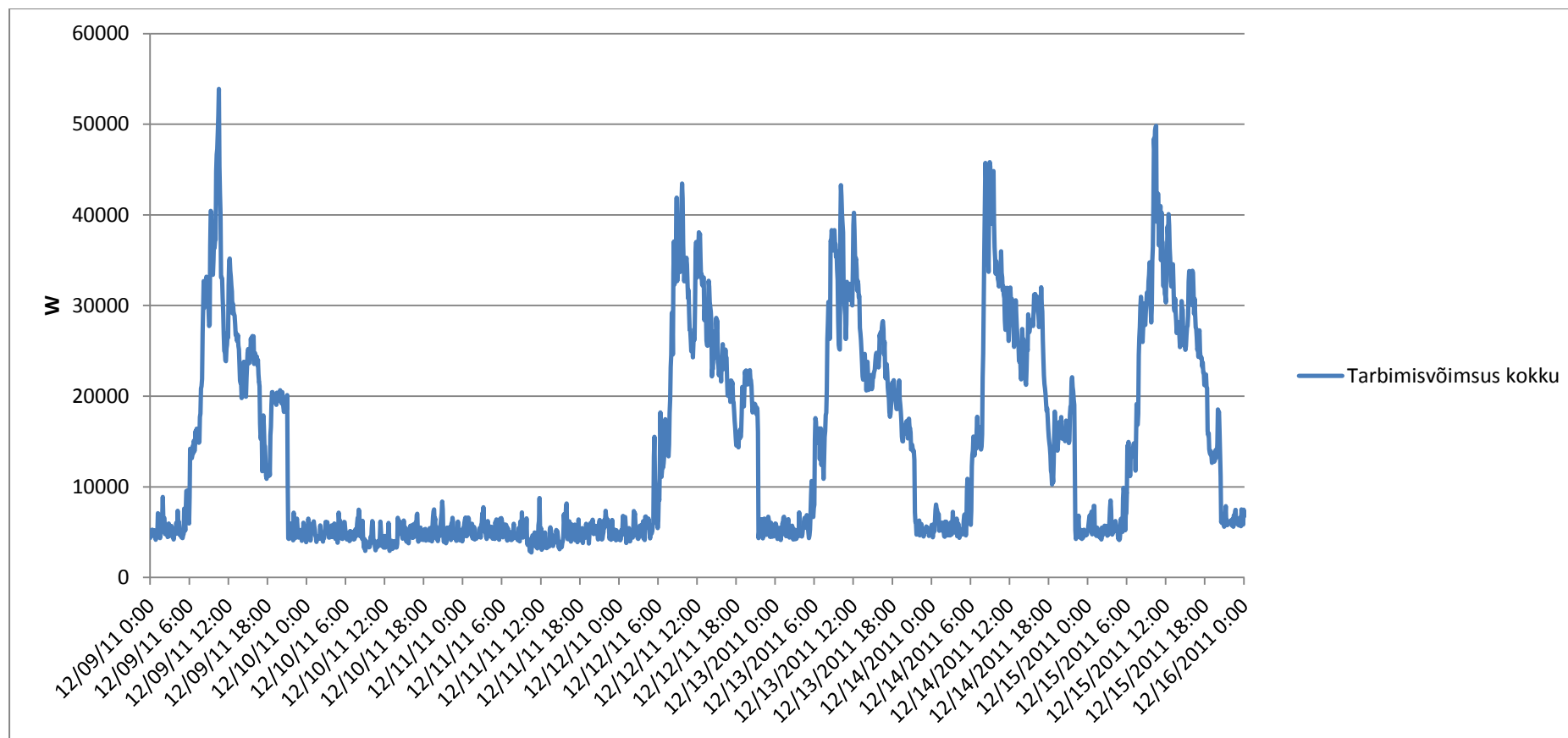
Kuu	Tarbimine	Kulud	Keskmine tarbimine	Kulud elektrienergiale keskmise tarbimise korral	Hinnaprognos	Kulude suurenemine	Vaja säästa
	2011	2011					
	MWh	EUR	MWh	EUR	EUR	EUR	MWh
I	11.97	1162.34	8.47	822.76	1028.46	205.69	2.12
II	11.67	1133.40	10.95	1062.81	1328.51	265.70	2.74
III	11.18	1085.53	11.77	1142.85	1428.57	285.71	2.94
IV	10.41	1010.56	10.31	1001.53	1251.92	250.38	2.58
V	8.79	853.16	9.50	922.07	1152.59	230.52	2.37
VI	3.91	379.97	5.02	487.85	609.81	121.96	1.26
VII	2.23	216.06	2.46	239.14	298.92	59.78	0.62
VIII	6.31	612.73	7.67	744.82	931.03	186.21	1.92
IX	7.99	776.25	9.66	937.67	1172.09	234.42	2.41
X	11.42	1108.54	12.61	1224.06	1530.08	306.02	3.15
XI	15.03	1459.09	16.10	1563.44	1954.30	390.86	4.03
XII	9.89	960.07	13.39	1300.10	1625.12	325.02	3.35
Kokku	110.79	10757.69	117.91	11449.11	14311.38	2862.28	29.48

Tabelist 2.4 nähtub, et ainuüksi elektrienergiale tehtavate kulutuste jäämiseks samale tasemele peale aastat 2013, on aastas vaja kokku hoida 29,48 MWh elektrienergiat. Sellisel juhul hoitaks aastas kokku ligi 2900 EUR.

