



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri instituut

## **TOOTMISHOONE ENERGIATARBE UURING**

## **ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS OF A FACTORY**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Alar Ivanson

Üliõpilaskood: 153422EAXM

Juhendaja: Kaido Hääl, emeriitprofessor

Tallinn 2020

*(Tiitellehe pöördel)*

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 201.....

Autor: Alar Ivanson

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 201.....

Juhendaja: Kaido Hääl

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

".....".....201.... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Alar Ivanson (sünnikuupäev: 12.12.1983)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Tootmishoone energiatarbe uuring, mille juhendaja on emeritprofessor Kaido Hääl,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

/digitaalselt allkirjastatud/

## TalTech Instituudi nimetus

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Alar Ivanson, 153422EAXM

Õppekava, peeriala: EAXM15/15 - Hooned ja rajatised, küte ja ventilatsioon

Juhendaja(d): Kaido Hääl, emeriitprofessor, tel 5041026

Konsultant: puudub

### Lõputöö teema:

#### **Tootmishoone energiatarbe analüüs**

Energy consumption analysis of a factory

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Teostada olemasoleva tootmishoone sisekliima uuring
2. Läbi viia energiatarbe dünaamilised mõõtmised
3. Analüüsida mõõtmistulemusi energiasäästu saavutamiseks

### Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus  | Tähtaeg    |
|----|---|------------|
| 1. | Tootmishoone kohtmõõtmiste läbiviimine                      | 15.12.2019 |
| 2. | Sisekliima ja energiatarvete parameetrite analüüs           | 20.01.2020 |
| 3. | Säästupakettide koostamine ja nende majanduslik põhjendatus | 15.03.2020 |
| 4. | Järeldused ja tulemuste kokkuvõte                           | 01.05.2020 |

**Töö keel:** eesti

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "25" 05. 2020 a

**Üliõpilane:** Alar Ivanson /allkirjastatud digitaalselt/ ".....".....201....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Kaido Hääl /allkirjastatud digitaalselt/ ".....".....201....a  
/allkiri/

**Konsultant:** puudub /allkirjastatud digitaalselt/ ".....".....201....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Ivar Annus /allkirjastatud digitaalselt/ ".....".....201....a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

|   |    |
|---|----|
| EESSÕNA .....   | 7  |
| Lühendite ja tähiste loetelu .....                    | 8  |
| SISSEJUHATUS .....                                    | 9  |
| 1.    TEOREETILISED ALUSED .....                      | 11 |
| 1.1 Sisekliima .....                                  | 11 |
| 1.1.1 Soojuslik sisekliima .....                      | 12 |
| 1.1.2 Õhu kvaliteet .....                             | 14 |
| 1.1.3 Valgustus .....                                 | 16 |
| 1.1.4 Energiatõhusus .....                            | 16 |
| 1.1.5 Energiabilanss .....                            | 19 |
| 2.    METOODIKA .....                                 | 22 |
| 2.1 Hoone üldülevaade .....                           | 22 |
| 2.1.1 Hoone asukoht .....                             | 22 |
| 2.1.2 Hoone tehnilised andmed .....                   | 23 |
| 2.1.3 Konstruktsioon .....                            | 24 |
| 2.1.4 Tehnosüsteemid .....                            | 26 |
| 2.1.5 Tootmisprotsessi kirjeldus .....                | 32 |
| 2.2 Mõõtmised .....                                   | 32 |
| 2.2.1 Sisekliima .....                                | 32 |
| 2.2.2 Õhu kvaliteet (tahked osakesed) .....           | 34 |
| 2.2.3 Valgus .....                                    | 34 |
| 2.2.4 Termograafia .....                              | 35 |
| 2.3 Simulatsiooniprogramm .....                       | 35 |
| 2.3.1 Kasutusprofiilid .....                          | 37 |
| 2.4 Energiasäästupakettide tasuvusarvutus .....       | 38 |
| 3.    TULEMUSED .....                                 | 40 |
| 3.1 Sisekliima .....                                  | 40 |
| 3.1.1 Temperatuur .....                               | 40 |
| 3.1.2 Suhteline õhuniiskus .....                      | 41 |
| 3.1.3 Õhu kvaliteet (gaasid ja tahked osakesed) ..... | 42 |

|        |                                    |    |
|--------|------------------------------------|----|
| 3.1.4  | Temperatuuride kihistumine .....   | 46 |
| 3.1.5  | Valgustus.....                     | 48 |
| 3.2    | Hoone energiatarve .....           | 50 |
| 3.2.1  | Termograafia .....                 | 50 |
| 3.2.2  | Soojusenergia tegelik kulu .....   | 53 |
| 3.2.3  | Tasakaalutemperatuur .....         | 55 |
| 3.2.4  | IDA ICE hoone mudel .....          | 57 |
| 3.2.5  | Vee kulu .....                     | 59 |
| 3.2.6  | Elektrienergia tarbimine.....      | 60 |
| 3.2.7  | Hoone elektribilanss .....         | 61 |
| 3.2.8  | Hoone energiabilanss .....         | 62 |
| 3.2.9  | Hoone soojuskadude arvutus.....    | 63 |
| 3.2.10 | Energiatõhususarv .....            | 65 |
| 3.2.11 | Kaalutud energiaerikasutus.....    | 65 |
| 4.     | PARENDUSMEETMED .....              | 66 |
| 4.1    | Pakett I .....                     | 66 |
| 4.2    | Pakett II .....                    | 70 |
| 4.3    | Pakett III.....                    | 73 |
| 4.4    | Pakett IV.....                     | 75 |
| 4.5    | Pakett V.....                      | 77 |
| 4.6    | Pakettide võrdlus .....            | 79 |
|        | KOKKUVÕTE .....                    | 81 |
|        | KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU ..... | 85 |
|        | LISAD .....                        | 87 |

## EESSÕNA

Magistritöö eesmärk on analüüsida Stora Enso Packaging ASi tootmishoone energiakasutust, sisekliimat, tehnilist olukorda ja pakkuda välja lahendused energiatarbe vähendamiseks ning vajadusel sisekliima parandamiseks.

Lõputöö teema pakkus välja Stora Enso Packaging AS juhatus ning Tallinna Tehnikaülikooli ehituse ja arhitektuuri instituudi professor Hendrik Voll. Teema sõnastati ja töö valmis emeriitprofessor Kaido Hääl juhendamisel. Põhilised algandmed koguti hoone projektdokumentatsioonist, Stora Enso Packaging ASi hooldusjuht Jaanus Arumetsa küsitlemise ja tootmishoones kohapeal autori poolt teostatud mõõtmiste käigus.

Soovin tänada Stora Enso Packaging ASi hooldusjuhti Jaanus Arumetsa mitmekülgse abi ja koostöö eest, samuti juhendajat emeriitprofessor Kaido Häält ja Alo Mikolat heade nõuannete eest. Samuti olen tänulik perekonnale innustamise ja toetamise eest.

Magistritöö võtmesõnad on: energiatõhusus, energiatarve, tootmishoone, sisekliima, magistritöö

## Lühendite ja tähiste loetelu

EhS – ehitusseadustik

HEAM – majandus- ja taristuministri 05.06.2015 vastu võetud määrus nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika<sup>1</sup>“

IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy) – dünaamiline energiasimulatsiooni tarkvara

PMV (predicted mean vote) – tõenäosusliku soojusliku mugavustunde hinnangu indeks %

PPD (predicted percentage of dissatisfied) – soojuslikku ebamugavust tundvate inimeste osakaal

TTOS – töttervishoiu ja tööhutuse seadus



## SISSEJUHATUS

Energia säästmine on muutumas tähtsamaks tulenevalt kliimamuutuste ja energiahinna tõusust. Üks suur ja pidev energiakulu meie kliimas on seotud hoonete ülalpidamisega, sh hoones sisekliima tagamisega. Kõetavatest hoonetest moodustavad tootmishooned 15% hoonefondi netopinnast [1], jäädes sellega kolmandale kohale pärast eramuid ja korterelamuid. Seega on tootmishoonete ülalpidamiseks kuluv kogu energia hulk märkimisväärne. Kuigi esmapilgul võib ettevõtte tasandil tunduda, et hoone ülalpidamiseks kuluv energia moodustab tootmise kogukuludest vaid väikese osa, siis aina enam omanikke on hakanud mõistma tihedas konkurentsisis, et seda püsikulu on võimalik ja tuleks vähendada.

Uutele rajatavatele hoonetele on seatud energiatõhususe tingimused, millele peab hoone vastama. Samas on palju olemasolevaid tööstushooneid, mille vastavus energiatõhususe miinimumnõuetele pole teada. Selliste hoonete puhul tuleks esmalt selgitada välja hetkeolukord ja energiatarve ning selle jaotus. Tootmishoonete energiatarve sõltub paljuski kliimast, hooajast, hoone seisukorrast ja ehituslikest lahendustest, tehnosüsteemidest, seadmetest, kasutusviisist ning kasutuskorrast, sh hoones toimivatest protsessidest, mis võivad mõjutavad hoone sisekeskkonda, aga ka haldusjuhtimisoskused mõjutavad tootmishoone energiatarvet. Seetõttu on energia tarbimise optimeerimiseks ja võimalike energiasäästmise lahendust leidmiseks oluline analüüsida iga konkreetset hoonet eraldi ja selgitada välja just selle hoone eripärasid.

Energiatõhususe kõrval on oluline tagada hoones mugav ja tervislik sisekeskkond. Ka ehitusseadustikus[2] on sätestatud, et energiatõhusust ei tohi suurendada hoone sisekliima arvelt. Erinevate uuringute põhjal on ilmnunud, et ebasoodne sisekliima mõjutab ruumis viibivate inimeste tervist ja tööefektiivsust. Kui inimesed ei tunne end mugavalt, hakkavad nad soodsama keskkonna loomiseks otsima muid lokaalseid lahendusi (ventilaator, õhuniisutaja, elektriradiaator, akende avamine jne), mille tulemusena tõuseb elektrikulu märgatavalt. Seega on hoone energiatõhusamaks rekonstrueerimisel oluline luua võimalikult paljudele mugav sisekeskkond.

Käesoleva magistr töö eesmärk on analüüsida Stora Enso Packaging ASi tootmishoone energiakasutust, sisekliimat, tehnilist olukorda ja tulemuste analüüsi põhjal pakkuda välja lahendused energiatarbe vähendamiseks ning vajadusel sisekliima parendamiseks. Selleks antakse esmalt lühike ülevaade sisekliima parameetritest, energiatõhususest ja energiabilansist ning nendele Eestis kehtivatest nõuetest või soovistest. Seejärel kirjeldatakse „Metoodika“ peatükis valitud objekti ja selle ehitustehnilisi omadusi ning töö metoodikat, sh mõõtmiste teostamisi ja

andmeanalüüsi. Tulemuste peatükis tuuakse välja töö tulemused ning nende analüüs ja järeldused. Viimases peatükis „Parendusmeetmed“ pakutakse välja erinevaid lahendusi hoone energiatõhusamaks muutmiseks. Meetmete energiasäästud arvutati hoone mudeli energiasimulatsiooniga, kasutades programmi IDA ICE. Pakettlahenduste maksumuse hindamisel lähtuti põhiliselt teostatud projektide andmetest ja väljakujunenud ühikhindadest. Pakettmeetmete võrdluse põhjal on hoone haldajal võimalik teha endale sobiv valik, kui palju ta soovib investeerida ning kui kiiresti investeeringud ennast ära tasuvad.

Käesolevas töös ei otsita lahendusi tootmisprotsessi optimeerimiseks.

Lisades kajastatakse fotosid hoonest, energiatõhusus arvu arvutamise tabel, soojuskadude arvutamise tabel, termograafilise ülevaate fotosid.

Lõputöös toetutakse hoone projektide joonistele, seletuskirjale, autori poolt teostatud mõõtmistele ja saadud andmete analüüsile. Töös kasutatakse kehtivaid seaduseid ning nende alustel välja antud määruseid, Tallinna Tehnikaülikooli hoonete energiatõhususe ning kütte ja ventilatsiooniga seotud erialakirjandust ja veebimaterjale.

Lõputöö eesmärgid:

1. Teostada olemasoleva tootmishoone sisekliima uuring
2. Läbi viia energiatarbe dünaamilised mõõtmised
3. Analüüsida mõõtmistulemusi energiasäästu saavutamiseks

Töö etapid ja tähtajad:

1. Tootmishoone kohtmõõtmiste läbiviimine – tähtaeg 15.12.2019
2. Sisekliima ja energiatarbe parameetrite analüüs – tähtaeg 20.01.2020
3. Säästupakettide koostamine ja nende majanduslik põhjendatus – tähtaeg 15.03.2020
4. Järeldused ja tulemuste kokkuvõte – tähtaeg 01.05.2020

# 1. TEOREETILISED ALUSED

Käesolev peatükk annab ülevaate hoonete energiatõhususest, kuidas seda hinnata, milliseid parameetreid kirjeldamiseks kasutatakse ja kehtivatest nõuetest ning soovitudest. Esimene alapeatükk keskendub sisekliima parameetritele ja nõuetele.

## 1.1 Sisekliima

Sisekliima on ruumis valitsevate keemiliste ja füüsiliste tegurite kogum, mis mõjutab ruumis viibivate inimeste enesetunnet, tervist ja töövõimet ning tootmishoonete puhul ka tootmisprotsessi. Sisekliimat mõjutavad erinevad tegurid, sh temperatuur, õhuniiskus, tõmbus, müra, saasteainete kontsentratsioon, valgus, aga ka inimeste hulk ruumis, seadmed jmt.

Sisekliima nõudeid reguleeritakse ehitusseadustikus [2] (edaspidi EhS) ja töötervishoiu ja tööohutuse seaduses [3] (edaspidi TTOS) ning nimetatute alusel välja antud määrustes. EhS § 64 lõige 2 punkt 1 sisaldab nõuet, et energiatõhusust ei tohi saavutada viisil, mis halvendaks hoone sisekliimat ja kasutustingimusi. Töötervishoiu ja tööohutuse seadus § 6 lg 4 sätestab, et töökoha sisekliima – õhutemperatuur ja -niiskus ning õhu liikumise kiirus – peab olema tööülesande täitmiseks sobiv ja tagada tuleb töökohtade varustatus värske õhuga. Samas on kirjas, et sobiva sisekliima määramisel tuleb arvestada töötajate arvu ruumis, töötajate vaimset ja füüsilist koormust, tööruumi suurust, kasutatavate töövahendite spetsiifikat ning tehnoloogilise protsessi laadi. Majandus- ja taristuministri 05.06.2015 väljaantud määruse nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika<sup>1</sup>” [4] (edaspidi HEAM) selgitab sisekliima tagamise mõistet: energia kasutamine hoone ruumiõhu kvaliteedi tagamiseks, sealjuures vastavalt määruses sätestatud ventilatsiooni- ja ruumitemperatuuri nõuetele ning valgustamiseks vastavalt hoone tüüpilisele kasutusele.

Soovituslikke piirtasemeid on kirjeldatud hoonete energiatõhususe ja hoonete ventilatsiooni standardis EVS-EN 16798:2019 „Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast” [5]. Kuigi nimetatud standard on soovituslik, tuleks seda siiski pidada oluliseks, kuna see tugineb pikaajalistel uuringutel ja esindab teadaolevalt parimat võimalikku kompromissi sisekliima mugavuse ja hoone energiatõhususe vahel.

Hoonete energiatõhususe ja hoonete ventilatsiooni standardis [5] on sisekeskkond jagatud nelja kvaliteedi klassi, mille kirjeldused on esitatud tabelis 1.1.

Tabel 1.1 Sisekeskkonna kvaliteedi kategooriad [5]

| Sisekeskkonna kategooria      | Ootuste tase sisekeskkonna kvaliteedile  |
|-------------------------------|--|
| IEQ <sub>I</sub> (lühemalt I) | Kõrge – kõrgem tase võidakse valida erivajadustega asukatele (lapsed, vanurid, puudega inimesed jne) |
| IEQ <sub>II</sub> (II)        | Keskmine – see on normaalne tase   |
| IEQ <sub>III</sub> (III)      | Tagasihoidlik  |
| IEQ <sub>IV</sub> (IV)        | Madal  |

Järgnevalt käsitletakse sisekliima erinevaid parameetreid ja keskendutakse neile, mis on seotud hoone energiatarbega.

### 1.1.1 Soojuslik sisekliima

Soojusliku sisekliima parameetrid on temperatuur, õhu suhteline niiskus ja õhuliikumine ning tõmbus. Töökeskkonna soojusmugavuse hindamiseks võetakse arvesse siseõhu temperatuuri, keskmist kiirgustemperatuuri, õhu suhtelist niiskust, õhu liikumise kiirust, füüsilist aktiivsust ja riiete soojapidavust [6]. Nimetatud parameetrite kombinatsioon määrab soojusliku mugavuse indeksi [6].

Standardi kohaselt peavad hoonete soojusliku keskkonna kriteeriumid peavad põhinema soojusliku mugavuse indeksitel PMV-PPD, eeldatud tüüpiliste aktiivsustasemete ja riiete tüüpilise soojusjuhtivuse (talv ja suvi) väärtuste juures [5].

Indeks PPD (predicted percentage of dissatisfied) on tõenäosusliku soojuslikku ebamugavust tundvate inimeste osakaal. PPD indeks näitab, kui palju inimesi ei ole rahul, kui soojusliku mugavuse parameetrid jäävad väljapoole vastavale soojusliku mugavuse klassile kehtestatud vahemikust [6]; PMV (predicted mean vote) indeks on tõenäosuslik soojusliku mugavustunde hinnang, mis väljendab suure hulga inimeste keskmist hinnet vastavale soojusliku mugavuse klassile 7-pallises skaalas (-3 kuni 3), millest hinne -3 vastab külmale ja hinne +3 kuumale [6]. Inimese metabolism istuva töö juures on 1,2 met, kerge töö 2,0-2,5, keskmine töö 4,0 met [6]. Sama allika andmel on tavapärase suveriietus 0,35-0,6 clo ja talvine 0,8-1,2 clo.

## Temperatuur

Sisekliima temperatuuri paremaks kirjeldamiseks kasutatakse parameetrina ruumitemperatuuri ehk operatiivtemperatuuri. See on ruumi õhu ja keskmise kiirgustemperatuuri koosmõju [5]. Standardi [6] tõlgenduses on operatiivtemperatuur ühtlane temperatuur kujutletavas mustas ruumis, milles asukas vahetaks samas koguses soojust kiirguse ja konvektsiooni teel nagu tegelikus ebaühtlases keskkonnas.

Tuginedes EVS-EN 16798:2019 sisalduva tabeli andmetele on kontoriruumi soovituslik temperatuuri vahemik kütteperioodil istuva aktiivsuse (met 1,2) ja 1,0 clo riietuse juures on 20-24°C ja suvel jahutusperioodil 23-26°C. Tehnoruumi või hoidla funktsiooniga ruumides seisva-kõndiva aktiivsuse (1,5 met) puhul on kütteperioodil 1,0 clo riietuse juures soovituslik temperatuuri vahemik 16-25°C, jahutusperioodi soovituslikud temperatuurid puuduvad. Eespool toodud arvud on kantud tabelisse 1.2.

Tabel 1.2 Väljavõte sisekliima klasside ruumitemperatuuride vahemik lähtuvalt standardile EVS-EN 16798 [6]

| Hoone või ruumi tüüp  | Kategooria | Temperatuuri-<br>vahemik<br>kütteperioodil<br>s, °C<br>Riietus u 1,0<br>clo | Temperatuuri-<br>vahemik<br>jahutusperioo-<br>diks, °C<br>Riietus u 0,5<br>clo |
|---|------------|---|--|
| Eluhooned, teised ruumid (tehnoruumid, hoidlad jne)<br>Seisev-kõndiv aktiivsus 1,5 met  | I          | 18,0 kuni 25,0  |  |
|   | II         | 16,0 kuni 25,0  |  |
|   | III        | 14,0 kuni 25,0  |  |
| Kontorid ja ruumid sarnase aktiivsusega<br>(üksikkontorid, avatud planeeringuga<br>kontorid, konverentsiruumid,<br>auditooriumid, kohvikud, restoranid,<br>klassiruumid)<br>Istuv aktiivsus 1,2 met | I          | 21,0 kuni 23,0  | 23,5 kuni 25,5   |
|   | II         | 20,0 kuni 24,0  | 23,0 kuni 26,0   |
|   | III        | 19,0 kuni 25,0  | 22,0 kuni 27,0   |
|   | IV         | 17,0 kuni 25,0  | 21,0 kuni 28,0   |

## Õhuniiskus

Sisekliima kvaliteedi hindamiseks kasutatakse suhtelise niiskuse mõistet. Kõrget või madalat suhtelist niiskust võidakse tunnetada naha, limaskestade ja hingamisorganite kaudu. Madal suhteline niiskus soodustab limaskestade kuivamist, millega kaasnevad ärritused, ninaverejooks, silmade kipitus. Madal suhteline niiskus soodustab ka tolmu levikut. Kõrge suhteline niiskus vähendab tolmu, küll aga suureneb õhku erituvate saasteainete hulk ning võib põhjustada piirdetarinditele niiskusprobleeme ning soodustada mikroorganismid (hallituse) levikut [7].

Õhuniiskust esitatakse sisekliima mõõtmistes suhtelise niiskuse suhtena, mis on õhus oleva veeauru sisalduse ja antud temperatuuril õhku küllastava veeauru sisalduse suhe

väljendatuna protsentides. Mida kõrgem on õhu niiskussisaldus, seda väiksem on inimese soojusloovutus aurumise teel. Ruumiõhu suhteline niiskus sõltub põhiliselt välisõhu parameetritest (välisõhu niiskussisaldusest), ruumi õhuvahetusest, võimalikest niiskuseraldustest ruumi ja ruumi õhutemperatuurist. Õhu niisutamine on energiamahukas õhutöötlusprotsess, suurendades oluliselt hoone energiakulusid.

Sisekeskkonna standardi kohaselt ei ole tavaliselt õhu niisutamine ja kuivatamine vajalik sellistes hoonetes, millel ei ole muid nõudeid kui inimeste hõivatus (nt kontorid, eluhooned). Niisutamine on vajalik vaid erihoonetes, muuhulgas paberitööstuses [6]. Sellistele hoonetele juhendab sisekeskkonna standard EVS-EN 16798:2019 hoida suhtelist õhu niiskust I sisekliima klassis vahemikus 30-50% ja II sisekliima klassis vahemikus 25-60%. Töökeskkonna füüsikaliste ohutegurite parameetrite mõõtmise juhendis peetakse optimaalseks õhu suhteliseks niiskuseks 40-60% [7].

### **Tõmbus**

Tõmbustunde tekkimist mõjutab õhu liikumiskiirus ja õhu temperatuur, mille koosmõju võib vähendada samuti töötaja soojusmugavust. Töökeskkonna füüsikaliste ohutegurite parameetrite mõõtmise juhendis [7] on soovitatav, et töökohad ei asuks ventilatsioonisüsteemi sissepuhkeavade lähedal. Õhu liikumise kiirust aitab vähendada õhujaotuskasti või muu õhujoa suunamise ja hajutamise vahendi kasutamine.