Selgitamaks välja Melliste algkool-lasteaed-spordihoone elektritarbimise iseärasusi, mõõdeti ühe nädala jooksul ajavahemikus 09.12.2011...16.12.2011, kasutades kolmefaasilist võrguanalüsaatorit Chauvin Arnoux 8332B. Elektritarbimise mõõtmise tulemused on näidatud joonistel 5.1 ja 5.2.



Joonis 5.1. Hoonetekompleksi elektrienergia hetktarbimisvõimsused mõõteperioodil eri faaside kaupa.



Joonis 5.2. Hoonetekompleksi hetktarbevõimsus mõõteperioodil.

Joonistelt 5.1 ja 5.2 on nähtav, et tarbevõimsus on suhteliselt ühtlaselt jaotatud eri faaside vahel, kuigi 3. faasi keskmine tarbimine on veidi madalam 1. ja 2. faasi omast.

Baastarbimise ehk tarbimise, mis toimub hoones väljaspool kasutusaega, hindamiseks valiti nädalasisesel perioodil ajavahemik 22:00-06:00 ja terve nädalavahetus. Selgus, et keskmine hetktarbimine väljaspool hoone kasutusaega on 5223 W ning baastarbimise osakaal on 0,46 MWh ehk 19,37%. See tähendab, et väljaspool eksploatatsiooniga kulutatakse kütteperioodil (sest märkimisväärse osa baastarbimisest moodustavad siiski küttepumbad) hinnanguliselt 12,88 MWh.

Terve perioodi jooksul (1 nädal) kulutati 2,375 MWh elektrienergiat. Detsembrikuus kulus 9,89 MWh elektrienergiat, kuivõrd $4 \cdot 2,375 = 9,5$ MWh, siis võib mõõtmise tulemusi arvestada kui hoonetekompleksi nädalase tarbimisgraafiku kirjeldajat. Bassein oli mõõtmise ajaks juba suletud.

Samal perioodil teostati ka mõningate elektriboilerite energiatarbe mõõtmised, selgitamaks välja elektrienergia kulu vee soojendamisele. Selgus, et lasteaia III rühma ruumis paiknenud boiler tarbis 24,84 kWh elektrienergiat, köögis paiknenud boiler aga 81,22 kWh. Samal ajal aga tarbis õpetajate toas paiknenud veeautomaat 10,06 kWh. Elektri kulu vee soojendamiseks pole ilmselt võimalik antud juhul vähendada sooja vee pideva vajaduse tõttu. Kuid ilmselt tuleks kaaluda nii elektriboilerite kui ka veeautomaadi öist välja lülitamist, kuivõrd soojakadude tõttu vesi jahtub ja nii võivad ka osa vee soojendamiseks tarbitud energiast hoopis baastarbimise alla kuuluda. Samas puudub öösel sooja vee vajadus.

Elektrienergiatarbe vähendamiseks ilma suuremaid investeeringuid tegemata on antud juhul parimaks lahenduseks *standby* režiimis olevate seadmete vooluvõrgust välja lülitamine ajaks, mil neid kindlasti vaja pole (lahenduseks programmkellade või programmeeritavate pistikupesade ja isegi lülitiga pikendusjuhtmete kasutamine). Antud seadmete alla kuuluvad arvutid, printerid, televiisorid, raadiod. NB! Ruuterite ja serverite välja lülitamine võib tekitada probleeme hilisemal ühenduse taasloomisel.

Küttesüsteemi pumpade elektritarbe vähendamise võimalustest kirjutatakse lisas A.

6. UUE KATELSEADME PAIGALDAMINE JA SELLE TASUVUS

Hetkeseisuga on hoonetekompleksis kasutusel vedelgaasikatel. Vedelgaasi hinna muutust aastatel 2009...2011 kirjeldab alltoodud tabel (tabel 1.1).

Tabel 6.1. Kaugküttesoojuse hind algkool-lasteaed spordihoones ja mujal Eestis

	Ühik	2008	2009	2010	2011
Vedelgaasi kogus	t	28.38	40.95	46.11	34.27
Saadud soojaenergia	MWh	324.39	468.07	527.05	434.00
Kulutused vedelgaasile	EUR	27793.00	32252.00	43827.00	41059.16
MWh hind	EUR/MWh	85.68	68.90	83.16	94.61
Eesti keskmine*	EUR/MWh	65.85	65.05	57.61	70.23
Maksimaalne*	EUR/MWh	91.78	91.84	82.85	97.51

* Eesti keskmine ja maksimaalne kaugküttesoojuse hind on leitud Konkurentsiameti poolt 2009...2011 kinnitatud piirhindade analüüsil. Hinnad sisaldavad käibemaksu. Piirhind ei tähenda automaatselt olukorda, kus seda hinda soojaettevõtte poolt rakendatakse.