### **1.1.2 Õhu kvaliteet**

Siseõhu kvaliteeti mõjutavad inimtegevus, seadmed ja ruumis kasutatavad materjalid jmt. Saasteainete osakaalu tõus ruumis võib kahjustada inimeste tervist ja vähendada nende töövõimekust. Siseõhu kvaliteeti hinnatakse saasteainete kontsentratsioon järgi, kus saasteaineks võivad olla erinevad gaasid (tuntuim süsihappegaas) või tahked osakesed (tolm, mikroorganismid).

#### **Tahked saasteosakesed**

Siseruumides levivad saasteained võivad avaldada tervisele nii lühiajalist mõju kui ka põhjustada pikemaajalisi ehk kroonilisi haiguseid. Kõige kergemateks ja sagedamateks õhusaaste sümptomiteks on ebamugavustunne rinnus, köha ning aevastamine. Alla 10- ja alla 2,5-mikromeetrise läbimõõduga tahkete osakeste (vastavalt PM10 ja

PM<sub>2,5</sub>) mõju seostatakse põhiliselt südamehaiguste, kopsuhaiguste, kopsuvähi, astmahoogude ning mitmete teiste terviseprobleemidega. Peentolm koosneb alla 2,5-mikromeetrise läbimõõduga osakestest, mis võivad jõuda koos sissehingatava õhuga kopsu alveoolidesse. Alla 1-mikromeetrise läbimõõduga osakesed (PM<sub>1</sub>) võivad jõuda ka vereringesse.

Tahkete osakeste kontsentratsiooni väljendatakse osakeste hulga või osakeste kaalu kaudu osakeste hulgana õhu ruumalas (osakest/m<sup>3</sup>) või massina õhu ruumala kohta (mg/m<sup>3</sup> või µg/m<sup>3</sup>).

Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) andmetel [8] ei ole tolmu mõõtmisel ohutuid piire ning ka juba 10 µg/m<sup>3</sup> kontsentratsiooni juures on täheldatud surmajuhtumite sagenemist.

Eestis kehtestatud piirmäärad tulenevad Vabariigi Valitsuse 20.03.2001 vastu võetud määruse nr 105 „Ohtlike kemikaalide ja neid sisaldavate materjalide kasutamise töötervishoiu ja tööohutuse nõuded ning töökeskkonna keemiliste ohutegurite piirnormid<sup>1a</sup> [9] lisast. Selle kohaselt on paberitolmule kehtestatud 8 tunni keskmiseks piirnormiks 2 mg/m<sup>3</sup>, anorgaanilisele tolmuks 10 mg/m<sup>3</sup> ja peentolmuks 5 mg/m<sup>3</sup>. Piirnorm on ohtliku kemikaali suurim lubatud keskmine sisaldus töökeskkonna õhus, mõõdetud või arvutatud ajaga kaalutud 8-tunnise kokkupuuteaja keskmisena.

### **Gaasilised saasteosakesed**

Siseõhus toodavad gaasilisi saasteaineid peamiselt inimesed ning põlemisprotsessid, aga ka ehitusmaterjalid ja sisustus ning erinevad tootmisprotsessid. Ruumides, kus viibivad inimesed, on peamiseks anorgaaniliseks gaasiks väljahingatavas õhus leiduv süsihappegaas ehk CO<sub>2</sub>. Süsihappegaasi suur kontsentratsioon ruumiõhus põhjustab inimesel väsimust, keskendumisraskusi, töövõime vähenemist. Süsinikdioksiid on õhu saastatuse indikaatoriks töökohtadel, kus õhk saastub töötajate suure füüsilise aktiivsuse tõttu [9].

Gaasilisi saasteosakesi väljendatakse ppm-ides, so osakeste arv miljoni osakese kohta mahu järgi õhus, mahumiljondik õhus (ühik on ml/m<sup>3</sup>).

Töökeskkonna füüsikaliste ohutegurite parameetrite mõõtmise juhendis [7] soovitatakse juhtudel, kui peamiseks saasteallikaks on inimesed, mõõta CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni eelistatavalt talvekuudel, kuna külmal ajal tavaliselt vähendatakse sissepuhet või avatakse aknaid tuulutamiseks harvem.

Eestis on seatud süsihappegaasi piirnormid vaid lasteasutustele, kus on ühes liitris ruumiõhus lubatud CO<sub>2</sub> kontsentratsioon kuni 1000 ppm. EVS-EN 16798:2019 [6] juhise järgi on I sisekliima klassi CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni piirmääraks 550 ppm ja II klassis 800 ppm. Töötervishoiu ja tööohutuse nõuetest lähtuvalt on süsinikdioksiidile määratud 8-tunnise kokkupuuteaja keskmiseks piirnormiks 5000 ppm või 9000 mg/m<sup>3</sup>.

### **1.1.3 Valgustus**

Mittepiisav valgustus võib põhjustada tööõnnetusi, silmade väsimist ja nägemise halvenemist, samas kui ülemäärane valgustus, ere valgus võib samuti põhjustada silmade väsimist, nägemise halvenemist ja üldist väsimust, aga ka tööõnnetusi.

Töötamiskohal on tähtis hea valgustus. Valgustust mõõdetakse valgustustiheduse kaudu. Valgustustiheduse ühik on lm/m<sup>2</sup> ja see kannab nimetust lux (lx).

Töökohtade normaalse valgustuse tagamine on tööandja kohustus. Vabariigi Valitsuse 14.06.2007 vastu võetud määruse nr 176 "Töökohale esitatavad töötervishoiu ja tööohutuse nõuded" [10] § 8 eeldab, et töökoha sisevalgustuse osas juhindutakse standardi EVS-EN 12464-1 „Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus“ 1. osast „Sisetöökohad“ [11]. Nimetatud standardis sätestatud valgustustasemed on keskmise valgustustiheduse vähimväärtused, millest tuleb kinni pidada [11].

Standardi [11] kohaselt on paberitööstuses voltimise, sorteerimise, liimimise, lõikamise tegevuse töökohale ettenähtud miinimumvalgustustihedus 500 lx. Büroodes on kohustuslik olenevalt tegevusest 200-750 lx, kuvariga töökohtadel ei tohi valgustustihedus olla madalam kui 500 lx. Laos peab valgustatus olema vähemalt 200 lx. Lisaks töökoha valgustatuse nõudele on standardis EVS-EN 12464-1:2011 esitatud, et töökohta ümbritsev valgustatus ei tohi olla madalam kui 200 lx. Nõutav valgustuse tase tuleb saavutada kas päevavalgusega, elektrivalgusega või mõlema kombinatsioonina.

### **1.1.4 Energiatõhusus**

Hoone energiatõhusus on hoone tüüpilise kasutusega seotud energianõudluse rahuldamiseks vajalik arvutuslik või mõõdetud energia hulk, mis hõlmab muu hulgas



kütmiseks, jahutuseks, ventilatsiooniks, vee soojendamiseks ja valgustuseks tarbitavat energiat [2].

Tulenevalt ehitusseadustikust [2] tuleb hoone energiatõhususe suurendamiseks rakendada meetmeid, arvestades järgmisi tingimusi: 1) energiatõhusust ei tohi saavutada viisil, mis halvendaks hoone sisekliimat ja kasutustingimusi; 2) tuleb kaaluda erinevaid võimalusi ja eelistada kuluefektiivseid lahendusi; 3) olulise energiatarbega tehnosüsteemi rekonstrueerimisel tuleb tagada selle töö optimaalsus.

Hoonete energiatõhusust iseloomustatakse uutel hoonetel energiatõhususarvuga (ETA) ja olemasolevatel hoonetel kaalutud energia erikasutusega (KEK). ETA määramisel lähtutakse hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika määrusest ja selle arvutamisel jagatakse summaarse kaalutud tarnitud energiakasutuse kõetava pinna ruutmeetrite arvuga:

$$ETA = \frac{\sum_i (E_{tar,i} \times f_j)}{A_{kõetav}}, \quad (1.1)$$

kus  $ETA$  on energiatõhususarv kWh/(m<sup>2</sup>·a);

$E_{tar,i}$  on energiakandjaga  $i$  tarnitud energia kWh/a;

$f_j$  on energiakandja  $i$  kaalumistegur;

$A_{kõetav}$  on kõetav pind m<sup>2</sup>. [4]

Kaalutud energiakasutus arvutatakse tarnitud ja eksporditud energia vahe ja kaalumisteguri korrutisena. Võrreldavuse saavutamiseks taandatakse hoone kütmiseks kulunud energia normaalaastale kraadpäevade järgi. KEKi tulemuste esitamisel arvestatakse, et energiakandja lõikes kohaldatakse valemit:

$$E_{kaal,i} = \frac{(E_{tar,i} - E_{eks,i}) \times f_i}{A_{kõetav}}, \quad (1.2)$$

kus  $E_{kaal,i}$  on energiakandjale  $i$  vastav kaalutud energiakasutus;

$E_{tar,i}$  on energiakandjale  $i$  vastav tarnitud energia hulk kWh/a;

$E_{eks,i}$  on energiakandjale  $i$  vastav eksporditud energia hulk kWh/a;

$f_j$  on energiakandja  $i$  kaalumistegur;

$A_{kõetav}$  on kõetav pind m<sup>2</sup>. [4]

Hoone ETA või KEK numbrilised väärtused on jagatud hoonete kasutusotstarbe järgi klassidesse. Klasside skaalad on leitavad majandus- ja taristuministri 30.04.2015. a määruse nr 36 „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele“ [12] lisast 3. Kui hoonel on mitu kasutamise otstarvet ja hoonetele antakse üks ühine energiamärgis, valitakse kaalutud energia erikasutuse klassi skaala peamise kasutusotstarbe järgi ja energiatõhususarvu klassi skaala selle kasutamise otstarbe järgi, mille osakaal hoone kütava pinna suhtes on kõige suurem. Tabelis 1.3 on välja toodud tööstushoone ETA ja KEK klassi skaala [12].

Tabel 1.3 Tööstushoone energiatõhususarvu või kaalutud energia erikasutuse klassi skaala [12]

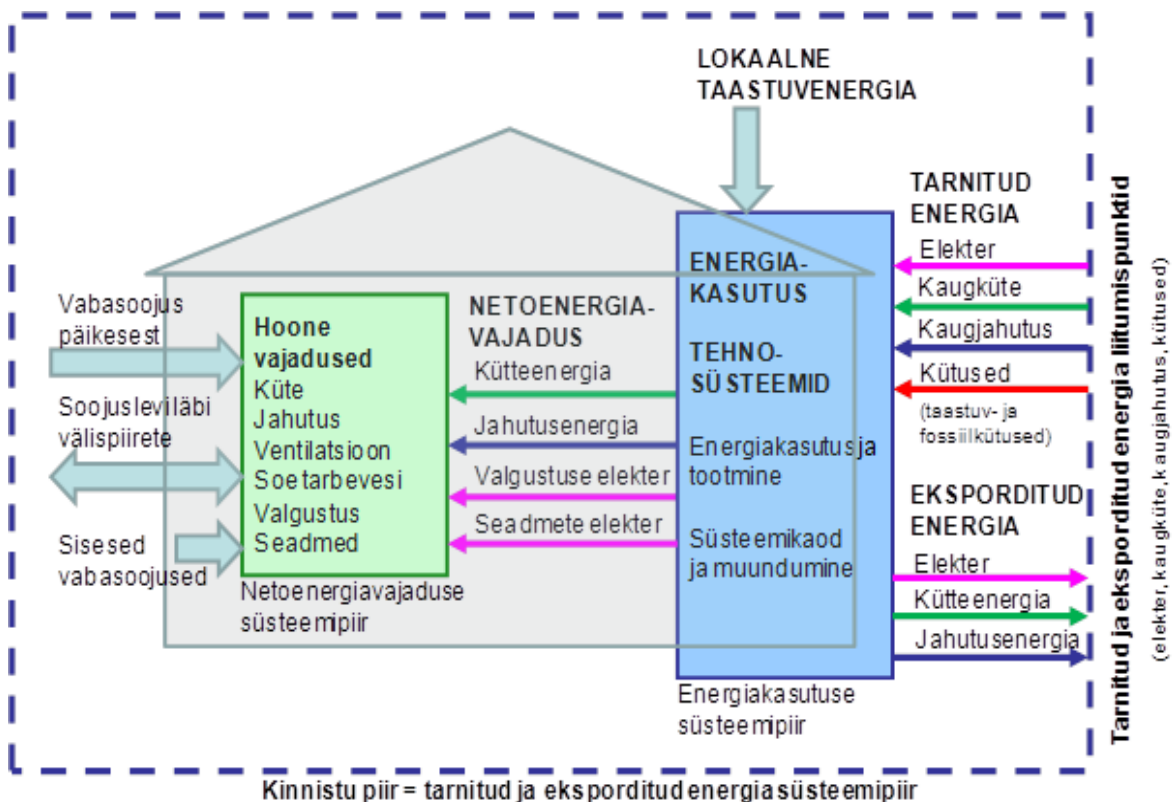
| <b>Tööstusehoone</b><br><b>ETA või KEK, kWh/(m<sup>2</sup>a)</b> | <b>Klass</b> |
|--|--------------|
| ETA või KEK ≤ 110  | <b>A</b>     |
| 111 ≤ ETA või KEK ≤ 140  | <b>B</b>     |
| 141 ≤ ETA või KEK ≤ 170  | <b>C</b>     |
| 171 ≤ ETA või KEK ≤ 220  | <b>D</b>     |
| 221 ≤ ETA või KEK ≤ 270  | <b>E</b>     |
| 271 ≤ ETA või KEK ≤ 330  | <b>F</b>     |
| 331 ≤ ETA või KEK ≤ 410  | <b>G</b>     |
| ETA või KEK ≥ 411  | <b>H</b>     |

HEAM [4] § 4 ja 5 kohaselt peab oluliselt rekonstrueeritava tööstushoone energiatõhususarv jääma alla 170 (vähemalt C klass) ja uue hoone puhul alla 140 (vähemalt B klass) ning liginullenergiahoone puhul alla 110 (vähemalt klass A).

Kaalutud keskmise energia erikasutuse määramisel on oluline roll kraadpäevadel. Kraadpäevade abil on võimalik võrrelda erinevate aastate soojustarbimisi ning kompenseerida temperatuuride erinevusi aastate lõikes. Üks kraadpäev väljendab 1 °C erinevust arvestusliku sisetemperatuuri ja ööpäevase keskmise välisõhu temperatuuri vahel. Tulenevalt kliimatilistest erinevustest kraadpäevade mõistes on Eesti jagatud kuueks piirkonnaks, mille võtmekeskused on Jõhvi, Tartu, Tallinn, Valga, Pärnu ja Ristna.

### 1.1.5 Energiabilanss

Hoone energiabilanss (joonis 1.1) näitab, kui suur on hoone kogu energia tarbimine ning kuidas energiakulud jaotuvad ning kui palju energiat tarnitakse, et katta energiakulusid. Hoone energiabilanss peab olema tasakaalus ehk hoonest piirdetarindite, õhuvahetuse ja infiltratsiooni kaudu väljuv soojus peab olema samas suurusjärgus hoonesse tarnitud soojusega. Tarnitud soojusena arvestatakse küttesüsteemist saadavat soojushulka, päikeseenergiat, inimeste, seadmete, valgustuse jm poolt eraldatud soojust.



Joonis 1.1 Hoone energiabilanss [14]

### Soojuskaod

Soojuskaod on kas soojusjuhtivus- või kiirguskaod. Soojust kaotab hoone põhiliselt ehitise karbi ehk piirdetarindite – välisseinte, akende, katuse, välisuste ja keldripõrandate kaudu. Lisaks toimuvad märkimisväärsed kaod külmasildade ning õhulekete kaudu. Oluline on saavutada minimaalsed soojuskaod, et seeläbi hoida kokku kütmiseks kuluvat energiat. Madala energiatarbega hoone planeerimisel on hoone soojuskadude jälgimine eriti tähtis, samuti tuleb projekteerida ja ehitada

energiatõhusad tehnosüsteemid ning pöörata suuremat rõhku vabasoojuse kasutamisele hoone soojuskadude kompenseerimisel.

### **Külmasillad**

Külmasillad on piirdetarindi kohad, kus soojusjuhtivus on lokaalselt suurem kui teda ümbritseva tarindi soojusjuhtivus. Külmasillad võivad olla geomeetrilised, mis on põhjustatud ehitise kujust (välisnurgad, siseseina ja välisseina liitekohad, vahelae ja välisseina liitekohad jt) või tingitud konstruktiivsetest lahendusest (rõdude kinnitused, läbiviigid, avatäited jt). Külmasillad põhjustavad lisa soojuskadusid. Külmasilla piirkonnas on tarindi sisepinna temperatuur madalam ja välispinna temperatuur kõrgem.

Külmasildadega arvestamine oluline mitmetel põhjustel:

- Külmasilla suuremast soojusjuhtivusest põhjustatud madalam temperatuur tarindi sisapinnal on teatud tingimustel soodne keskkond hallituse või kondensaadi tekkeks.
- Suured külmasillad võivad põhjustada soojuslikku ebamugavustunnet ruumis viibivates inimestes.
- Külmasillad võivad võtta enda kanda olenevalt hoone arhitektuurilistest iseärasustest märkimisväärse osa piirdetarindi soojuskadudest. Mida parema soojustakistusega piirdetarindid on, seda suurem osakaal on soojuskadudes on ka külmasildadel. [15]

Külmasildu on konstruktsioonides võimalik kõige lihtsamini leida termograafia abil. Termograafia visualiseerib hoone soojuskaod termopildiks.

### **Vabasoojus**

Vabasoojus on soojus, mis eraldub ruumi päikesekiirgusest, inimestelt, seadmetest ja valgustitest ning tehnosüsteemidest. Vabasoojusega peab arvestama nii kütte kui ka jahutuse planeerimisel. Vabasoojusega on seotud ka mõiste „tasakaalutemperatuur“, kuna just selle temperatuurini tuleb ruumiõhku kütteseadmetega kütta, sest puudujääv soojusenergia nõutud siseõhutemperatuuri saavutamiseks tuleb vabasoojusest.

## Infiltratsioon

Infiltratsioon ehk õhuleke tähendab tuulest ja korstnaefektist tingitud õhuvoolu läbi piirdetarindite tarindi ebatiheduse tõttu. Infiltratsiooni õhuhulka arvutatakse valemi abil:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \times x \times A} \quad (1.3)$$

kus  $q_{50}$  on hoone välispiirete keskmine õhulekkearv,  $m^3/(h \cdot m^2)$ ;

$A$  on hoone välispiirete (sealhulgas põrandate) pindala,  $m^2$ ;

$x$  on tegur, mis on ühekorruselistele hoonetele 35, kahekorruselistele hoonetele 24 ning kolme- ja neljakorruselistele hoonetele 20, viie- ja enamakorruselistele hoonetele 15, kusjuures korruse kõrgusena on arvestatud 3 meetrit;

3,6 on tegur, mis teisendab õhuvooluhulga  $m^3/h$  ühikust l/s ühikuks. [12]

## 2. METOODIKA

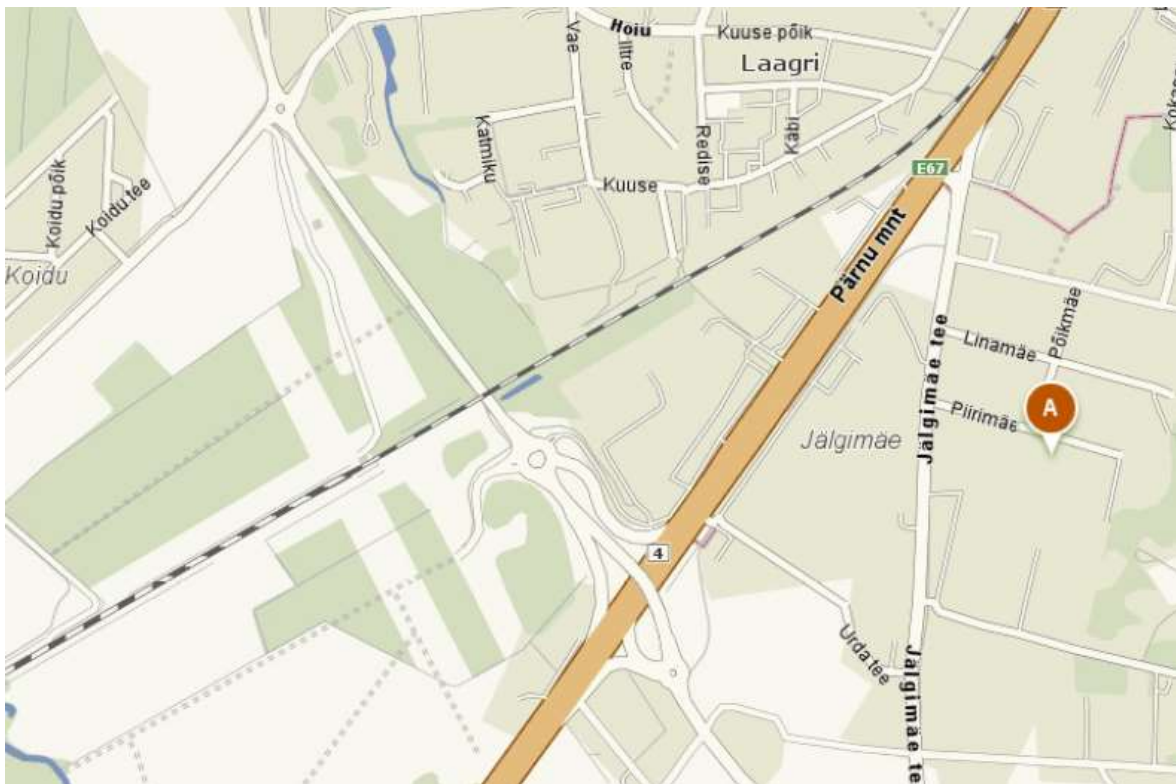
Peatükis antakse ülevaade tootmishoonest ja kirjeldatakse andmete kogumist, mõõtmiste teostamisi ja andmeanalüüsi läbiviimist.

### 2.1 Hoone üldülevaade

Hoone üldülevaates on kirjeldatud hoone asukohta, ehituslikke andmeid ja erinevate tehnosüsteemide kirjeldust. Selleks on kasutatud ehisregistrit [16] ja projektdokumentatsioonist saadud andmeid. Lisaks saadi andmeid ettevõtte töötajate küsitlemisel ning kohapealsel vaatlusel.

#### 2.1.1 Hoone asukoht

Uuritav hoone asub Harjumaal Saku vallas Tänessilma tehнопargis riskülikukujulisel kinnistul, mille pindala on 10 228 m<sup>2</sup>. Hoone asukoht on näha joonisel 2.1.



Joonis 2.1 Hoone asukoht (tähistatud punase sõõriga) [17]

## 2.1.2 Hoone tehnilised andmed

Hoone ehitusalune pind on 4766,2 m<sup>2</sup> ning esmakordselt võeti hoone kasutusele 2003. aastal. Hoone tehnilised andmed on toodud tabelis 2.1. Kinnistu plaan on näha joonisel 2.2.

Tabel 2.1 Hoone tehnilised andmed [16]

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <b>Address</b>                     | Piirimäe 10/10a, Tännassilma, 76406, Harju maakond |
| <b>Ehitise nimetus</b>             | Tootmis- ja laohoone                               |
| <b>Kinnistu number</b>             | 71801:001:0321; 71801:001:0271                     |
| <b>Kinnistu pindala</b>            | 10228 m <sup>2</sup>                               |
| <b>Ehitisealune pind</b>           | 4766,2m <sup>2</sup>                               |
| <b>Ehitisregistri kood</b>         | 120246306  |
| <b>Esmase kasutuselevõtu aasta</b> | 2003   |
| <b>Peamine kasutamise otstarve</b> | 12516 Kergetööstuse hoone                          |
| <b>Korruste arv</b>                | 2  |
| <b>Hoone kõrgus</b>                | 10,6 m   |
| <b>Hoone pikkus</b>                | 96 m   |
| <b>Hoone laius</b>                 | 48 m   |
| <b>Hoone maht</b>                  | 44 496,7 m <sup>3</sup>                            |
| <b>Suletud netopind</b>            | 5058 m <sup>2</sup>                                |
| <b>Köetav pind</b>                 | 5058 m <sup>2</sup>                                |



Joonis 2.2 Kinnistu plaan [18]

### **2.1.3 Konstruksioon**

Tootmis- ja laohoone on projekteeritud terashallina, mille kõrgus on 10,6 m. Hoone piirdetarindid on „sandwich“- tüüpi teraspaneelist. Katuse katteks on soojustusele paigaldatud SBS (rullmaterjal). Hoone jaguneb deformatsioonivuugiga eraldatud kaheks sektsiooniks. Hoone olmeblokk, kuhu kuuluvad kontoriruumid, tehnilised ruumid, söökla, koridorid jms, on rajatud halli sisse jäävasse kirdenurka.

#### **Vundamendid**

Pinnase kandevõime hoone all on geoloogiliste uuringute kohaselt hea ning hoone on rajatud madalvundamendile. Taldmik on rajatud monoliitbetoonist ning toetub lubjakivile. Lubjakivi peal on ebatasasused täidetud tihendatud killustikuga. Vundamendi taldmiku paksus on 350 mm ja betoon, mida valamiseks kasutatud on C25/30.

#### **Kandekonstruksioon**

Kandekonstruksiooni moodustavad teraspostide ja fermide süsteem. Fermide kandeava on vastavalt hoone osale 24 m ja 48 m, postide samm on 6 m. Otsaseina postide samm on samuti 6 m. Kandepostid on valmistatud nelikanttorust. Olmekorpuse vahelae paneelid toetuvad „columbia“ kivist kandeseintele ja terastaladele. Hoone jäikus on tagatud seinte tasapinnas asuvate jäikussidemetega ja olmekorpuse kiviseintega ning katusel profiilplekiga.

#### **Seinad**

Välisseinad on moodustatud 125 mm paksusest PAROC villapaneelidest. Villapaneelid on vertikaalsuunaliselt. Kandvad siseseinad on „columbia“ kivist paksusega 190 mm. Mittekandvad siseseinad on osaliselt „columbia“ kivi plokkidest paksusega 90 mm ning osaliselt metallkarkassil kipsplaatidest.

#### **Vahelaed**

Vahelaed on konstrueeritud õõnespaneelidest paksusega 265 mm ja 220 mm. Tasandusbetooni all on 25 mm paksune vahtpolüsterooli kiht.



### **Katuslaed**

Katuslagede kandelemendiks on profiilplekk, mis on kinnitatud terasfermidele. Katuslae kalded on saavutatud fermidega. Soojustusena katuslael on kasutatud koormusttaluvaid kivivillaplaate kogupaksusega 200 mm (180 mm + 20 mm). Pealmine kivivillaplaat on ventileeritav kõva plaat. Katuse katematerjaliks on kahes kihis paigaldatud SBS-tüüpi kleebitav rullmaterjal. Antud tarindi keskmiseks hinnanguliseks soojusjuhtivuseks on 0,18 W/m<sup>2</sup>K.

### **Põrandad**

Esimese korruse pinnasel asuvad põrandad on kahes kihis 12 mm armatuuriga armeeritud tolmuabaks viimistletud betoonpõrandad paksusega 150 mm. Mahukahanemise vuugid on lõigatud põrandasse nii, et põrand koosneb 6 x 6 m tükkidest. Hoone kontori- ja olmeosade all on betoonplaadi paksuseks 80 mm. 50 mm vahtpolüsteroolist soojustus on paigaldatud kontori- ja olmeruumide põrandate alla ning tootmis- ja laoruumides välisperimeetrile 1 m ulatuses. Olmeruumides on välisperimeetril polüsterooli kokku 100 mm. Hoone keskosas on betoonplaadi all kileisolatsioon, 200 mm tihendatud killustik, ning liivapadi. Antud põranda keskmiseks hinnanguliseks soojusjuhtivuseks on 0,46W/m<sup>2</sup>K. Teise korruse põrandad on õõnespaneelidel betoonpõrandad, mille all on 25 mm paksune vahtpolüsterooli kiht.

### **Aknad**

Hoone lao-osas on plastraamidel mitteavatavad kahekordse klaaspaketiga lintaknad. Akende suurused on 2,4 x 0,8 m. Büroo osas on toonitud klaasidega alumiiniumraamidel aknad. Büroo-osas on ka kaks klaasvitraaži. Hoone katusel paiknevad klaasist suitsuerastusluugid Skylux RWA-E koos avamisautomaatika ja nuppudega. Aknakonstruktsioonide soojustakistust raske täpselt hinnata ja määrata, seega soojuskadude arvutustes ja simulatsiooniprogrammis võeti akende U-arvuks 1,5 W/m<sup>2</sup>K.

### **Uksed**

Laosektsiooni uksed on soojustatud metallkonstruktsioonil uksed. Tõsteuksed on suurusega 3,0 x 4,0 m. Tootmisruumide ja büroorumide vahel paiknevad isesulguvad klaasiga tuletõkkeuksed, mis vastavad EI60 tulepüsivusklassile. Tootmis- ja laoruumi vahel on liuguksed mõõtudega 3,0 x 3,0 m koos mootorite ja automaatikaga.

Büroohoone välisuks on soojustatud alumiiniumuks. Arvutustes ja energiasimulatsioonis võeti uste U-arvuks 1,5 W/m<sup>2</sup>K.

#### 2.1.4 Tehnosüsteemid

Järgnevalt kirjeldatakse lühidalt hoone tehnosüsteeme:

- küttesüsteem;
- ventilatsioonisüsteem;
- niisutussüsteem;
- vesi ja kanalisatsioon;
- elektrisüsteem.

##### Küttesüsteem

Hoone olme- ja bürooruumid saavad sooja katlaruumis paiknevast gaasikatlast. Laoruumide kütteks kasutatakse Roburi M-seeria gaasi-õhkkütteseadmeid. Tootmisruumides on veekütteil töötavad õhkkütteseadmed Wolf LH 25-2.

Hoone olme- ja bürooruumides I ja II korrusel on vesikütteil plaatradiaatorid. Küttekehad on varustatud termostaatventiilidega, harud on varustatud tasakaalustusventiilidega ning süsteemi kõrgemad punktid automaatsete õhueraldajatega. Dušširuumidesse on paigaldatud küttekaablitega elektri põrandküte. Radiaatorkütte soojuskandja temperatuurirežiim on 70/50 °C.

Küttesüsteemi ja õhkküttesüsteemi arvutuste aluseks on olmeruumide keskmine temperatuur 21 °C, laoruumides 14 °C, tootmisruumis 18 °C, väliõhutemperatuuri - 22,5 °C korral.

Projekteeritud soojuskoormused on:

- |  |                    |
|--|--------------------|
| • Küte (radiaatoritega)                      | ~ 22 kW (70/50 °C) |
| • Ventilatsiooni kalorifeeride soojavarustus | ~ 75 kW (70/40 °C) |
| • Õhkküte – seadmed veekalorifeeridega       | ~ 52 kW(70/40 °C)  |
| • Õhkküte – seadmed gaasikütteil             | ~ 85 kW            |
| Kokku:                                       | ~ 234 kW           |

Arvutuslik sooja tarbevee maksimaalne soojuskoormus on 92 kW. Sooja tarbevee vajadus on 0,44 l/s. Sooja vee arvutuslik temperatuur on 55 °C.

Kõik kütte magistraalitorud ja kalorifeeride soojusvarustustorud on monteeritud terastorudest. Torud on mõõdus DN15...DN40. Kõik magistraalkütte-, kalorifeeride soojusvarustustorud ja soojatorud on katlaruumis isoleeritud fooliumkattega kivivillakoorikutega.

### Ventilatsioonisüsteem

Hoone olme- ja bürooruumidesse on rajatud mehaaniline sissepuhke ja väljatõmbe süsteem (S/V1 ja S/V2). Väljatõmbe ventilaatoritega on varustatud 1914,2 m<sup>2</sup> suurune laoruum (V-1 ja V-2), laohoidja ruum (V-3) ja suitsetamisruum (V-4).

Ventilatsiooni õhutorud on varustatud reguleerklappidega õhuhulkade reguleerimiseks, puhastusluukidega ning tuletõkkeklappidega, kui torud läbivad tuletõkketarindeid. Ventilatsioonitorud tuletõkkeklappidest kuni tuletõkketarinditeni on isoleeritud tulepüsivusastmeni EI60. Suitsuärastuseks on katusele paigaldatud suitsueemaldusluugid.

Bürooruumidesse on paigaldatud 5 SPLIT-tüüpi jahutusseadet (Midea ja Daikin). S/V3 süsteemis jahutatakse ka sissepuhutavat õhku – ventilatsiooniagregaati on paigaldatud jahutuspatarei

Projekteeritud ventilatsiooni õhuhulgad on väljatoodud tabelis 2.2.

Tabel 2.2 Projekteeritud ventilatsiooni õhuhulgad

| Tähis    | Nimetus                   | Teenindatavad ruumid       | Õhuhulk (m <sup>3</sup> /h) | Rõhukadu torus (Pa) |
|----------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| S1/V1    | Sissepuhe                 | tootmisruumid              | 8300                        | ~220                |
|          | Väljatõmme                | tootmisruumid              | 8500                        | ~220                |
| S2/V2    | Sissepuhe                 | I korruse olmeruumid       | ~1000                       | ~200                |
|          | Väljatõmme                | I korruse olmeruumid       | ~1000                       | ~200                |
| S3/V3    | Sissepuhe                 | bürooruumid                | 1840                        | ~220                |
|          | Väljatõmme                | bürooruumid                | 1840                        | ~220                |
| ÕK-1V    | Õhkkütteseade veeküttel   | tootmine                   | ~1400                       | ~100                |
| ÕK-1G    | Õhkkütteseade gaasiküttel | Ladu 1912,4 m <sup>2</sup> | 1700                        | ~100                |
| V-1, V-2 | Väljatõmbe-ventilaator    | Ladu 1912,4 m <sup>2</sup> | 1200                        | ~100                |
| V-3      | Seinaventilaator          | Laohoidja                  | 80                          | ~50                 |
| V-4      | Väljatõmbe-ventilaator    | Suitsetamisruum            | 300                         | ~100                |
| J-1      | Split-süsteemi jahutus    | bürooruumid                | 4 siseblokki                | 1 välisblokk        |

## Niisutussüsteem

Tulenevalt tootmisprotsessi iseloomust, milleks on pappkastide tootmine, on hoonesse paigaldatud niisutussüsteem. Paberi ja pappkastide tootmine ja käitlemine on õhuniiskussisalduse suhtes väga tundlikud protsessid ning kui õhuniiskust ei kontrollita, võib tulemuseks olla toodete kokkukuivamine, staatilise elektri moodustumine, materjalide purunemine, halvad trükkimise tulemused ning kallihinnalised masinate remonditööd. Stora Enso Packaging AS rendib ja kasutab antud pinda alates 2003. aastast, kuid niisutussüsteem paigaldati alles 2014. aastal ning paigalduse peamiseks põhjuseks oli materjali kõverdumine ja normidele mittevastav kvaliteet. Pärast niisutussüsteemi paigaldamist oli töötajate sõnul sisekliima olukord läinud märgatavalt meeldivamaks.

Niisutamise vajadus meie kliimas võib kerkida esile kui väliõhu temperatuur langeb alla +5°C. Niisutusprotsess on üldiselt kallis ning kasutatakse ja projekteeritakse reaalselt ainult äärmise vajaduse korral. Niisutusprotsess võib olla kas adiabaatne või isothermiline. Adiabaatne niisutamise ehk aurustusniisutamise korral tuleb niisutatavat ruumi täiendavalt kütta, kuna niisutamise protsessi käigus õhk jahtub. Isothermilise niisutuse ehk aurniisutuse puhul pihustatakse ruumiõhku veeauru.

Pihustusniisutus on ka atraktiivne ruumiõhu jahutamise viis. Selline jahutussüsteem kasutab vähem energiat ning on ka oma investeeringu suuruse mõttes soodsam kui paljud teised jahutussüsteemid. Vee muutmine vedelast gaasilisse olekusse (auruks) nõuab 2,257 KJ soojusenergiat. Seda protsessi saab efektiivselt kasutada jahutusefekti saamiseks kuni 8°C. Sellist tüüpi protsessiga on võimalik saavutada kuni 0,629 kWh jahutust kasutades selleks 0,002 kWh energiat. [19]

Stora Enso Packaging AS tootmishoone niisutussüsteemi näol on tegemist pihustusniisutussüsteemiga ehk kõrgsurveniisutussüsteemiga, mis on oma olemuselt adiabaatne. Vesi pihustatakse antud süsteemiga õhku kuni 50 bar, mis tagab kohese aurustumise [19].

Süsteemi põhikomponendid on kõrgsurve pumbakeskuses, veepehmdusseade, 5 pihustusniisutit, niiskusandurid, torustik ja toruarmatuur.

Niisutussüsteem on jaotatud kaheks tsooniks:

- 3 õhuniisutit HydroJet maksimaalse tootlikkusega 24 l/h paiknevad tootmises;
- 2 õhuniisutit HydroTrio maksimaalse tootlikkusega 12 l/h paiknevad laos.

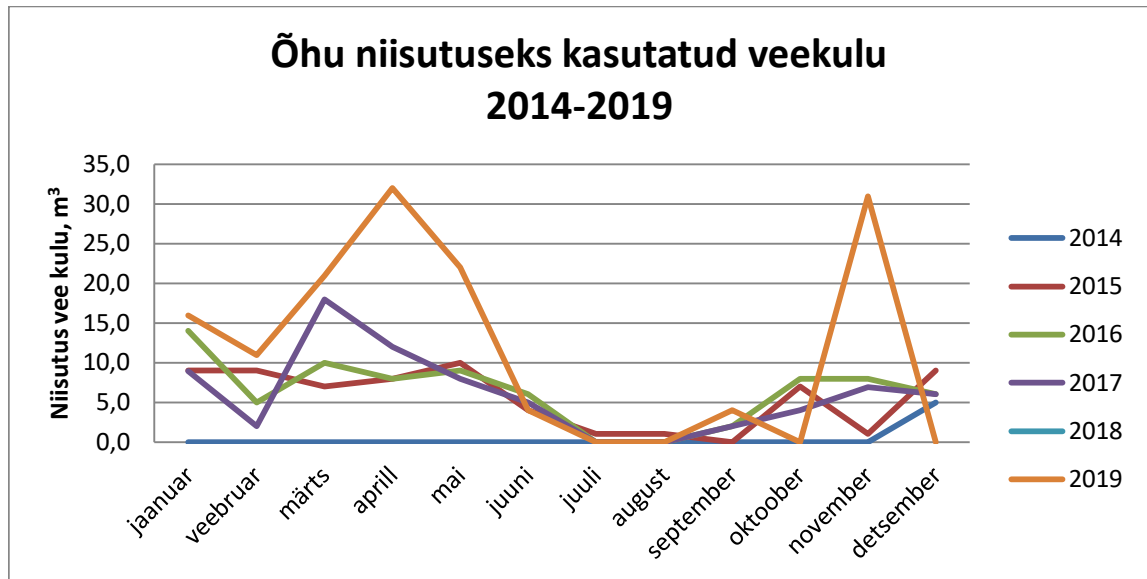
Süsteemi eesmärk on hoida niisutatavates ruumides kogu aasta vältel siseõhu suhteline niiskus RH 50% juures. Tootmisruumis on õhuvahetuse õhuhulk 8 500 m<sup>3</sup>/h ning sealne arvutatud maksimaalne niisutusvee hulk on 70,6 l/h. Laoruumis tavapärasel kasutusel õhuvahetus puudub. Seal on väljatõmbeventilaator ning seintes värskeõhuklapid. Väljatõmbeventilaatorit praktikas tööle ei rakendata ning värskeõhuklappe hoitakse suletuna. Laoruumi reaalne vajalik maksimaalne niisutusvee kogus on 4 l/h.

Reaalse õhu niisutamiseks kasutatud vee kulu saame Stora Enso Packaging ASilt saadud vee kulu andmete ja reovee kulu andmete kaudu. Saadud tulemus on kajastatud tabelis 2.3.

Tabel 2.3 Õhu niisutamiseks kasutatud veekulu aastatel 2014-2019

| <b>Õhu niisutamiseks kasutatud vesi, m<sup>3</sup></b> |             |             |             |             |             |             |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Kuu/Aasta</b>                                       | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> | <b>2017</b> | <b>2018</b> | <b>2019</b> |
| jaanuar  | 0.0         | 9.0         | 14.0        | 9.0         | 0.0         | 16.0        |
| veebruar   | 0.0         | 9.0         | 5.0         | 2.0         | 21.0        | 11.0        |
| märts  | 0.0         | 7.0         | 10.0        | 18.0        | 8.1         | 21.0        |
| aprill   | 0.0         | 8.0         | 8.0         | 12.0        | 0.0         | 32.0        |
| mai  | 0.0         | 10.0        | 9.0         | 8.0         | 4.1         | 22.0        |
| juuni  | 0.0         | 4.0         | 6.0         | 5.0         | 9.0         | 4.0         |
| juuli  | 0.0         | 1.0         | 0.0         | 0.0         | 2.0         | 0.0         |
| august   | 0.0         | 1.0         | 0.0         | 0.0         | 4.0         | 0.0         |
| september  | 0.0         | 0.0         | 2.0         | 2.0         | 4.0         | 4.0         |
| oktoober   | 0.0         | 7.0         | 8.0         | 4.0         | 6.0         | 0.0         |
| november   | 0.0         | 1.0         | 8.0         | 7.0         | 8.0         | 31.0        |
| detsember  | 5.0         | 9.0         | 6.0         | 6.0         | 12.0        | 0.0         |
| <b>Kuu keskmine</b>                                    | <b>0.4</b>  | <b>5.5</b>  | <b>6.3</b>  | <b>6.1</b>  | <b>6.5</b>  | <b>11.8</b> |
| <b>Aasta kokku</b>                                     | <b>5</b>    | <b>66</b>   | <b>76</b>   | <b>73</b>   | <b>78</b>   | <b>141</b>  |

Jooniselt 2.3 on näha, et alates niisutussüsteemi paigaldamisest on niisutamiseks kasutatud vee kulu talvekuudel vahemikus 10 – 15 m<sup>3</sup>. Viimasel ehk 2019. aasta talvekuudel suureneb niisutusvee kulu oluliselt, mille põhjuseks on tootmismahu oluline suurenemine ja kahe uut tüüpi tootmismasina soetamine.



Joonis 2.3 Õhu niisutuseks kasutatud veekulu aastatel 2014-2019

Järgnev tabel (Tabel 2.4) iseloomustab, kui palju täiendavat energiat oli vaja kasutada hoone kütmiseks niisutussüsteemi kasutamisel. Tulemused on saadud niisutuseks kasutatud vee koguse korrutamisega 0,629 kWh-ga ehk nii palju jahtub õhk, kui sinna pihustada 1 l soojendamata tarbevett.

Tabel 2.4 Niisutatud õhu üleskütmiseks kasutatud energia aastatel 2014-2019

| Õhu niisutuseks kulutatud energia, kWh |             |              |              |              |              |              |
|--|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Kuu/Aasta                              | 2014        | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         | 2019         |
| jaanuar                                | 0           | 5661         | 8806         | 5642         | 0            | 10064        |
| veebruar                               | 0           | 5661         | 3145         | 1258         | 13209        | 6919         |
| märts                                  | 0           | 4403         | 6290         | 11297        | 5095         | 13209        |
| aprill                                 | 0           | 5032         | 5032         | 7548         | 0            | 20128        |
| mai                                    | 0           | 6290         | 5661         | 5032         | 2579         | 13838        |
| juuni                                  | 0           | 2516         | 3774         | 3145         | 5661         | 2516         |
| juuli                                  | 0           | 629          | 0            | 0            | 1258         | 0            |
| august                                 | 0           | 629          | 0            | 0            | 2516         | 0            |
| september                              | 0           | 0            | 1258         | 1258         | 2516         | 2516         |
| oktoober                               | 0           | 4403         | 5032         | 2516         | 3774         | 0            |
| november                               | 0           | 629          | 5032         | 4378         | 5032         | 19499        |
| detsember                              | 3145        | 5661         | 3774         | 3774         | 7548         | 0            |
| <b>Kuu keskmine</b>                    | <b>262</b>  | <b>3460</b>  | <b>3984</b>  | <b>3821</b>  | <b>4099</b>  | <b>7391</b>  |
| <b>Aasta kokku</b>                     | <b>3145</b> | <b>41514</b> | <b>47804</b> | <b>45848</b> | <b>49188</b> | <b>88689</b> |
| <b>Aasta kokku, MWh</b>                | <b>3</b>    | <b>42</b>    | <b>48</b>    | <b>46</b>    | <b>49</b>    | <b>89</b>    |

## Elektrisüsteem

Hoone elektrivarustus on projekteeritud pingesüsteemile 230/400V, 50 Hz. Hoonel on kaks peakaitset nimivooluga 3x250A. Hoone elektrivarustuseks on paigaldatud maa sisse kaks kaablit AXMK 4x185. Peamine elektrikilp on kilbiruumis, kontoriosas on jaotuskeskus. Ventilatsiooniseadmete elektriga varustamiseks on paigaldatud ventilatsiooni jaotuskeskus.