On näha, et soojaenergia hind ligineb maksimaalsetele kaugküttevõrkudes pakutavatele ja Konkurentsiameti poolt kinnitatud hindadele MWh kohta. Kuivõrd vedelgaasi toodetakse 40% ulatuses nafta kõrvalproduktina, mõjutab antud juhul soojaenergia maksumust suuresti nafta maailmaturu hind. Nafta ja sellest saadavate fraktsioonide hind on pidevalt tõusnud, seega ei ole mõistlik eeldada, et vedelgaasi hind väheneks. Samas on tasuvusaja mudelites jäetud hind konservatiivselt samale tasemele, kuivõrd on näha, et aastate lõikes esineb ka lühemaajalisi hinnalangusi.

Üks võimalikke lahendusi oleks praeguse katlamaja asendamine mõnel muu kütteallika põletamisel töötava katelseadmega. Hetkel on mõistlik vaadata puidukütte poole. Alljärgnevalt on antud hakkpuidul töötava katelseadme Kalvis 500 parameetrid (tabel 1.2). Antud kütteseadme sobiks kasutamiseks nii praeguse soojavajaduse kui ka peale renoveerimist väheneva soojaenergia vajaduse juures. Sellisel juhul saab küttevõimsuse vähendamiseks kasutada suurema niiskusesisaldusega hakkpuitu.

Tabel 6.2. Hakkpuidukatlamaja üldandmed

Võimsus (puidu niiskus $\phi < 30\%$)	500 kW
Võimsus (puidu niiskus $\phi < 50\%$)	350 kW
Kasutegur	80...85 %
Hakkpuidu punkri maht	100...150 m ³
Kogu süsteemi maksumus	216000 EUR (koos käibemaksuga)
Kasutatav kütte liik	hakkpuit

Tabelis 1.2 antud kogu süsteemi maksumus kirjeldab katelseadme, etteandesüsteemi ning hakkpuidu ladustamispunkri ehitamise ning tarnimise maksumust koos käibemaksuga. Hakkpuidu omahind tootjale oli 2011. aastal portaali www.erametsakeskus.ee andmetel keskmiselt 12 EUR/p-m³. Sellele lisandub veel käibemaks. Hakkpuidu alumine kütteväärtus on 30% niiskuse juures 0,85 MWh/p-m³. Seega kujuneb MWh soojaenergia hinnaks, arvestades katla kasutegurit, transpordikuluseid ja lisanduvaid amortisatsiooni- ning eksploatatsioonikuluseid maksumuseks hakkpuidu kui uue kütteallikaga kasutusevõtul 35...50 EUR/MWh. Mõistlik on võtta 43 EUR/MWh, kuivõrd tuleb arvestada ka uue katelseadme jaoks finantsvahendite kogumisega.

$$T = \frac{I_0}{a} = \frac{216000}{(94,61 - 43) \cdot 490} = 8,54 \text{ aastat}$$

Samas tuleb arvestada asjaoluga, et renoveerides hoone soojaenergiatarve väheneb, seetõttu on reaalne kasutada lihttasuvusaja leidmiseks järgmisi suurus:

$$T = \frac{216000}{(94,61 - 43) \cdot 297,4} = 14,1 \text{ aastat}$$

Kus 297,4 MWh on hoonetekompleksi soojaenergiatarve pärast II säästupaketi rakendamist ning spordihoone paneelide vaheliste külmasildade kaotamist. Soojaenergia hinna muutust ajas ei ole arvestatud, kuivõrd mõlema hinna kasvamisel samaproportsionaalselt, ei toimu muutust hindade vahes.

KIRJANDUS

1. Maa-ameti kaardiserver. Kättesaadav: <http://xgis.maaamet.ee/xGIS/Xgis> (11.01.2012).
2. Kuu ja aasta kokkuvõtted. EMHI. Kättesaadav: <http://www.emhi.ee/index.php?ide=6&go=5> (13.01.2012).
3. Vedelgaasi omadused. Eesti Gaasiliit. Kättesaadav: <http://www.egl.ee/index.php?page=76> (13.01.2012).
4. Tari inseneribüroo. Melliste algkool-lasteaia juurdeehitus. Üldseletuskiri, AR- ja GP-joonised. Tartu 2006
5. Testo 330 instruction manual.
6. Energiaauditite miinimumnõuded – KredEx. Kättesaadav: (<http://www.kredex.ee/11314>) (13.01.2012).
7. EVS 837-1:2003 Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded
8. EVS-EN ISO 6946:2004 Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Arvutusmeetod
9. Eesti Kraadpäevad – Kredex. Kättesaadav: (<http://www.kredex.ee/esk/?id=1411>) (13.01.2012).
10. Riigi Teataja. „Energiatõhususe miinimumnõuded“. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12903585> (13.01.2012).

LISAD