Valgustuse rühmaliinide toiteks on kasutatud 1,5 mm<sup>2</sup> kaablit ning iga rühmaliin on kaitstud 10A automaatkaitselülitiga. Pistikupesade rühmaliinide toiteks on kasutatud 2,5 mm<sup>2</sup> kaablit ning iga rühmaliin on kaitstud 16A automaatkaitselülitiga. Jõuseadmete kaablite ristlõiked ja kaitselülitid on valitud vastavalt teenindatava seadme võimsusele. Suuremad kui 25 mm<sup>2</sup> kaablid on alumiiniumsoonega, sellest väiksemad vasksoonega. Erinevate süsteemide juhtmed ja kaablid on häirete vältimiseks paigaldatud üksteisest eraldatud rühmadena.

Hoone tulekahjusignalisatsioon on projekteeritud ja ehitatud vastavalt sellel ajal kehtinud määrustele. Hoonesse on paigaldatud aku ja laadijaga 24V mittheadresseeriv ATSi keskseade. Akupatarei tagab voolukatkestuse korral toite 72 tunniks ning häire korral veel lisatoite 0,5 tunniks. Peamine elektritoide on toodud peakilbist tulekindla kaabliga. Anduriteks on optilised suitsuandurid ja temperatuuriandurid. Laoruumis ja koridorides on signaalkellad ning välisseinal on sireen.

Elektriseadmete installeeritud/arvutuslik võimsus on 400 kW, mis jaguneb:

- Valgustus 23/20 kW
- Pistikupesad ja kontoriseadmed 18/11 kW
- Ventilatsioon ja elektriküte 22/15 kW
- Jahutus 8/8 kW
- Välisvalgustus 3/3 kW
- Tehnoloogilised jõuseadmed 314/270 kW
- Arvutuslik tarbimisvõimsus 330 kW

Ruumide valgusseadmete projekteerimisel on aluseks võetud üldvalguse valgustustiheduse keskmised normväärtused sellel ajal. Sellest tulenevalt peab valgustustihedus olema:

- Koridorides, fuajeedes 200 lx
- Kontoriruumides 500 lx
- Puhkeruumides 150 lx
- Laos 300 lx

- Tootmisruumides (üldvalgus) 300 lx
- Tootmisruumides (töökohtadel) 500 lx
- Riietusruumides, abiruumides 150 lx

Hoones asuvad suuremad tehnoloogilised elektritarbijad ja nende võimsused on:

- Kompressor 30 kW
- Jäätmepurusti 30 kW
- Jäätmepress 20 kW
- Digilõikur 1 40 kW
- Digilõikur 2 40 kW
- Bobst pakendimasin 11 kW
- Bobst pakendimasin 40 kW
- Simon pakendimasin 60 kW
- Digilõikur 3 120 kW

### 2.1.5 Tootmisprotsessi kirjeldus

Tehase tootmisprotsess seisneb emafirmast tulnud toorainest pappkastide valmistamine. Tooraineks on brutomõõdus lainepapp, mis tootmisprotsessi käigus kalibreeritakse, lõigatakse vastava mõõdu ja kuju järgi ning millele tehakse vajalik pealetrükk. Valmistatakse nii liimitavaid kui stantsitavaid karpe.

## 2.2 Mõõtmised



### 2.2.1 Sisekliima

Hoone sisekliima mõõtmised teostati veebruaris ja märtsis 2017. aastal ning märtsis 2019. aastal. Mõõtmiseks kasutati HOBO U12-013 logereid ning Evikon E2228L logereid. Nende seadmete andmed ja mõõtepiirkonnad on toodud välja tabelis 2.5.

Tabel 2.5 Sisekliima logerite parameetrid [20], [21]

| Loger                      | HOBO U12-013   | Evikon E2228L   |
|----------------------------|----------------|-----------------|
| Temperatuuri mõõtepiirkond | -20° kuni 70°C | -10° kuni +50°C |



|                                     |   |   |
|-------------------------------------|---|---|
| <b>Temperatuuri mõõtetäpsus</b>     | ±0.35°C from 0° to 50°C   | ±0,3°C  |
| <b>RH mõõtepiirkond</b>             | 5% kuni 95% RH  | 0% kuni 100% RH   |
| <b>RH mõõtetäpsus</b>               | ±2.5% 10% RH juures kuni<br>±3.5% 90% RH juures                                   | ±2,5 % RH   |
| <b>CO<sub>2</sub> mõõtepiirkond</b> | Ei mõõda CO <sub>2</sub> taset  | 0...5000 ppm CO <sub>2</sub>  |
| <b>Maaletooja/tugi</b>              | Perel Eesti AS  | Evikon MCI OÜ   |
|                                     |  |  |

HOBO logeritega mõõdeti sisekliimat kontori vastuvõtulauda juures, sööklas, tootmise osakonnas ning laos. Vastuvõtulaud paikneb kontoribloki teisel korrusel ja on paiknemise mõttes kontori keskel ning iseloomustab kontori üldist sisekliimat kõige paremini. Sööklas on teatud aegadel inimeste kontsentratsioon suurim ning seetõttu saab ülevaate, kuidas tuleb ventilatsioon toime õhu vahetamisega ning kuidas reageerib suuremale inimeste arvule ka ruumi üldine temperatuur ja niiskus.

Tootmises ja laos paiknevad inimesed hõredalt ning kohad said valitud sellised, kus oli pidevalt inimeste kohalolu või liikumine.

Evikoni E2228L logeriga mõõdeti sisekliima parameetreid müügiosakonnas sööklas ja tootmisruumis. Evikoni logeriga sai mõõta lisaks temperatuurile ja suhtelisele õhuniiskusele ka CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni.

Ruumi temperatuure ning suhtelist õhuniiskust salvestati HOBO logeritega iga 30 minuti tagant. Evikoni logeri, mis salvestas lisaks õhuniiskusele ja temperatuurile ka CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni, mõõtmisintervall oli 15 minutit.

Sisekliima parameetrite mõõtmised viidi läbi ruumides, mis on oma otstarbe järgi erinevad. Tootmishoone montaažiosakonnas paigaldati mõõteseadmed lisakorruse platvormile. Seadmed asusid riulite varjus, vältimaks otsest peale puhumist. Teiseks ruumiks oli teisel korrusel asuv kontoriruum, kus mõõteseadmed asetati riulile, samuti põhjusel, et ventilatsioon ega kliimaseade ei puhuks otse peale.

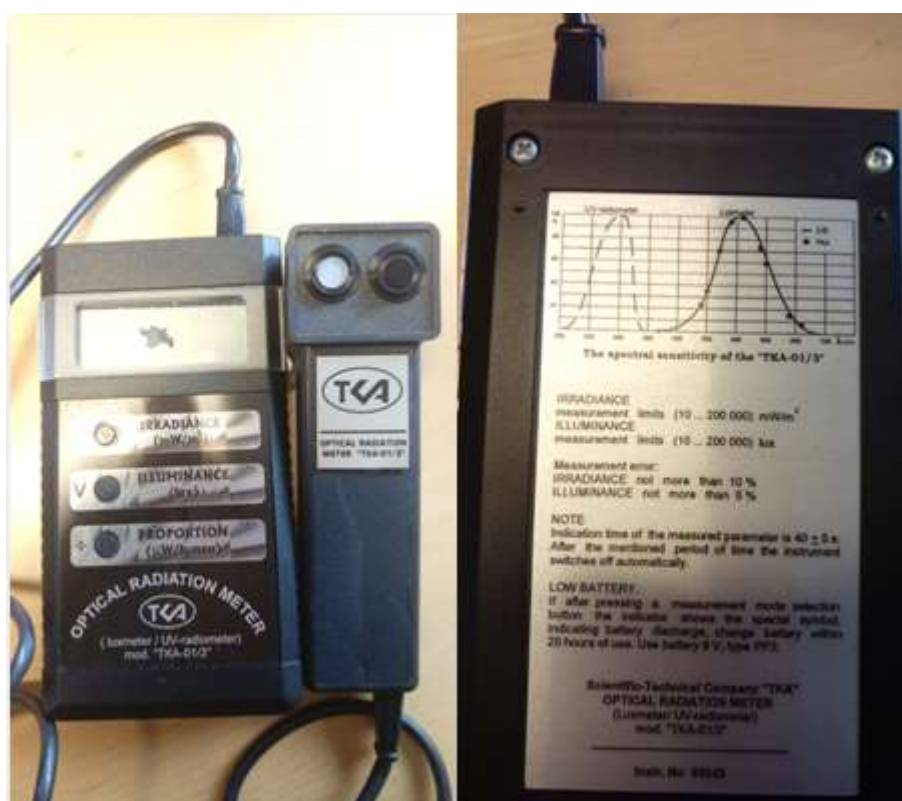
## 2.2.2 Õhu kvaliteet (tahked osakesed)

Tahkete osakeste mõõtmine tootmishoones toimus 20.02.2017. Mõõtmiseks kasutati Tallinna Tehnikaülikooli mõõteriista. Tahkete osakeste kontsentratsiooni mõõtsin PM väärtustes ehk tasemetes, kus PM10 on suuremate kui 10  $\mu\text{m}$  läbimõõduga osakeste kontsentratsioon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ning PM2,5 on suuremate kui 2.5  $\mu\text{m}$  osakeste kontsentratsioon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ümbritsevas õhus.

Mõõtmised teostati tootmisruumis seadmete kõrval nii olukorras, mil seade töötas, kui ka seisva seadmega. Samuti mõõdeti tolmu kontsentratsiooni tootmishoone kontoriruumides.

## 2.2.3 Valgus

Valgustustihedust mõõdeti 17.04.2018. Valgustustihedust mõõdeti hoone büroo osas, tootmis- ja laoruumides ning ka tehnilistes ruumides. Mõõtmiseks kasutati seadet TKA-01/3 (Optical radiation meter „TKA-01/3“), mis on näha joonisel 2.4.



Joonis 2.4 Valgustustiheduse mõõtevahend

## 2.2.4 Termograafia

Hoone termografeerimine toimus 07.03.2017. Välisõhu temperatuur oli termografeerimise päeval  $-3^{\circ}\text{C}$ . Ilm oli pilvine ja sadas kergelt lund. Termokaameraga vaadeldi kõiki piirdetarindeid. Tabelis toodi välja olulisemad ning kriitilisemad tarindite kohad vastavalt leitud  $fR_{si}$  väärtustele. Viimase piirväärtused Eesti tingimustes on järgmised [28]:

- Kui niiskuskooormus talvel  $+6 \text{ g/m}^3$  ja suvel  $+2,5 \text{ g/m}^3$ , siis:
  - Hallituse vältimine:  $fR_{si, \text{ min}} = 0,8$
  - Kondenseerumise vältimine:  $fR_{si, \text{ min}} = 0,7$
- Kui niiskuskooormus talvel  $+4 \text{ g/m}^3$  ja suvel  $+1,5 \text{ g/m}^3$ , siis:
  - Hallituse vältimine:  $fR_{si, \text{ min}} = 0,65$
  - Kondenseerumise vältimine:  $fR_{si, \text{ min}} = 0,55$

Kuna hoone on hästi ventileeritud, arvestame niiskuskooormuseks  $4 \text{ g/m}^3$ .

## 2.3 Simulatsiooniprogramm

Hoone energiatarbe simulatsiooniks kasutati dünaamilist energia- ja sisekliima simulatsiooni programmi IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) versiooni 4.8. Hoone jagati kolmeks tsooniks – kontoriruumid, tootmine ja ladu.

Tsoonideks jagamise aluseks olid sisekliimaparameetrid, mida erinevates tsoonides üritati hoida ning tsooni ruumide otsarve ja hõivatus. Samuti oli igal tsoonil eraldi ventilatsioonisüsteem.

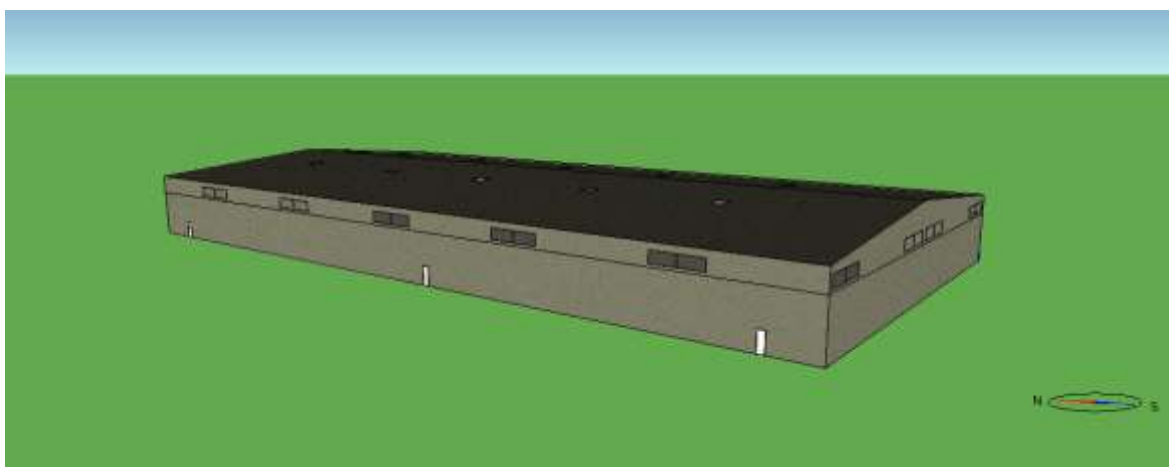
Tsoonide andmete sisestamisel võeti arvesse tsoonis viibivate inimeste hulka, nende aktiivsuse taset ning arvestati nende kohaolekuaega. Oluline on tsoonis asuvad valgustid ja seadmed, mis on olulised tsooni energiatarbe ja vabasoojuse määramisel. Õhuhulgad IDA ICE programmi sisestati vastavalt Amecon OÜ mõõtmisprotokollile, mille tulemusi võrreldi põhiprojekti andmetega.

Hoone vabasoojuskoormused arvutas simulatsiooniprogramm. Vabasoojust eraldasid tsoonis viibivad inimesed, valgusallikad, kontori- ja tootmiseseadmed. Samuti tuli osa vabasoojusest päikeselt.

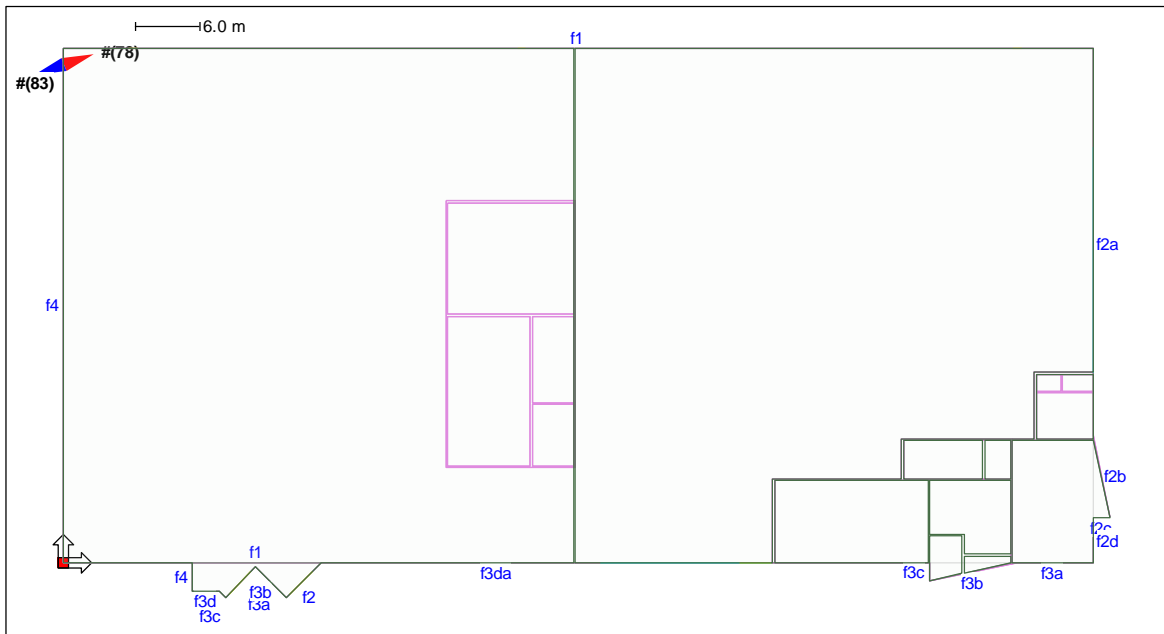
Simulatsiooniprogrammis loodud hoone mudeli esi- ja tagaküljevaated on vastavalt joonisel 2.5 ja 2.6. Esimese korruse plaan on kujutatud joonisel 2.7.



Joonis 2.5 IDA ICE hoone mudel, vaade esiküljest



Joonis 2.6 IDA ICE hoone mudel, vaade tagaküljest



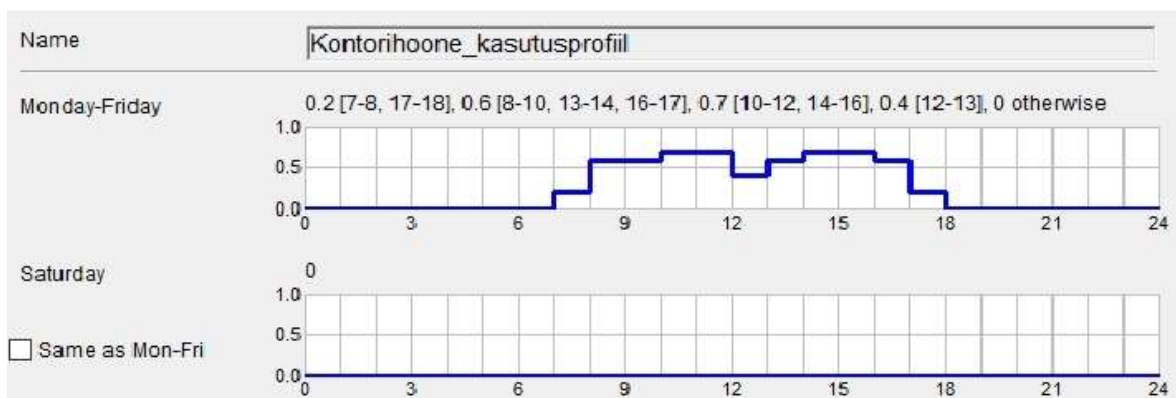
Joonis 2.7 IDA ICE hoone mudel, esimese korruse plaan

### 2.3.1 Kasutusprofiilid

Simulatsiooniprogrammis IDA ICE kasutati erinevaid kasutusprofiile vastavalt konkreetse tsooni tööajale ja töö intensiivsusele.

#### Kontoriruumid

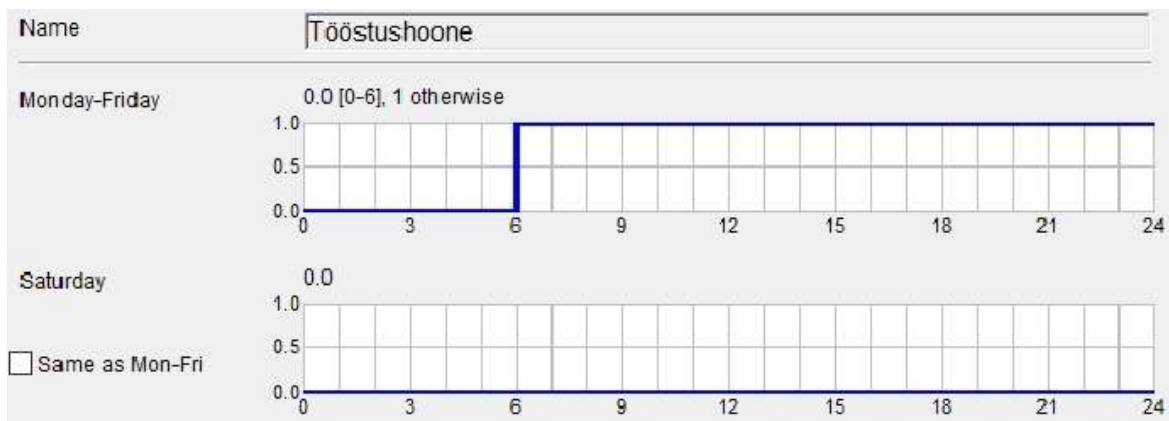
Seda profiili kasutati kontoriblokis esimesel ja teisel korrusel asuvates kontoriruumides nädala sees. Nädalavahetustel ja riiklikel pühadel antud ruumides tegevust ei toimunud. Kontoriruumide kasutusprofiil on kujutatud joonisel 2.8.



Joonis 2.8 Kontoriruumide kasutusprofiil

## Tootmisruumid

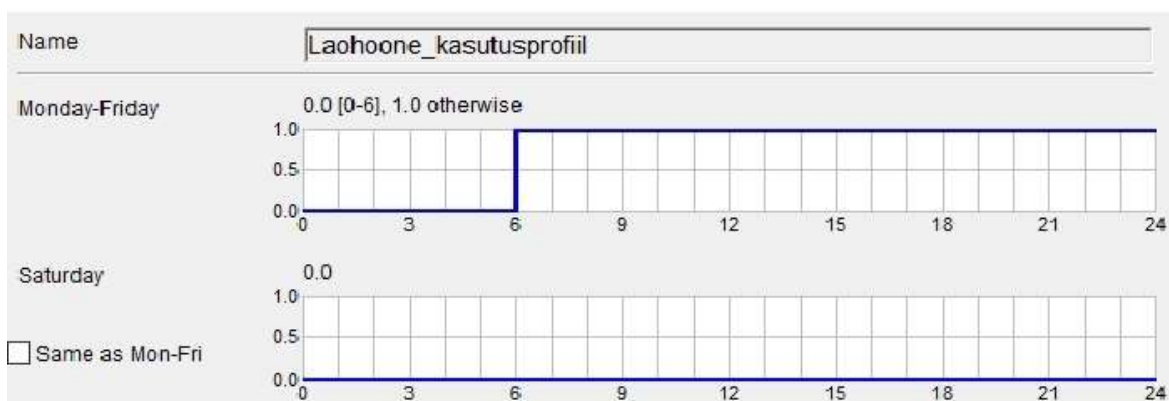
See profiil on kasutusel tootmisruumides nädala sees. Nädalavahetusel ja riiklikel pühadel tootmisruumides üldjuhul tegevust ei toimu. Tootmisruumide kasutusprofiil on kujutatud joonisel 2.9.



Joonis 2.9 Tootmisruumide kasutusprofiil

## Laoruum

See profiil on kasutusel laoruumis nädala sees. Nädalavahetusel ja riiklikel pühadel laoruumis üldjuhul tegevust ei toimu. Laoruumide kasutusprofiil on kujutatud joonisel 2.10.



Joonis 2.10 Laoruumide kasutusprofiil

## 2.4 Energiasäästupakettide tasuvusarvutus

Ehitusseadustiku § 64 lg 2 p 2 sätestab, et hoone energiatõhususe suurendamiseks tuleb meetmete rakendamisel kaaluda erinevaid võimalusi ja eelistada kuluefektiivseid lahendusi. Kaalumisoskuste hõlbustamiseks sobib tasuvusarvutuste tegemine.

Tasuvusaeg on periood, mille jooksul renoveerimisest saadud sääst või tulu katab investeeringu algmaksumuse. Parendusettepanekute ning energiasäästupakettide esmase tasuvusaja kontrolli saab teha lihttasuvusaja meetodil, kasutades selleks järgmist valemit:

$$T = \frac{B_0}{a}, \quad (2.1)$$

kus  $T$  on tasuvusaeg a;

$B_0$  investeering €;

$a$  aastas säästetud maksumus €/a.

### 3. TULEMUSED

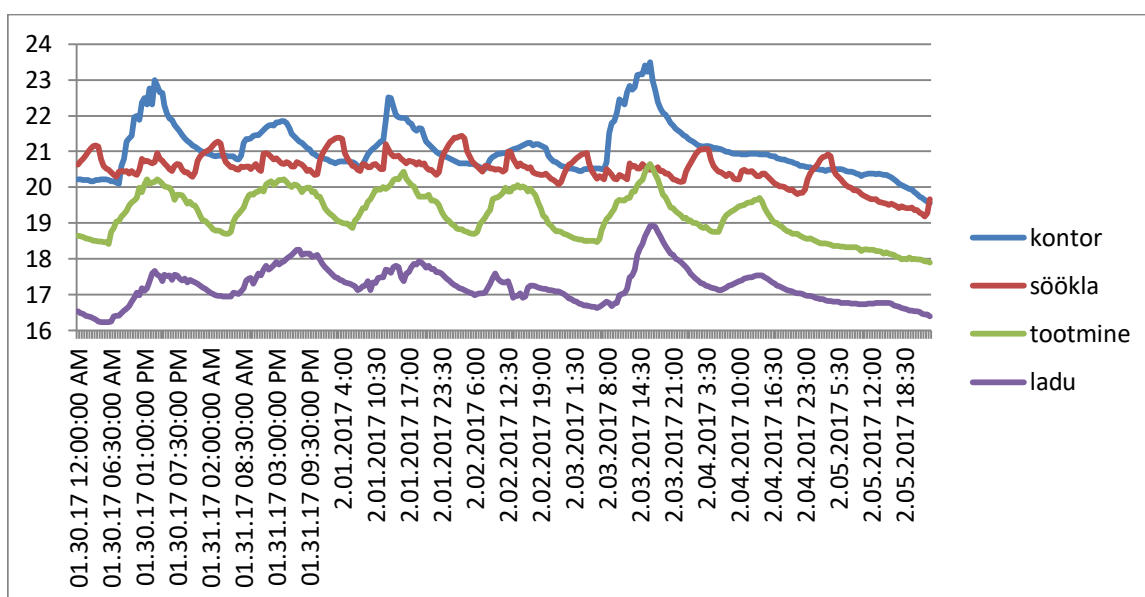
Käesolevas peatükis tuuakse välja töö käigus saadud mõõtmiste, simulatsioonide tulemused ja analüüs.

#### 3.1 Sisekliima

Sisekliima alapeatükis käsitletakse temperatuuri, suhtelise õhuniiskuse saasteainete kontsentratsioonide, temperatuuride kihistumise ja valgustuse mõõtmiste tulemusi ja analüüsitakse nende vastavust kehtivatele nõuetele.

##### 3.1.1 Temperatuur

Joonisel 3.1 on ära toodud õhutemperatuuride mõõtmiste kestvusgraafikud. Mõõtmistulemuste põhjal on temperatuurid tootmishoone kontoriblokis vahemikus 20–24 kraadi paigutades kontoriblokiruumid II sisekliimaklassi [5]. Tootmisosakonnas on temperatuurid vahemikus 18-20 kraadi, mis vastab projektdokumentatsiooni lähteülesandele ning laoruumides 16-19 kraadi. Laoruumi õhutemperatuur projekteerimisel oli 14 kraadi, seega mõõdetud õhutemperatuurid ületavad seda väärtust, samuti jääb laoruumi sisetemperatuur I sisekeskkonna klassi [5].



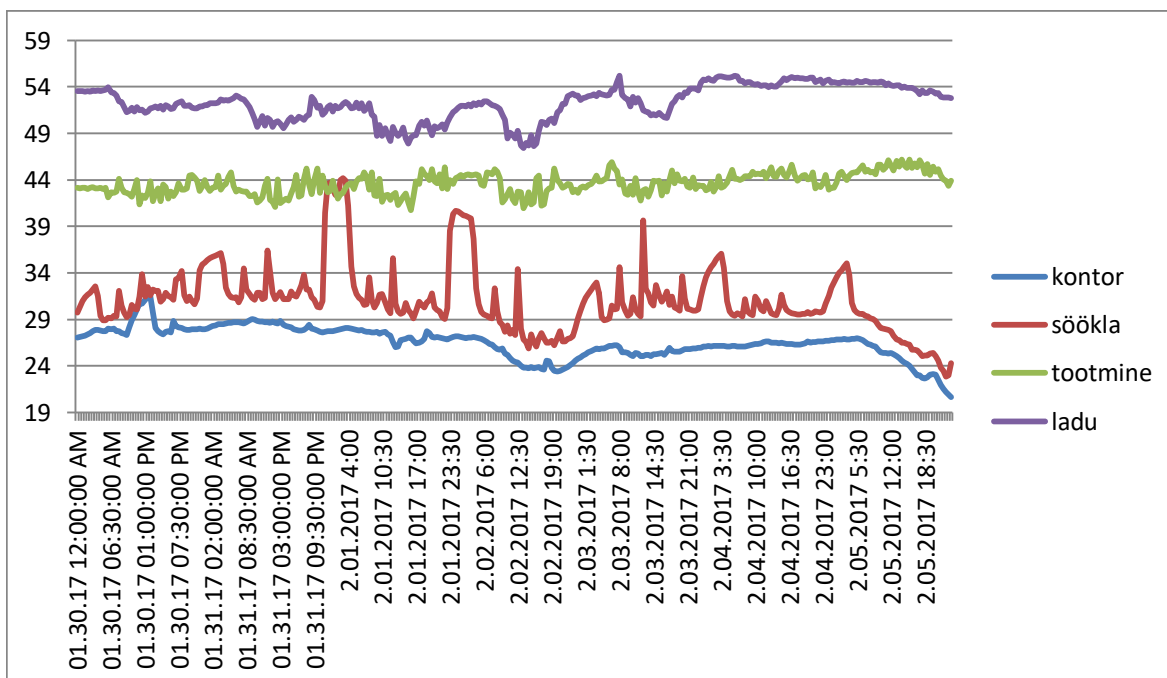
Joonis 3.1 Õhutemperatuuride kestvusgraafikud erinevates ruumides



Ööpäevane temperatuuri kõikumine jääb 1 kuni 2 kraadi vahele, olles seadistatud öösel madalamaks ning päeval kõrgemaks, võimaldades mõningast energiasäästu. Samuti on temperatuurid madalamas seadistuses nädalavahetuseti.

### 3.1.2 Suhteline õhuniiskus

Hoone ventilatsioon on ehitatud selliselt, et tootmisosakonnas on eraldi niiskustagastuseta ventilatsiooniagregaat ning samuti on kontoribloki eri korrustel eraldi ventilatsiooniagregaadid. 2014. a hoonesse paigaldatud pihustusniisutusüsteemi abil kontrollitakse õhuniiskust tootmis- ja laoruumis tagamaks toodangu kvaliteedi säilimist ning töötajate mugavustunnet. Niisutusüsteem on seadistatud hoidmaks suhtelist õhuniiskust 50% juures. Graafikut (joonis 3.2) vaadates selgub, et laoruumis, kus õhutemperatuur on madalam, on suhteline niiskus üldiselt ca 8% kõrgem kui tootmisruumis. Laoruumis oli mõõtmisperioodil niiskustase 49–55% ning tootmisruumis 42–47%. Kuna kontoriblokis niiskust ei kontrollita jäävad seal kütteperioodil niiskussisaldused alla 35%. Suhtelise niiskuse järgi võib ruumid paigutada teise sisekliimaklassi[5].

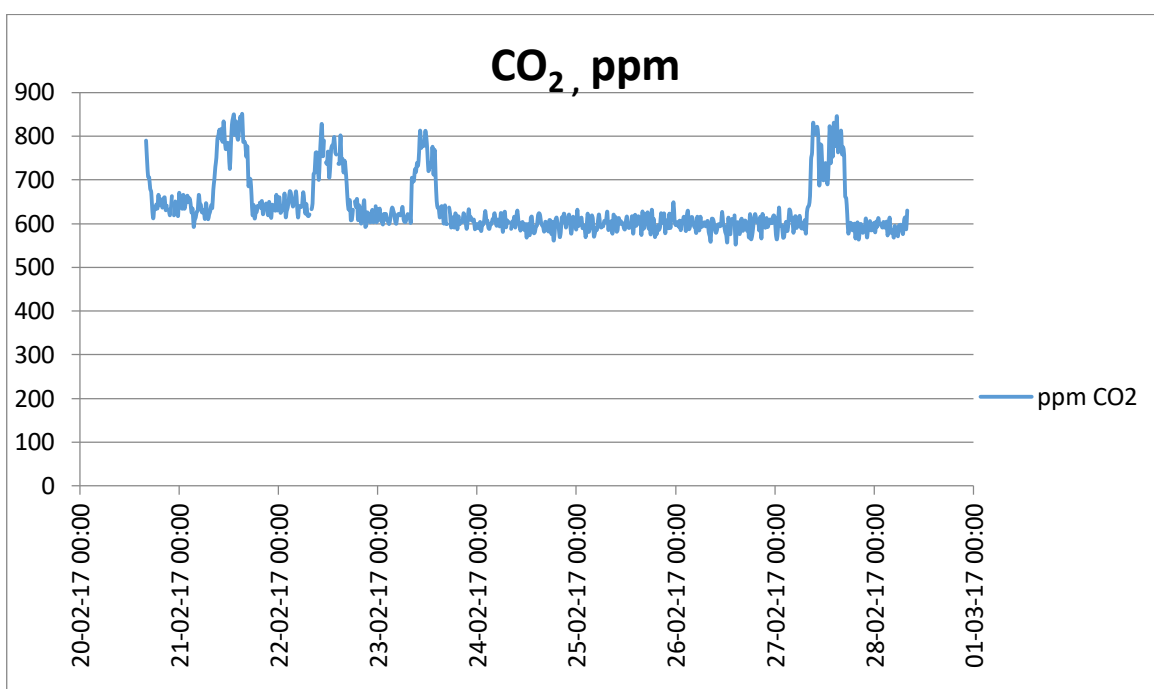


Joonis 3.2 Õhu suhteline niiskus erineva kasutusotstarbega ruumides

### 3.1.3 Õhu kvaliteet (gaasid ja tahked osakesed)

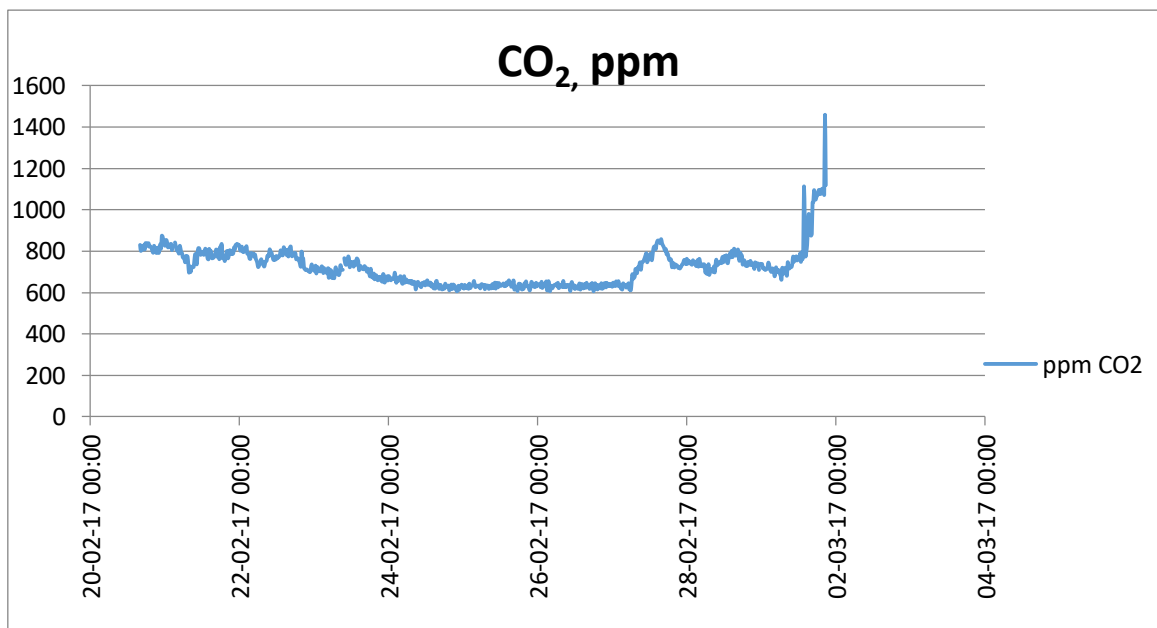
#### Süsihappegaasi kontsentratsioon

Joonistelt 3.3 ja 3.4 saame ülevaate süsihappegaasi kontsentratsioonist kontoriblokis ja tootmisruumis. Graafikult ilmneb, et kui kontoriblokis töölisi ei viibi, on CO<sub>2</sub> tase 600 ppm juures. Tööpäeval tõuseb CO<sub>2</sub> tase 800 ppm juurde, jäädes II sisekliimaklassi [5]. Tootmisruumis on CO<sub>2</sub> näit sarnaselt 800 ppm juures, kui seal käib töö. Töövälisel ajal langeb tase samuti kuni 600 ppm-ni.



Joonis 3.3 Süsihappegaasi kontsentratsioon kontoriruumis

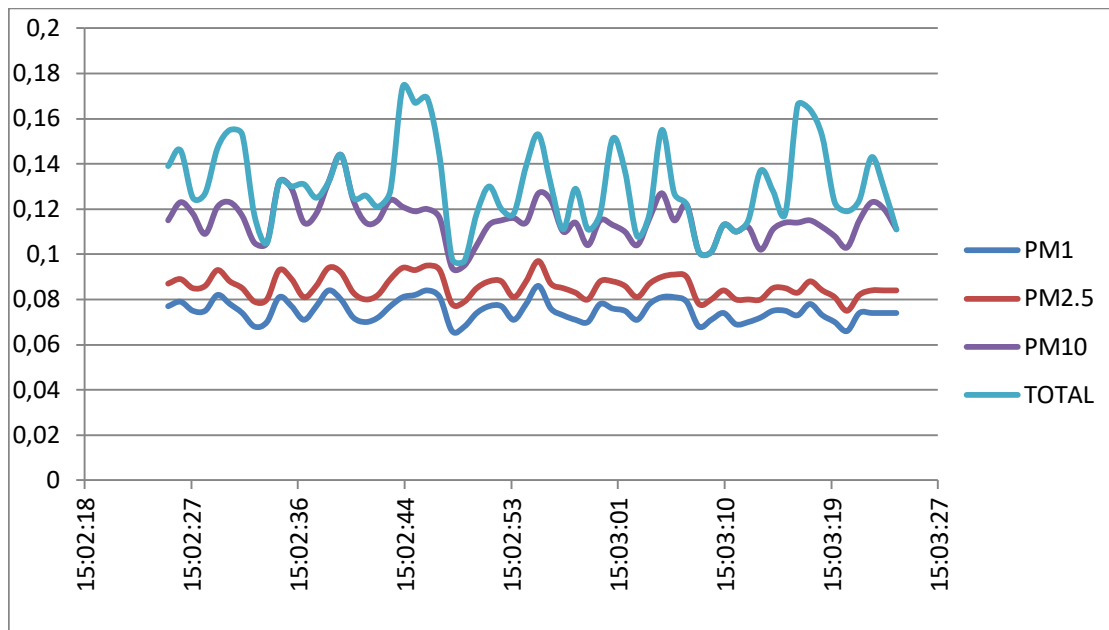
Tootmisruumi graafikult (joonis 3.4) võib välja lugeda näidu järsu tõusu, mida võib seletada logeri veaga, kuna pärast näidu järsku tõusu enam väärtusi ei kuvata. Väärtuste järgi võib tootmisbloki liigitada samuti II sisekliimaklassi [5].



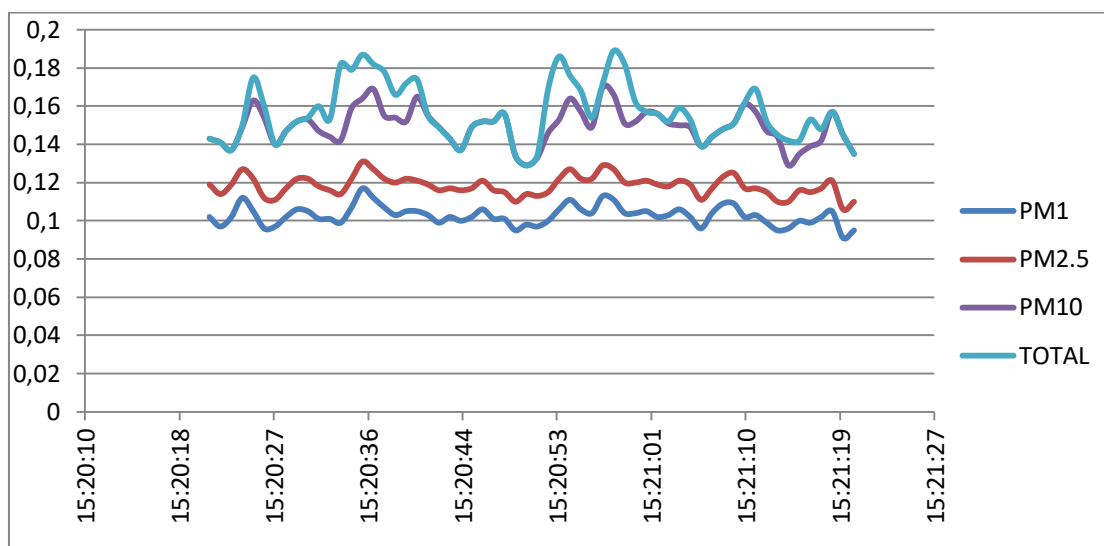
Joonis 3.4 Süsihappegaasi kontsentratsioon tootmisruumis

### Tahked saasteosakesed

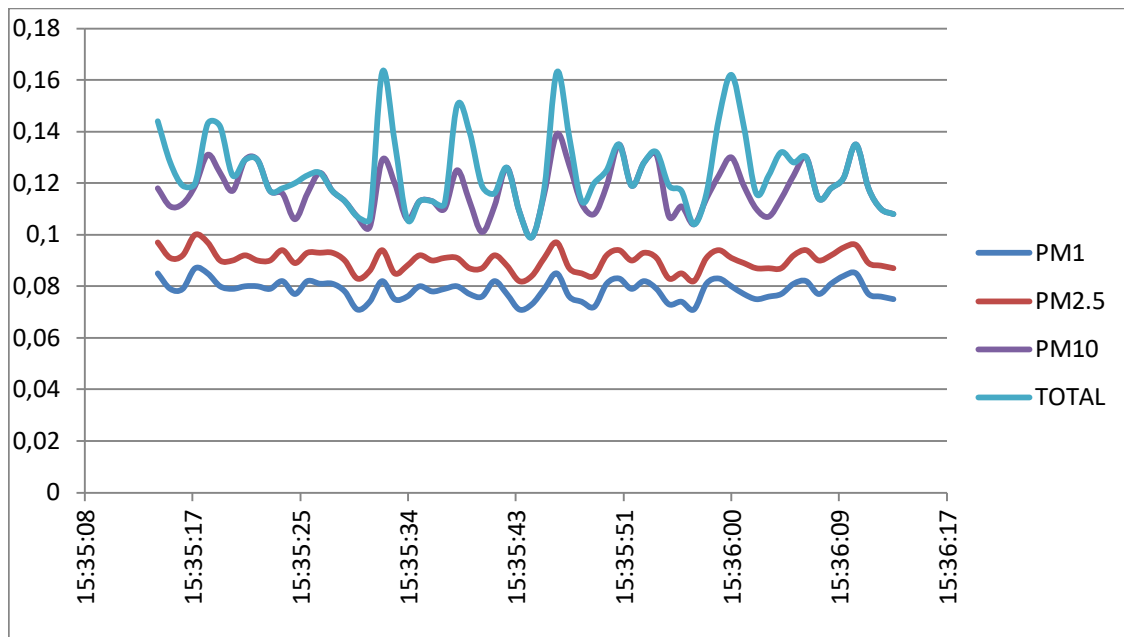
Joonistel 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ja 3.9 on kujutatud erineva suurusega tahkete osakeste kontsentratsioon tootmishoone siseõhus. Graafikuid uurides võime järeldada, et kontoriruumides on üldine tolmu kontsentratsioon väiksem kui tootmises. Tootmises, kus sai mõõdetud tolmu ehk tahkete osakeste kontsentratsiooni, nii töötavate kui ka seisvate masinate kõrval, ei ole märgata väärtustes märkimist väärivat erinevust (võrdle joonis 3.6 ja 3.7). Tolmu mõnevõrra suurem kontsentratsioon tootmisosakonnas võib tuleneda asjaolust, et üldist tolmu tootmisruumis on keerukam ja tülikam koristada kui kontoriruumides ning mõningast tolmu siiski tekib tootmisel. Tootmises kasutatavad masinad oma töös märkimisväärset tolmu ei tekita ning kaitsevahendeid nagu näiteks respiraatoreid nendega opereerimisel kasutama ei pea.



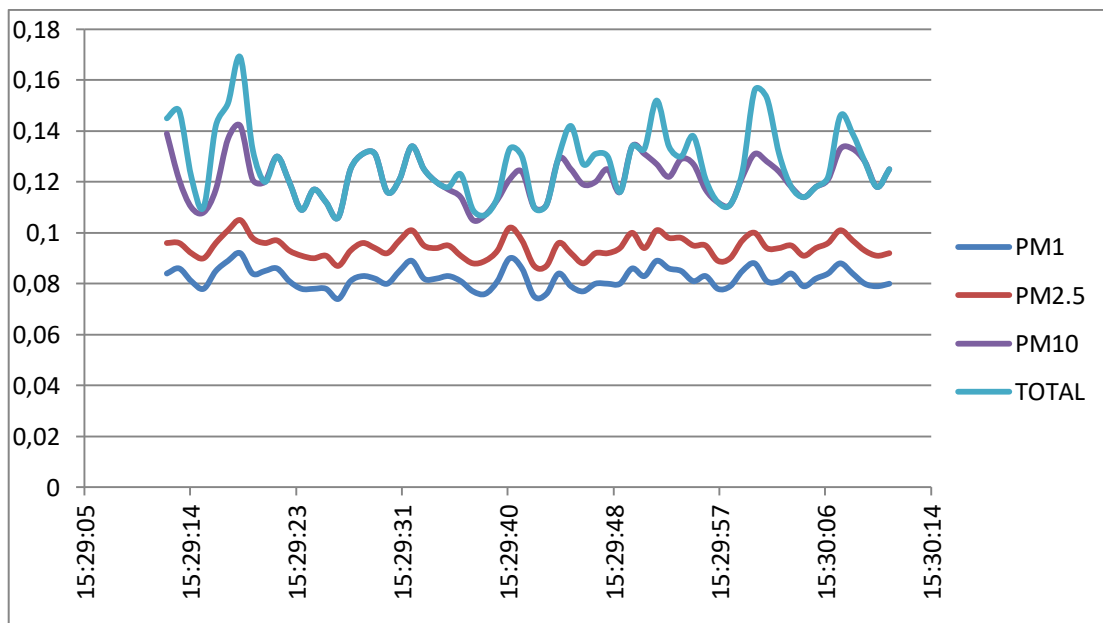
Joonis 3.5 Tahkete saasteosakeste kontsentratsioon kontoriruumides



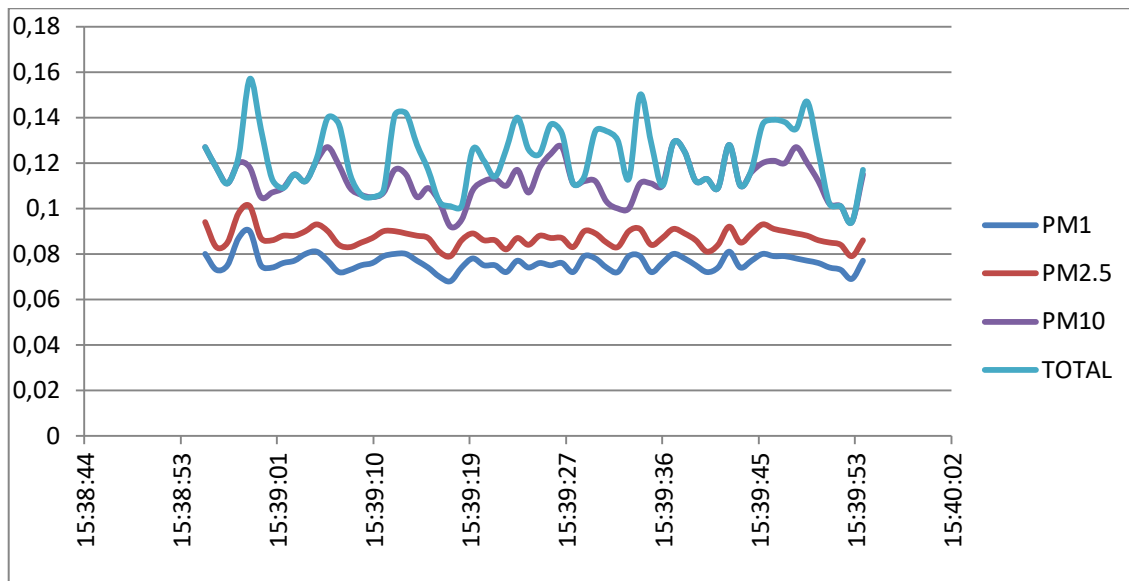
Joonis 3.6 Tahkete osakeste kontsentratsioon digilõikuri kõrval seisujal



Joonis 3.7 Tahkete osakeste kontsentratsioon digilõikuri kõrval töötamise ajal



Joonis 3.8 Tahkete osakeste kontsentratsioon pakendimasina kõrval seisuajal



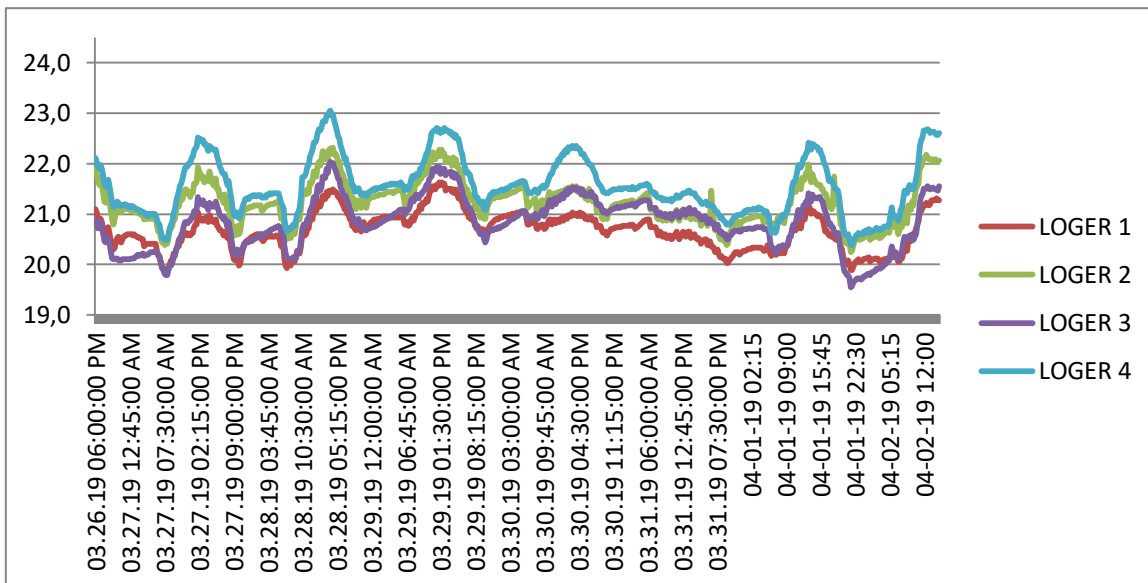
Joonis 3.9 Tahkete osakeste kontsentratsioon pakendimasina kõrval töötamise ajal

Tahkete osakeste lugemiväärtused on tootmishoone kohta üllatavalt madalad. Väikseimate ehk PM1 osakeste, mis on ühtlasi tervisele kõige kahjulikumad ning mille diameeter jääb alla 0,001 mm, tase jääb 0,08  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  juurde. Keskmise suurusega osakeste ehk PM2,5, mille diameeter alla 0,0025  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ , tase jääb 0,08 ja 0,1  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  vahele, ulatusid üle mõõtmisel ka 0,12  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  juurde.

Suurimate ehk PM10 osakeste, mille diameeter on alla 0,01 mm, kontsentratsioon läheb kohati kuni 0,17  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  lähedale. Üldiselt on siiski hoones tahkete osakeste osakaal väike ja jääb tublisti alla lubatud piirmäära.

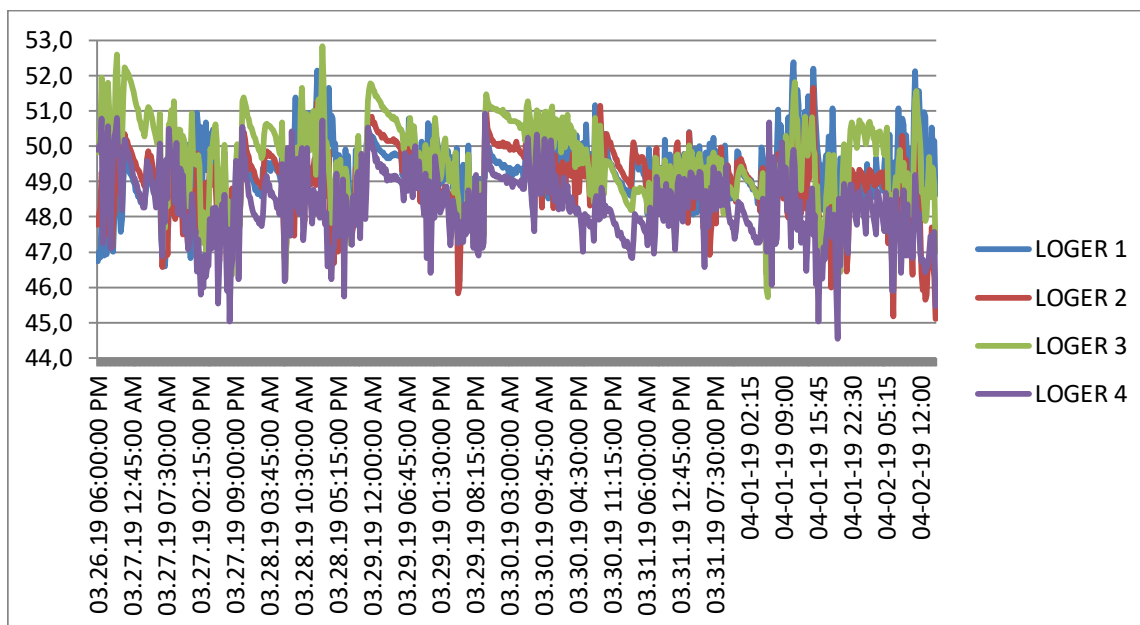
### 3.1.4 Temperatuuride kihistumine

2019. aastal viidi läbi temperatuuride mõõtmine korruga hoone eri kõrgustel selgitamaks välja temperatuuride ja õhuniiskuse erinevusi samas tootmise ruumis kõrguste lõikes. Selleks kasutati nelja Onseti HOB0 logerit. Logerid paiknesid hoones pealtvaates lähestikku, kuid eri kõrgustel. Loger nr 1 paiknes 1,8 m kõrgusel, koger nr 2 paiknes 3,5 m kõrgusel, koger nr 3 oli asetatud 7 m kõrgusele ning loger nr 4 oli 9 m kõrgusel. Saadud tulemused kanti graafikule (joonis 3.10). Joonise 3.10 põhjal on näha, et temperatuurid kõiguvad ruumis kõrguse lõikes kuni 2 kraadi.



Joonis 3.10 Temperatuuride kihistumine eri kõrgustel

Joonisel 3.11 näeme suhtelise õhuniiskuse väärtusi erinevatel kõrgustel. Siit näeme, et suhteline õhuniiskus ülemise logeri juures on madalaim ning suurim alumise logeri juures. Niiskusevahe on kuni 8%.

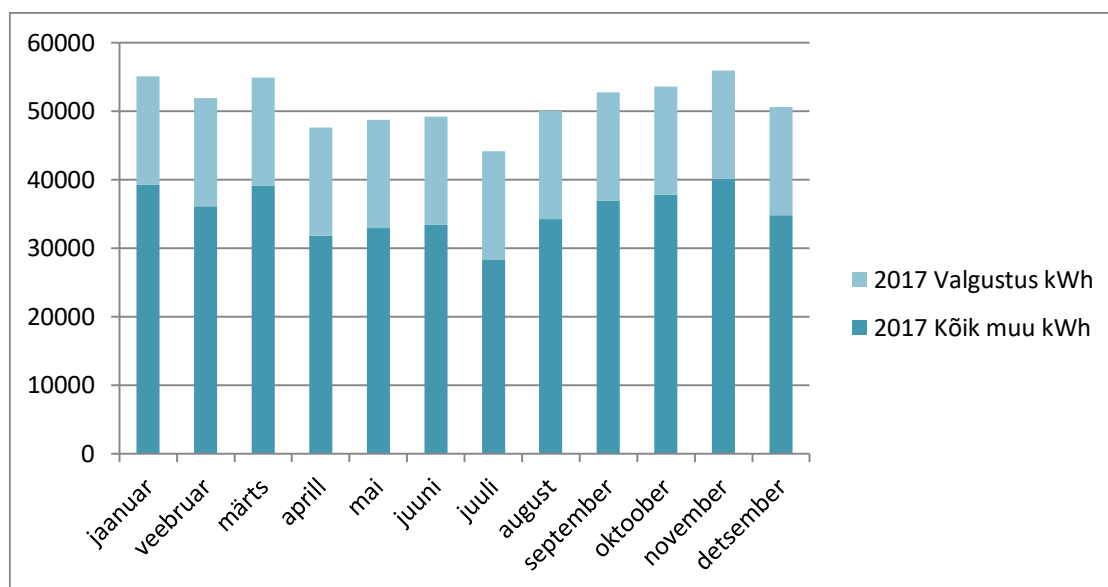


Joonis 3.11 Suhtelise õhuniiskuse kihistumine eri kõrgustel

### 3.1.5 Valgustus

Tootmis- ja laoruumides on valgustitena kasutusel Arcluce 5622 valgustid, mille sees on 400W võimsusega Philips Master HPI plus pirnid. Koos süüteseadmega on ühe valgusti tarbitav võimsus ca 440W. Selliseid valgusteid on hoones kokku (tootmis- ja laoruumides) 96 tk. Arcluce valgustid põlevad kõikidel tööpäevadel kl 06.00-23.00 ehk 17 tundi ööpäevas ja 5 päeva nädalas. Seega lihtsa arvutuse tulemusel selgub, et ainuüksi tootmis- ja laoruumide valgustuse peale kulub ühes kalendrikuus, kus on 22 tööpäeva, 15 798 kWh elektrienergiat. Arvestades 1 kWh hinnaks 2019. a keskmise elektri sisseostu hinna suurtarbijale, milleks on 0,0768 eurot [17], ilmneb, et ühes kalendrikuus kulub valgustusele ca 1213 eurot (ilma käibemaksuta).

Tootmis- ja laoruumide valgustamisele kuluv elektrienergia moodustab keskmiselt rohkem kui kolmandiku kogu hoone elektrienergia kulust (joonis 3.12). Hoone tootmis- ja laoruumides on aknad väikesed, mistõttu peavad tööohutuse ja -kvaliteedi tagamiseks valgustid põlema kogu perioodi jooksul, mil tootmis- või laoruumis töö käib.



Joonis 3.12 Tootmishoone elektrienergia kulu jaotus valgustuse ja muu vahel aastal 2017

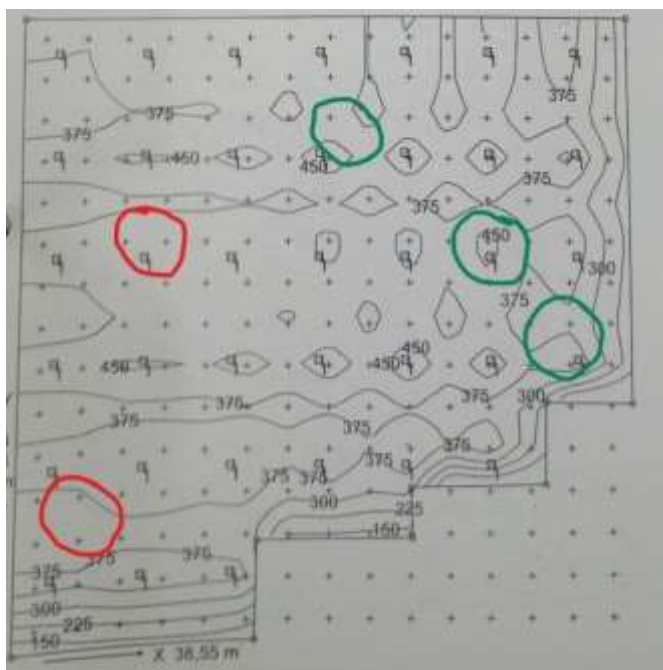
Mõõtmiste põhjal võib järeldada, et valgustustiheduse tase hoone kontoriblokis on piisav (vaata tabel 3.1). Laoruumis, mõnedes tootmisruumi osades ning ventilatsiooni ruumis jäi lukside tase alla ettenähtud piiri. Büroo osas oli kõikide tulede sisselülitamisel valgustustiheduse tase tublisti üle piirmäära.



Tabel 3.1 Valgustustihedus hoone erinevates ruumides

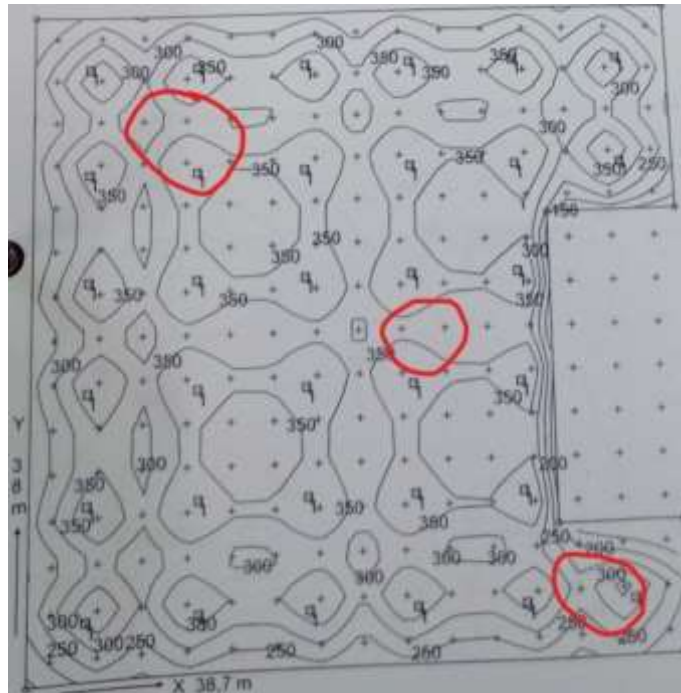
| Ruum                     | Mõõdetud valgustugevus, lux (lx) | Vajalik valgustugevus, lux (lx) |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Büroo, sekretäri laud    | 1259                             | 500                             |
| Büroo, nõupidamiste ruum | 1056                             | 500                             |
| Tehniline ruum           | 460                              | 150                             |
| Tehniline ruum, töölaud  | 780                              | 500                             |
| Tootmisruum (üldvalgus)  | 480                              | 300                             |
| Tootmisruum (töökoht)    | 553                              | 500                             |
| Tootmisruum (üldvalgus)  | 441                              | 300                             |
| Tootmisruum (üldvalgus)  | 292                              | 300                             |
| Tootmisruum (töökoht)    | 487                              | 500                             |
| Ladu                     | 174                              | 300                             |
| Ladu                     | 278                              | 300                             |
| Ladu                     | 222                              | 300                             |
| Katlaruum                | 600                              | 150                             |
| Ventilatsiooni ruum      | 118                              | 150                             |

Mõõtmiste piirkonnad tootmisruumides on näha joonisel 3.13: roheline ringiga on tähistatud piirkond, kus valgustustiheduse tase üle lubatud miinimumnormi. Punase ringiga on tähistatud piirkonnad, kus valgustustiheduse tase jääb alla lubatud piinormi.



Joonis 3.13 Valgustustiheduse mõõtmise piirkond tootmisruumis (roheline ringiga on tähistatud piirkond, kus valgustustiheduse tase on üle lubatud miinimumnormi. Punase ringiga on tähistatud piirkonnad, kus valgustustiheduse tase jääb alla lubatud piinormi)

Mõõtmiste piirkonnad laoruumis on näidatud joonisel 3.14. Sellest nähtub, et valgustustihedus laoruumis jäi alla miinimumnormi.

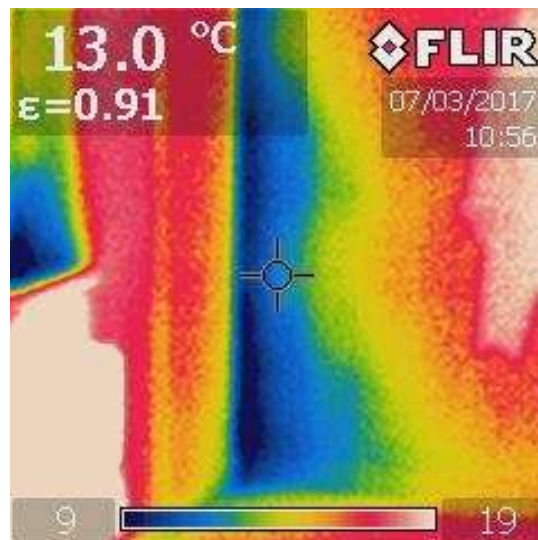


Joonis 3.14 Valgustustiheduse mõõtmise piirkond laoruumis (roheline ringiga on tähistatud piirkond, kus valgustustiheduse tase on üle lubatud miinimumnormi. Punase ringiga on tähistatud piirkonnad, kus valgustustiheduse tase jääb alla lubatud piirnorni)

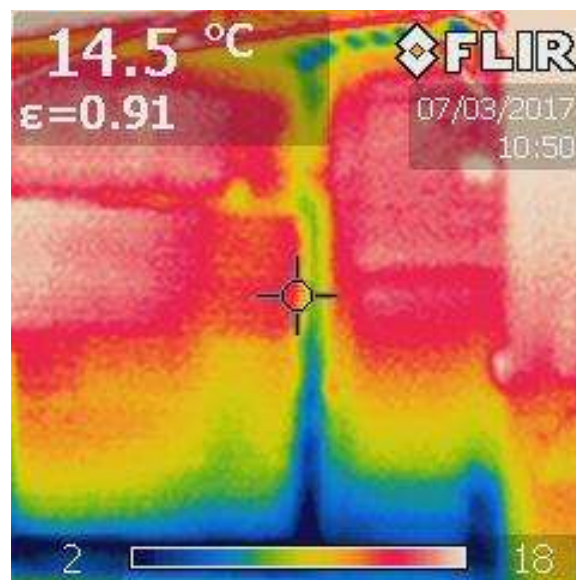
## 3.2 Hoone energiatarve

### 3.2.1 Termograafia

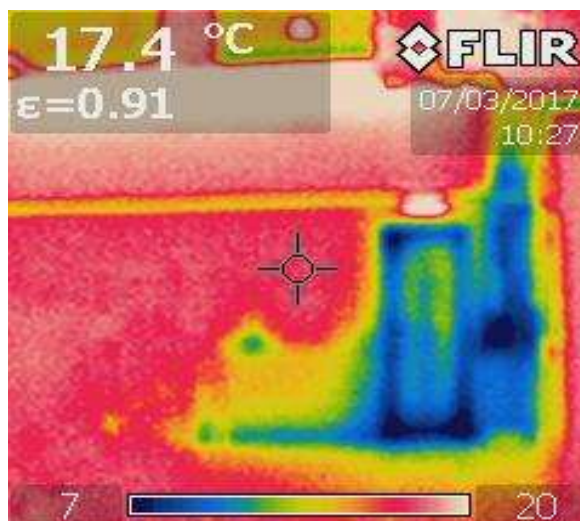
Termokaameraga vaadeldi kõiki piirdetarindeid. Tabelis toodi välja olulisemad ning kriitilisemad tarindite kohad. Niiskuse- ja hallitusohtlikumad kohad hoones on välisseinte ja siseseinte liitumiskohad, tootmis- ja laoruumi sokli serv, välimise ukse ümbrus tootmisruumis ning neid kujutavad ka joonised 3.15 – 3.17.



Joonis 3.15 Termopilt välisseina ja siseseina liitumiskoht riietusruumis



Joonis 3.16 Sokli serv laoruumis



Joonis 3.17 Välisukse ümbrus tootmisruumis

Tabelis on välja toodud termografeeritud tarindi pinna temperatuur, õhutemperatuurid hoone sees ja väljas ning temperatuuriindeks fRsi. Viimane on sisepinna temperatuuri, välistemperatuuri ja sisetemperatuuride omavaheline suhe ning määrab külmasillast põhjustatud sisepinna madalama temperatuuri kriitilisuse taseme.

Tabelist 3.2 saadud info põhjal näeme, et hallituse tekkimise oht on termokaamera fotodel nr IR12197, IR12225, IR12231, IR12244, IR12190 ning kondensaadi tekkimise oht on fotodel nr IR12197, IR12231, IR12244. Tabelis 3.2 väljatoodud fotod ja termopildid on kujutatud käesoleva uurimustöö lisan nr.

Tabel 3.2 Termografeerimine ja temperatuuriindeksid

| Termografeeri<br>mise koht          | Sisepinna<br>temperatu<br>ur | Sisemine<br>õhutemperat<br>uur | Välisõhu<br>temperatu<br>ur | $\Delta T$ | Tempe-<br>ratuuriinde<br>ks frsi | Termo-<br>kaame<br>ra foto<br>numbe<br>r |             |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|--|-------------|
| Välisseina<br>alumina serv          | 13                           | 20.1                           | -3.1                        | 23.<br>2   | 0.69                             | IR1220<br>9                              | DC122<br>08 |
| Välissein,<br>ukseümbrus            | 7                            | 20.1                           | -3.1                        | 23.<br>2   | 0.44                             | IR1219<br>7                              | DC121<br>95 |
| Kontoriploki<br>aknaga<br>välissein | 14.9                         | 21.9                           | -3.1                        | 25         | 0.72                             | IR1218<br>2                              | DC121<br>81 |
| Välisnurk laega                     | 17.5                         | 20.1                           | -3.1                        | 23.<br>2   | 0.89                             | IR1220<br>2                              | DC122<br>01 |
| Katuslagi<br>aknaga                 | 17.5                         | 20.1                           | -3.1                        | 23.<br>2   | 0.89                             | IR1220<br>4                              | DC122<br>03 |
| Sokkel                              | 11                           | 20.1                           | -3.1                        | 23.<br>2   | 0.61                             | IR1222<br>5                              | DC122<br>24 |
| Laoruumi<br>välissein               | 2                            | 19.1                           | -3.1                        | 22.<br>2   | 0.23                             | IR1223<br>1                              | DC122<br>32 |
| Riietusruumi<br>nurk                | 9                            | 22.1                           | -3.1                        | 25.<br>2   | 0.48                             | IR1224<br>4                              | DC122<br>43 |
| Aknaümbrus<br>kontoriplokis         | 12                           | 21.8                           | -3.1                        | 24.<br>9   | 0.61                             | IR1219<br>0                              | DC121<br>89 |
| Välisnurk<br>kontoriplokis          | 14                           | 21.9                           | -3.1                        | 25         | 0.68                             | IR1218<br>8                              | DC121<br>87 |
| Laoruumi<br>välissein               | 12                           | 19.1                           | -3.1                        | 22.<br>2   | 0.68                             | IR1222<br>9                              | DC122<br>28 |

### 3.2.2 Soojusenergia tegelik kulu

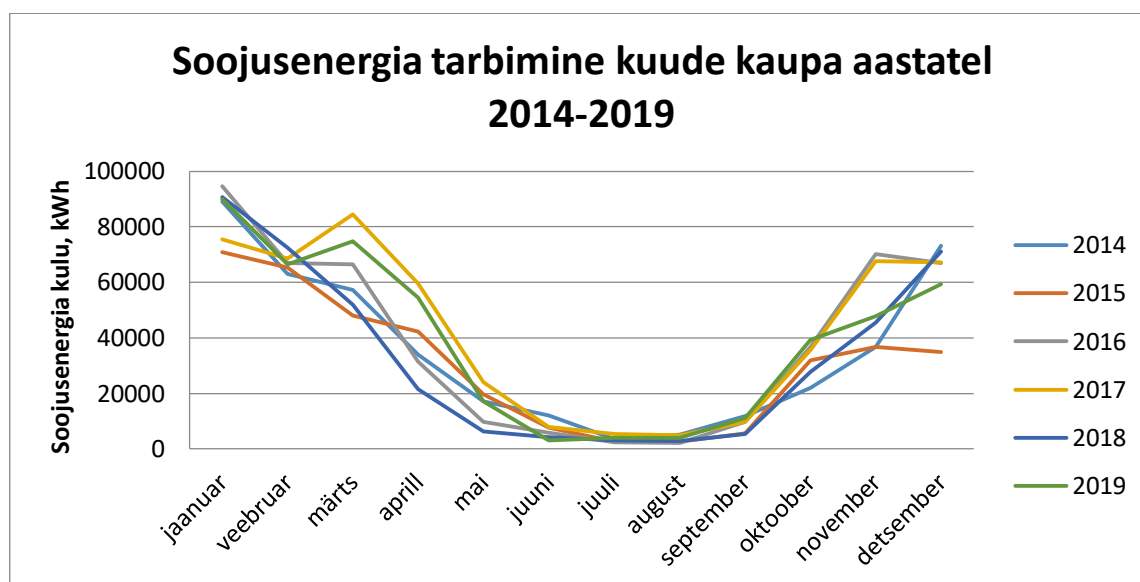
Soojusenergia andmete võrdluses tegelike hoone soojuskadudega võeti aluseks 2014. – 2019. aasta kulutused soojusenergiale, mis on välja toodud tabelis 3.3.

Jooniselt 3.18 on näha, et 2015. aasta soojusenergia tarbimine on väiksem kui aastatel 2014 või 2016. Põhjuseks on temperatuuride keskmiste õhutemperatuuride erinevused. Näiteks jaanuarikuu keskmised temperatuurid Tallinnas Riigi Ilmateenistuse andmetel [23] olid 2014. aastal  $-6,4^{\circ}\text{C}$ , 2015. aastal  $-0,8^{\circ}\text{C}$ , 2016. aastal  $-7,7^{\circ}\text{C}$  ning 2017. aastal  $-2,1^{\circ}\text{C}$ . Jaanuari mitmete aastate keskmine õhutemperatuur on  $-3,5^{\circ}\text{C}$ .

Tabel 3.3 Soojusenergia kulu aastatel 2014-2019

| Soojusenergiatarbimine, kWh |              |              |              |              |              |              |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Aasta                       | 2014         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         | 2019         |
| jaanuar                     | 89072        | 70771        | 94638        | 75346        | 90618        | 89956        |
| veebruar                    | 63102        | 65217        | 66845        | 68584        | 72559        | 66516        |
| märts                       | 57198        | 47956        | 66580        | 84370        | 52051        | 74766        |
| aprill                      | 34011        | 42246        | 31439        | 59513        | 21560        | 54571        |
| mai                         | 17105        | 19788        | 9855         | 23984        | 6311         | 17073        |
| juuni                       | 11991        | 7673         | 5870         | 7845         | 4167         | 3160         |
| juuli                       | 3522         | 2712         | 2376         | 5288         | 3102         | 3969         |
| august                      | 5177         | 2610         | 2250         | 4891         | 2746         | 4026         |
| september                   | 11771        | 5705         | 9670         | 9742         | 5374         | 11243        |
| oktoober                    | 21997        | 31893        | 36820        | 35500        | 27677        | 39232        |
| november                    | 36827        | 36776        | 70185        | 67649        | 45602        | 47696        |
| detsember                   | 73189        | 34938        | 66968        | 67110        | 71020        | 59410        |
| <b>Kuu keskmine, kWh</b>    | <b>35413</b> | <b>30691</b> | <b>38625</b> | <b>42485</b> | <b>33566</b> | <b>39302</b> |
| <b>Aasta kokku, MWh</b>     | <b>425.0</b> | <b>368.3</b> | <b>463.5</b> | <b>509.8</b> | <b>402.8</b> | <b>471.6</b> |

Tabelis 3.4 on väljatoodud tootmishoone kulutused soojusenergiele ning kõrvaltulbas on kuvatud selle kuu keskmine õhutemperatuur, mis on saadud Riigi Ilmateenistuse veebilehelt [23].



Joonis 3.18 Soojusenergia kulu aastatel 2014-2019

Tabel 3.4 Soojusenergia kulu ja kuu keskmine õhutemperatuur

| Aasta     | 2014  |         | 2015  |         | 2016  |          |
|-----------|-------|---------|-------|---------|-------|----------|
|           | kWh   | Temp.   | kWh   | Temp.   | kWh   | Temp.    |
| jaanuar   | 89072 | -6,4°C  | 70771 | -0,8°C  | 94638 | -7,7°C   |
| veebuar   | 63102 | -0,3°C  | 65217 | -0,1°C  | 66845 | +0,7°C   |
| märts     | 57198 | +2,1°C  | 47956 | +2,5°C  | 66580 | +0,2°C   |
| aprill    | 34011 | +5,8°C  | 42246 | +5,2°C  | 31439 | +5,3°C   |
| mai       | 17105 | +11,1°C | 19788 | +9,8°C  | 9855  | +13,1°C  |
| juuni     | 11991 | +13,2°C | 7673  | +13,9°C | 5870  | +15,5°C  |
| juuli     | 3522  | +19,6°C | 2712  | +16,1°C | 2376  | +17,8°C  |
| august    | 5177  | +17,5°C | 2610  | +17,1°C | 2250  | +16,3°C  |
| september | 11771 | +12,9°C | 5705  | +13,3°C | 9670  | +13,2°C  |
| oktoober  | 21997 | +6,5°C  | 31893 | +5,9°C  | 36820 | +5,0°C   |
| november  | 36827 | +2,3°C  | 36776 | +4,9°C  | 70185 | 0,0°C    |
| detsember | 73189 | -0,2°C  | 34938 | +3,3°C  | 66968 | +0,8°C   |
| Aasta     | 2017  |         | 2018  |         | 2019  |          |
|           | kWh   | Temp.   | kWh   | Temp.   | kWh   | Temp.    |
| jaanuar   | 75346 | -2,1°C  | 90618 | -1,5°C  | 90618 | -4,3 °C  |
| veebuar   | 68584 | -2,5°C  | 72559 | -6,9°C  | 72559 | +0,2 °C  |
| märts     | 84370 | +1,1°C  | 52051 | -3,3°C  | 52051 | +1,1 °C  |
| aprill    | 59513 | +3,0°C  | 21560 | +5,7°C  | 21560 | +6,8 °C  |
| mai       | 23984 | +9,3°C  | 6311  | +14,4°C | 6311  | +10,6 °C |
| juuni     | 7845  | +13,4°C | 4167  | +15°C   | 4167  | +17,6 °C |
| juuli     | 5288  | +15,7°C | 3102  | +19,9°C | 3102  | +16,4 °C |
| august    | 4891  | +16,5°C | 2746  | +18,3°C | 2746  | +16,6 °C |
| september | 9742  | +12,4°C | 5374  | +14,2°C | 5374  | +12,3 °C |
| oktoober  | 35500 | +6,2°C  | 27677 | +7,8°C  | 27677 | +7,5 °C  |
| november  | 67649 | +3,3°C  | 45602 | +3,5°C  | 45602 | +3,4 °C  |
| detsember | 67110 | +1,3°C  | 71020 | -1,4°C  | 71020 | +2,6 °C  |

### 3.2.3 Tasakaalutemperatuur

Hoone tasakaalutemperatuuri leidmiseks kasutasin vabasoojusega kaasneva temperatuuri muudu valemiga 3.1:

$$\Delta t_s = \frac{\Phi_{vabasoojus}}{H}, \quad (3.1)$$

kus  $\Phi_{vabasoojus}$  on hoones energiabilansis osalev vabasoojus  $W$ ;

$H$  on hoone kütte erisoojuskoormus  $W/^\circ C$ .

Tasakaalutemperatuuri arvutamiseks kasutasin valemit 3.2:

$$t_0 = t_s - \Delta t_s, \quad (3.2)$$

kus  $t_s$  on arvutuslik siseõhu temperatuur  $^\circ C$ ;

$\Delta t_s$  on vabasoojusega kaasnev siseõhu temperatuuri muut  $^\circ C$ .

Sisekliima monitoorimise käigus saadi, et hoone kogu keskmine temperatuur on  $19,6^\circ C$ , millele vastab interpoleeritud kraadpäevade arv  $4124^\circ Cd$ , mida loetakse valemi järgi normaalaasta kraadpäevade arvuks vabasoojusi arvestamata. Hoone tegelik soojusenergiakasutus koos vabasoojustega aastal 2017 oli 510 MWh. Arvestades juurde vabasoojuskoormuse saame hoone soojusenergiakasutuse vabasoojusi arvestamata, milleks tuleb väärtus 576 MWh. Tulemuseks saame vabasoojustega kraadpäevade arvu 3160, millele vastab interpoleerimise teel leitud kraadpäevade arv  $3160^\circ Cd$ .

Tabeli 3.5 põhjal näeme, et kraadpäevadega korrigeeritud soojustarbimine erineb aastate lõikes maksimaalselt 20%. Hoone tasakaalu temperatuur on  $14,7^\circ C$ .


Tabel 3.5 Hoone energiatarbimine aastatel 2014–2019

| Nimetus                                      | Ühik                   | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  |
|--|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Soojusenergia tarbimine kokku                | MWH                    | 425   | 368   | 463   | 510   | 403   | 472   |
|  | EUR                    | 19350 | 15340 | 13818 | 15221 | 14600 | 17632 |
| Elektrienergia                               | MWH                    | 517   | 487   | 422   | 425   | 536   | 635   |
|  | EUR                    | 53201 | 49351 | 43309 | 43617 | 55467 | 56096 |
| Tarbevesi                                    | m <sup>3</sup>         | 1812  | 1213  | 1063  | 1069  | 1336  | 1708  |
|  | EUR                    | 2211  | 1600  | 1424  | 1432  | 1862  | 2288  |
| Vee soojendamine                             | MWH                    | 49    | 31    | 27    | 27    | 34    | 41    |
|  | Eur                    | 2231  | 1292  | 806   | 806   | 1232  | 1532  |
| Tegeliku aasta kraadpäevade arv              | $^\circ Cd$            | 3192  | 2734  | 3160  | 3167  | 3122  | 2891  |
| Normaalaasta kraadpäevade arv                | $^\circ Cd$            | 3487  |       |       |       |       |       |
| Kraadpäevadega korrigeeritud soojustarbimine | MWH                    | 460   | 461   | 508   | 559   | 446   | 561   |
| Kulutused soojusele                          | MWH                    | 376   | 337   | 436   | 483   | 369   | 431   |
| Eritarbimine köetava pinna kohta             | kWh/(m <sup>2</sup> a) | 90.9  | 91.1  | 100.5 | 110.5 | 88.2  | 110.9 |



### **3.2.4 IDA ICE hoone mudel**

IDA ICE programmi kalibreeriti seni, kuni saadi, et soojustarbimine jääks keskmise kraadpäevadega korrigeeritud hoone soojustarbimisega sarnaseks. Kuna piirdetarindeid, inimeste arvu, ventilatsiooni õhuhulkasid ja hoone sektsioonide kasutusprofiile ei saanud muuta, tehti põhiline korrigeerimine infiltratsiooni ja külmasildade väärtustes. Joonisel 3.18 on väljatrükk hoone energiatarbimisest. Kasutusprofiilid, piirdetarindid, ventilatsiooni õhuhulgad on reaalsed.

|   |                                    |                          |                                       |
|---|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| <br><b>Delivered Energy Report</b> |                                    |                          |                                       |
| <b>Project</b>  |                                    | <b>Building</b>          |                                       |
| Customer  |                                    | Model floor area         | 5263.1 m <sup>2</sup>                 |
| Created by  | Alar Ivanson                       | Model volume             | 40998.6 m <sup>3</sup>                |
| Location  | Tallin-Harku_260380 (ASHRAE 2013)1 | Model ground area        | 4620.9 m <sup>2</sup>                 |
| Climate file  | Est TRY                            | Model envelope area      | 11657.6 m <sup>2</sup>                |
| Case  | Stora_alar14.04.20 tavaline        | Window/Envelope          | 2.1 %                                 |
| Simulated   | 14-Apr-20 21:54:30                 | Average U-value          | 0.2252 W/(m <sup>2</sup> K)           |
|   |                                    | Envelope area per Volume | 0.2843 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |

### Building Comfort Reference

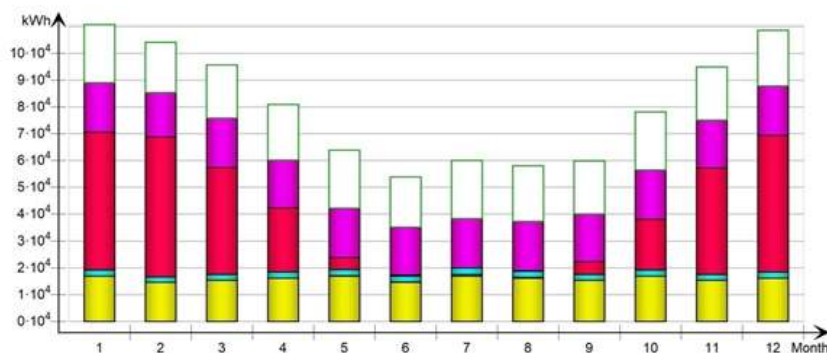
|  |      |
|--|------|
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone   | 14 % |
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone | 3 %  |
| Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction              | 18 % |

### Delivered Energy Overview

|                                 | Purchased energy |                    | Peak demand |
|---------------------------------|------------------|--------------------|-------------|
|                                 | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> | kW          |
| Lighting, facility              | 190913           | 36.3               | 43.06       |
| Electric cooling                | 1163             | 0.2                | 1.79        |
| HVAC aux                        | 27104            | 5.2                | 5.91        |
| <b>Total, Facility electric</b> | <b>219180</b>    | <b>41.6</b>        |             |
| Fuel heating                    | 286885           | 54.5               | 150.7       |
| Domestic hot water              | 216595           | 41.1               | 24.73       |
| <b>Total, Facility fuel*</b>    | <b>503480</b>    | <b>95.7</b>        |             |
| <b>Total</b>                    | <b>722660</b>    | <b>137.3</b>       |             |
| Equipment, tenant               | 245305           | 46.6               | 74.74       |
| <b>Total, Tenant electric</b>   | <b>245305</b>    | <b>46.6</b>        |             |
| <b>Grand total</b>              | <b>967965</b>    | <b>183.9</b>       |             |

\*heating value

### Monthly Purchased/Sold Energy



| Month        | Facility electric           |                           |                   | Facility fuel (heating value) |                             | Tenant electric            |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|              | Lighting, facility<br>(kWh) | Electric cooling<br>(kWh) | HVAC aux<br>(kWh) | Fuel heating<br>(kWh)         | Domestic hot water<br>(kWh) | Equipment, tenant<br>(kWh) |
| 1            | 16824.0                     | 0.0                       | 2306.0            | 51409.0                       | 18396.0                     | 21617.0                    |
| 2            | 14629.0                     | 0.0                       | 2045.0            | 52210.0                       | 16615.0                     | 18797.0                    |
| 3            | 15361.0                     | 0.0                       | 2226.0            | 39893.0                       | 18396.0                     | 19737.0                    |
| 4            | 16092.0                     | 0.2                       | 2238.0            | 23886.0                       | 17802.0                     | 20677.0                    |
| 5            | 16824.0                     | 86.8                      | 2358.9            | 4478.7                        | 18396.0                     | 21618.0                    |
| 6            | 14629.0                     | 125.5                     | 2195.0            | 469.7                         | 17802.0                     | 18797.0                    |
| 7            | 16824.0                     | 590.1                     | 2395.0            | 60.5                          | 18396.0                     | 21617.0                    |
| 8            | 16092.0                     | 343.9                     | 2339.0            | 128.1                         | 18396.0                     | 20677.0                    |
| 9            | 15361.0                     | 16.8                      | 2222.9            | 4704.8                        | 17801.8                     | 19737.0                    |
| 10           | 16824.0                     | 0.0                       | 2331.0            | 18854.0                       | 18396.0                     | 21617.0                    |
| 11           | 15361.0                     | 0.0                       | 2183.0            | 39837.0                       | 17802.0                     | 19737.0                    |
| 12           | 16092.0                     | 0.0                       | 2264.0            | 50956.0                       | 18396.0                     | 20677.0                    |
| <b>Total</b> | <b>190913.0</b>             | <b>1163.3</b>             | <b>27103.8</b>    | <b>286884.8</b>               | <b>216594.8</b>             | <b>245305.0</b>            |

IDA Indoor Climate and Energy

Version: 4.801

License: IDA40:ICE40XHIL:ED136/CBK8A (educational license)

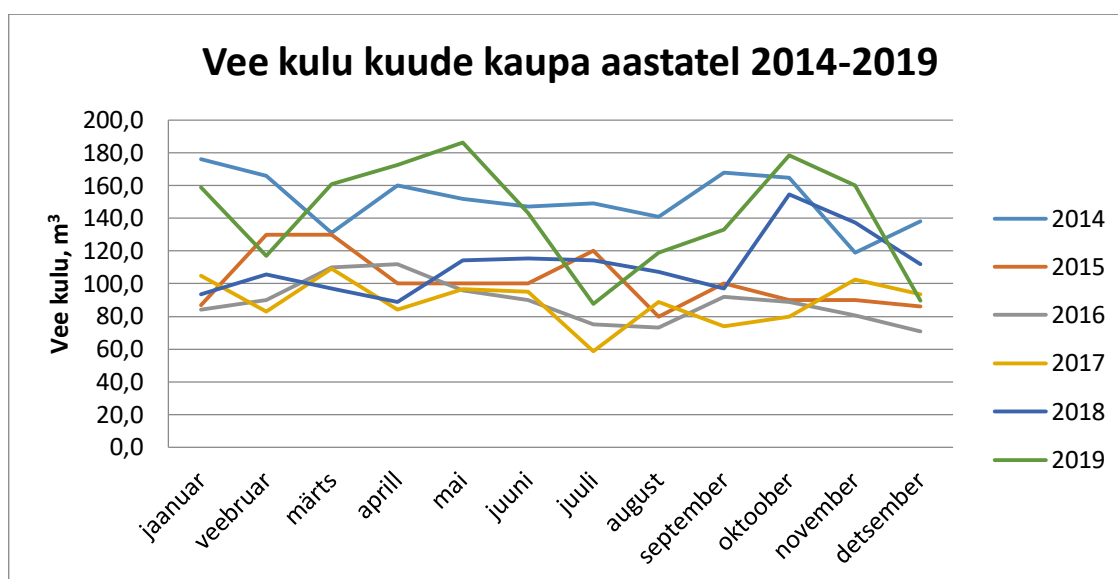
Joonis 3.18 Tootmishoone energiatarbimine IDA ICE simulatsiooniprogrammis

### 3.2.5 Vee kulu

Vee kulu võrdlustabelisse (tabel 3.6) Stora Enso tootmishoone kohta lisasin 2014. kuni 2019. aasta kulud, samade andmete põhjal koostasid ka graafiku (joonis 3.20). Vee kulu on iga aastaga vähenenud. Kui 2014. aasta keskmine igakuine vee kulu oli 151 m<sup>3</sup>, siis 2015. aastal oli selleks kuluks 101 m<sup>3</sup> ning 2016. ja 2017. aastatel oli igakuine keskmine veekulu 89 m<sup>3</sup> kandis.

Tabel 3.6 Vee kulu aastatel 2014-2019

| Vesi, m <sup>3</sup> |       |       |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Aasta                | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  |
| jaanuar              | 176.0 | 87.0  | 84.0  | 104.8 | 93.4  | 159.0 |
| veebruar             | 166.0 | 130.0 | 90.0  | 82.9  | 105.6 | 117.2 |
| märts                | 131.0 | 130.0 | 110.0 | 109.1 | 97.1  | 161.0 |
| aprill               | 160.0 | 100.0 | 112.0 | 84.0  | 88.8  | 172.5 |
| mai                  | 152.0 | 100.0 | 96.0  | 96.6  | 114.2 | 186.5 |
| juuni                | 147.0 | 100.0 | 90.0  | 95.0  | 115.3 | 143.2 |
| juuli                | 149.0 | 120.0 | 75.0  | 58.6  | 114.1 | 87.5  |
| august               | 141.0 | 80.0  | 73.0  | 88.7  | 107.2 | 119.0 |
| september            | 168.0 | 100.0 | 92.0  | 74.1  | 97.0  | 133.0 |
| oktoober             | 165.0 | 90.0  | 89.0  | 79.6  | 154.7 | 178.5 |
| november             | 119.0 | 90.0  | 80.7  | 102.6 | 137.3 | 160.2 |
| detsember            | 138.0 | 86.0  | 70.9  | 93.5  | 111.8 | 89.8  |
| Kuu keskmine         | 151.0 | 101.1 | 88.6  | 89.1  | 111.4 | 142.3 |
| Aasta kokku          | 1812  | 1213  | 1063  | 1069  | 1337  | 1707  |



Joonis 3.19 Veekulu aastatel 2014-2019

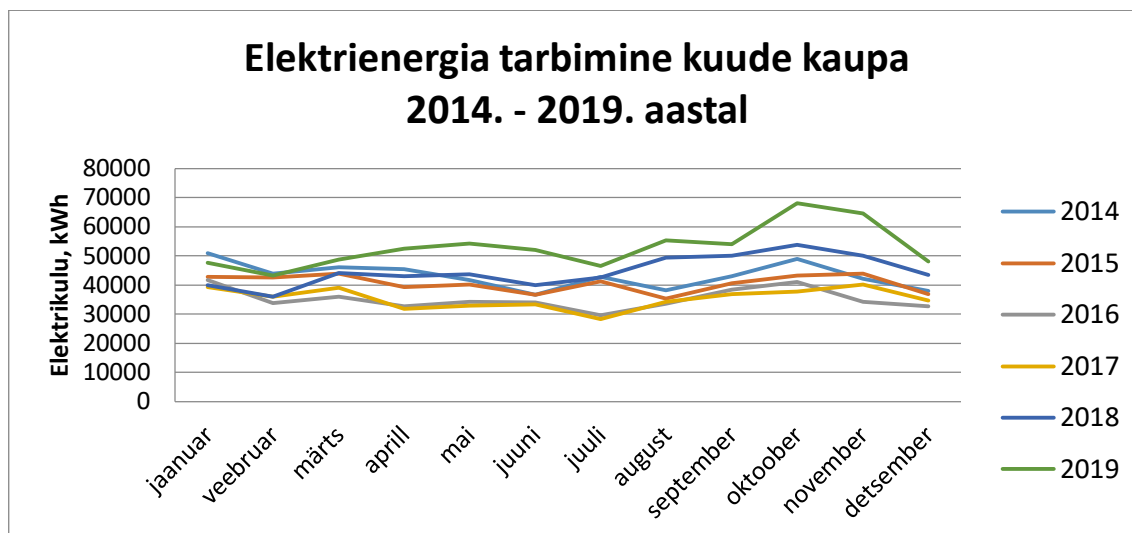
### 3.2.6 Elektrienergia tarbimine

Elektrienergia tarbimises võrreldi samuti aastaid 2014 -2019. Elektrienergia tarbimise tabelis 3.7 ja graafikus (joonis 3.21) on samuti märgata tarbimise vähenemise tendentsi igal aastal. Elektrienergia tarbimist võib seletada masinapargi uuendamisega ökonoomsemate masinate vastu. Samuti mängib rolli inimeste teadlikumaks muutumine elektrienergia säästmise kohapealt. Kuna tegemist on tööstushoonega, siis on elektrienergia tarbimine siiski väga tihedalt seotud tootmismahitudega: mida vähem tootmist, seda väiksem elektrienergia kulu.

Tabel 3.7 Elektrienergia tarbimine aastatel 2014-2019

| Aasta             | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| jaanuar           | 50902 | 42752 | 41673 | 39242 | 39851 | 47641 |
| veebruar          | 43864 | 42478 | 33878 | 36055 | 35942 | 43193 |
| märts             | 46013 | 43968 | 36104 | 39064 | 44026 | 48619 |
| aprill            | 45361 | 39384 | 32792 | 31805 | 43006 | 52479 |
| mai               | 41619 | 40252 | 34257 | 32953 | 43782 | 54274 |
| juuni             | 36597 | 36658 | 33991 | 33413 | 39894 | 52044 |
| juuli             | 42747 | 41190 | 29524 | 28369 | 42620 | 46585 |
| august            | 38250 | 35356 | 33688 | 34221 | 49441 | 55217 |
| september         | 42961 | 40582 | 38313 | 36914 | 50004 | 54041 |
| oktoober          | 48880 | 43262 | 40983 | 37770 | 53741 | 67966 |
| november          | 42115 | 43937 | 34338 | 40145 | 49944 | 64541 |
| detsember         | 38043 | 36850 | 32742 | 34746 | 43467 | 48011 |
| Kuu keskmine, kWh | 43113 | 40556 | 35190 | 35391 | 44643 | 52884 |
| Aastakokku, MWh   | 517.4 | 486.7 | 422.3 | 424.7 | 535.7 | 634.6 |

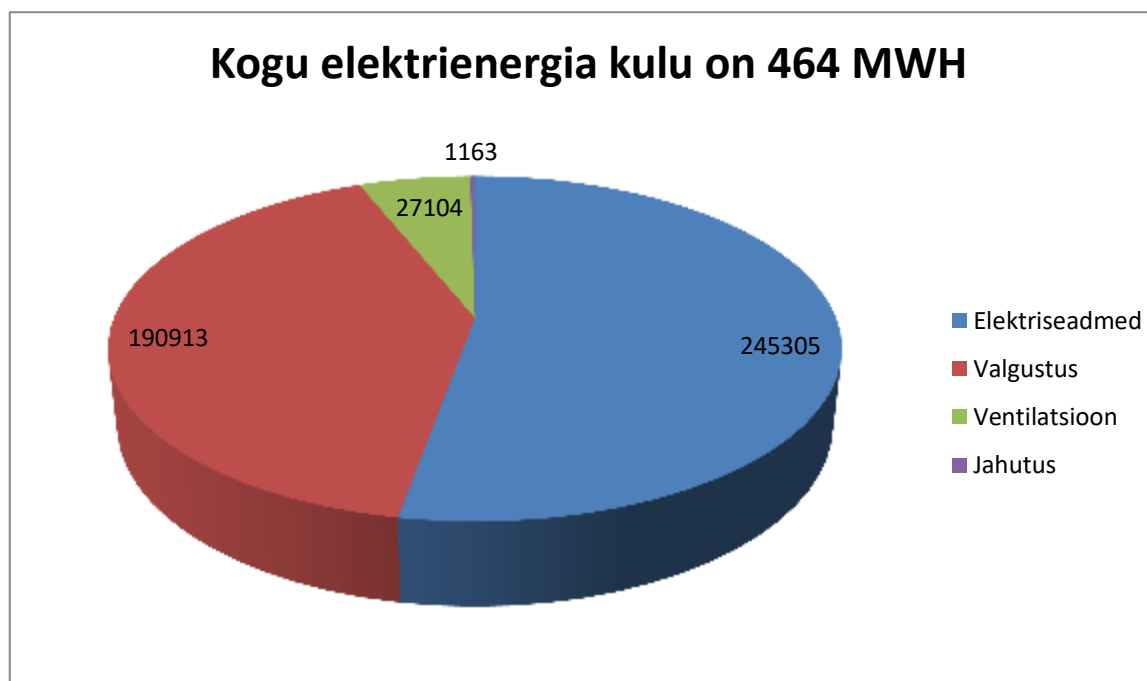
Aastal 2018 ja 2019 soetati hoonesse kaks uut tootmismasinat, mis tõstsid toodangu mahtu, mis omakorda mõjutas elektrienergia tarbimist.



Joonis 3.20 Elektrienergia tarbimine aastatel 2014–2019

### 3.2.7 Hoone elektribilanss

Hoone elektribilansi kaudu saame ülevaate, kui palju elektrienergiat kulub teatud tarbijate jaoks. Elektrienergia kulude jaotus näeb joonisel 3.22.



Joonis 3.21 Elektrienergia kulu jaotus

Elektribilansist saab välja lugeda (joonis 3.22), et suurima energiatarbijate grupi moodustavad elektriseadmed ja masinad, mis on ka mõistetav, kuna tegemist on

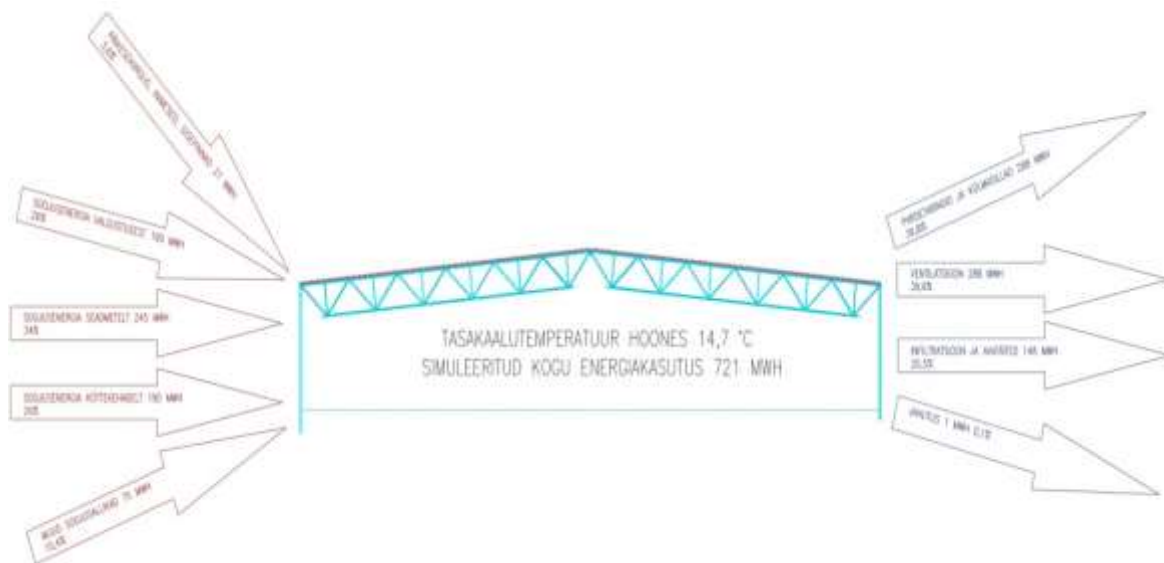
tööstushoonega. Elektrienergia tarbimiselt ei jää palju maha ka hoone valgustusele kuluv energia hulk. Õhuvahetusele kuluv elektrienergia on hoone elektribilansis kolmandal kohal ning elektrienergia kulu põrandakütte tarvis on juba kogu hoone elektrienergia kuluga võrreldes marginaalne.

### 3.2.8 Hoone energiabilanss

Hoone energiabilansi tulemused on esitatud tabelis 3.8 ja graafiline jaotus joonisel 3.23. Hoone soojuskadudest moodustavad suurima osa piirdetarindid koos külmasildadega ning ventilatsiooni õhuvahetuse kaudu väljuv soojus. Mõlematele jääb ca 40% osakaal hoone soojuskadudest. Infiltratsiooni ja avatäidete kaudu, lahkub ligi 20% soojusenergiast. Tootmiseseadmed tarbivad aastas 245 mWh elektrienergiat. Maagaasi ostetakse hoonesse normaalaastal 503 mWh, millest 190 mWh läheb küttekehadesse, 217 mWh vee soojendamiseks ning ülejäänud ventilatsiooni kaloifeeride tarvis. Päikesekiirgusest, inimestelt ja muudelt vabasoojust eraldavatelt kehadel tuleb aastas ligi 21 mWh. Valgustus võtab praeguses olukorras 190 mWh. Kogu elektrienergia, mis ühe aasta jooksul hoonesse ostetakse on ca 464 mWh.

Tabel 3.8 Hoone energiabilanss

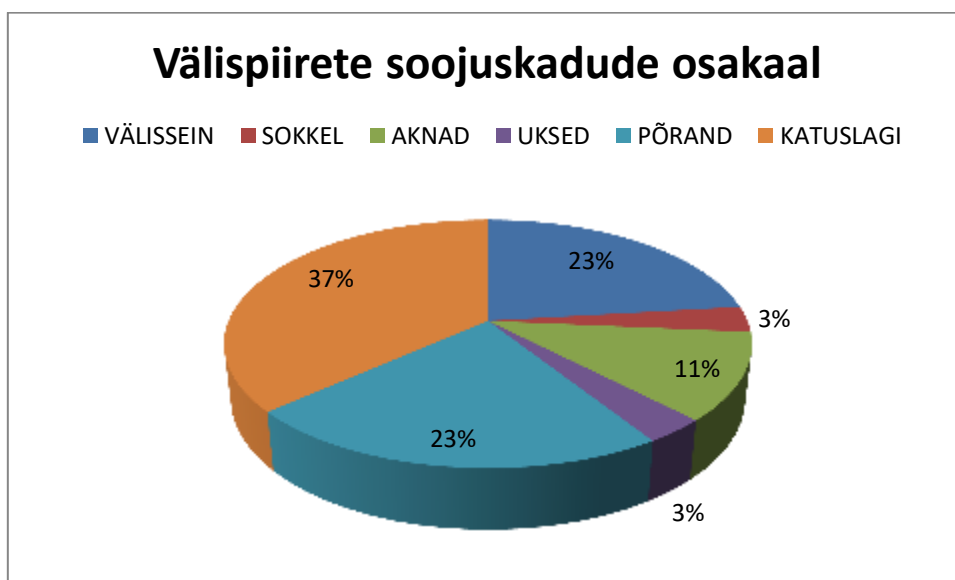
| Ühik | Piirdetarindid ja külmasillad | Jahutus - seadmed | Ventilatsioon         | Infiltratsioon ja avatäited |           |               |                       |
|------|-------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------|---------------|-----------------------|
| mWh  | -288                          | -1                | -286                  | -148                        |           |               |                       |
| %    | 39.8                          | 0.1               | 39.6                  | 20.5                        |           |               |                       |
| Ühik | Sise-pinnad ja vaheseinad     | Päikesekiirgus    | Vabasoojus inimestelt | Seadmed                     | Valgustus | Kütte - kehad | Muud soojus - allikad |
| mWh  | 0.156                         | 7                 | 14                    | 245                         | 190       | 190           | 75                    |
| %    | 0.0                           | 1.0               | 1.9                   | 34.0                        | 26.3      | 26.3          | 10.4                  |



Joonis 3.22 Hoone energiabilansi graafiline jaotus

### 3.2.9 Hoone soojuskadude arvutus

Hoone soojuskadude arvutustabel [6] on lisa 2. Hoone soojuskaod on arvatud - 23°C välisõhu temperatuuri juures ning arvutustest selgub, et antud välisõhu temperatuuri korral on vajalik hoone küttevõimsus 224 kW. Välispiirete soojuskadude osakaal kujutatud protsentuaalselt on näha joonisel 3.24.



Joonis 3.23 Välispiirete soojuskadude osakaal kujutatud protsentuaalselt

Soojuskadude leidmisel kasutati valemit 3.2:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}, \quad (3.3)$$

kus  $U$  on piirdetarindi soojusläbivus  $W/(m^2K)$ ;

$R_{tot}$  on piirdetarindi kogusoojustakistus  $(m^2K)/W$ . [14]

Üksik  $R$  (iga materjali arvutuslik soojustakistus) saadi valemiga 3.3:

$$R = \frac{d}{\lambda_u}, \quad (m^2K)/W, \quad (3.4)$$

kus  $d$  on materjalikihi paksus  $m$ ;

$\lambda$  on materjali soojusjuhtivus. [14]

Soojuskadu läbi konkreetse piirdekonstruktsiooni leiti valemiga 3.5:

$$\Phi_{pk} = A \cdot U \cdot (t_s - t_{v.a.}) \cdot n_1 \cdot \beta, \quad W, \quad (3.5)$$

kus  $A$  on piirde pindala,  $m$ ;

$U$  piirde soojusläbikande tegur,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$t_s$  arvutuslik sisetemperatuur,  $^{\circ}C$ ;

$t_{v.a}$  arvutuslik välistemperatuur,  $^{\circ}C$ .

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

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

Arvutuste põhjal on tehtud graafik, mille abil on näha soojuskadude jaotumine läbi piirdetarindite. Suurim soojuskadu on läbi katuslae, moodustades 37% kogu piirdetarindite soojuskadudest. Võrdselt 23% soojusest lahkub välisseinte ja põranda kaudu. Akende osakaal piirdetarindite soojuskadudes on 11% ning sokli ja uste osakaal on väikseim, kuna nende tarindite pindala on ka väikseim.



### 3.2.10 Energiatõhususarv

Simulatsiooniprogrammis IDA ICE saadud andmete põhjal hoone standardkasutusel leiti hoone energiatõhususarv ETA. ETA leiti iga hoone osa kohta eraldi ning seejärel leiti hoone kaalutud keskmine. Energiatõhususarvu teeb kõrgeks võrdlemisi suur elektrienergia tarbimine, mille kaalumisteguriks arvutustes on kaks. Kuna suurem osa elektrist kulub tootmiseks, siis seda kulu me vähendada ei saa kui me tahame, et hoones tegutsev ettevõtte oleks jätkusuutlik ja suudaks ennast majandada.

Tabel 3.9 Energiatõhususarv

|  | Pindaala | ETA |
|--|----------|-----|
| Kontorihoone   | 655      | 265 |
| Laohoone   | 2295     | 232 |
| Tööstushoone   | 2313     | 233 |
| Kaalutud keskmine  |          | 237 |
| <b>Hoone energiaerikasutuse arvu klass =&gt; F [222≤ETA≤271 kWh/(m<sup>2</sup>·a)]</b> |          |     |

Hoone kaalutud keskmine energiatõhususarv on 237 kWh/(m<sup>2</sup>·a), mis paigutab hoone energiakasutuse poolest klassi F. Lisas 1 ülevaade hoone ETA arvutusest.

### 3.2.11 Kaalutud energiaerikasutus

Kaalutud keskmine energiakasutus on olemasoleva hoone puhul määravaks ja põhiliseks energiakasutuse iseloomustajaks. KEKi arvutamisel lähtuti aasta 2014 – 2019 keskmistest tarbitud soojus- ja elektrienergia kogustest.

Tabel 3.10 Kaalutud energiaerikasutus

|  |                       |     |
|--|-----------------------|-----|
| Arvutatud soojusvajadus kütteks normaalaastal  | MWH                   | 481 |
| Hoone aastane kaalutud energiaerikasutus (KEK)   | kwh/m <sup>2</sup> *a | 293 |
| <b>Hoone kaalutud energiaerikasutuse klass =&gt; F [271≤KEK≤330 kWh/(m<sup>2</sup>·a)]</b> |                       |     |

Sarnaselt ETAGA saame ka KEKi arvutuse puhul hoone keskmiseks energiakasutuse klassiks F.

## **4. PARENDUSMEETMED**

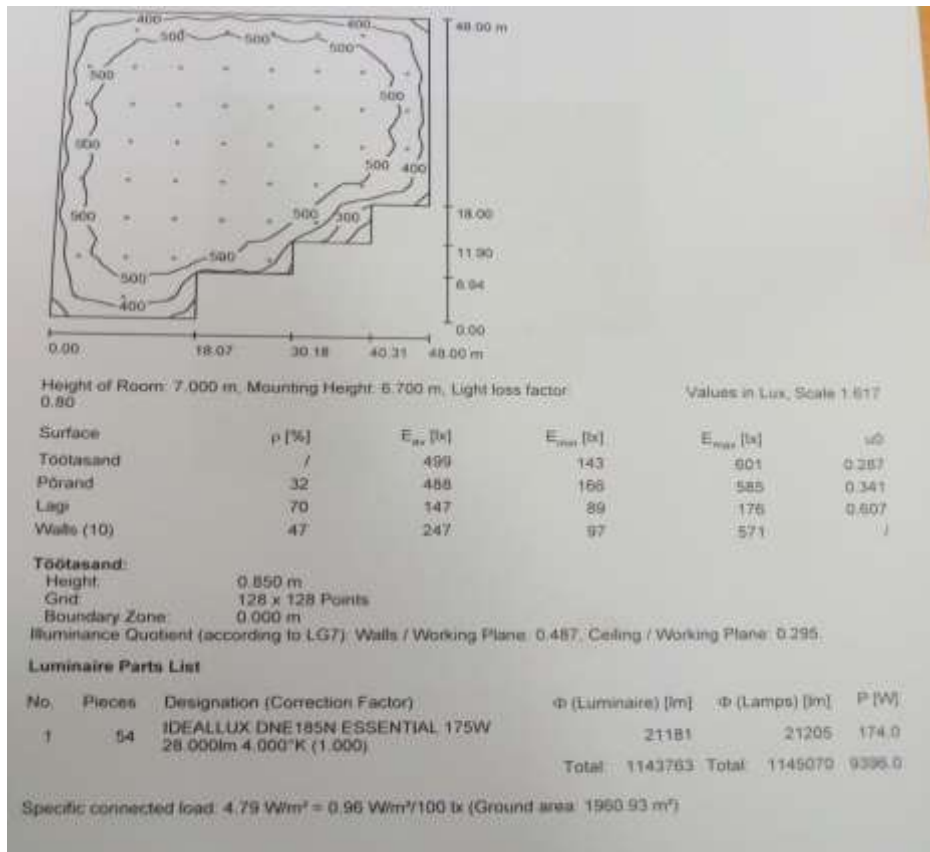
### **4.1 Pakett I**

#### **Olemasoleva valgustuse asendamine LED-valgustitega**

Parendusettepanek nr 1 on tootmis- ja laoruumide olemasolevate halogeenvalgustite asendamine LED-valgustitega. LED-valgustid tarbivad vähem elektrienergiat ja eraldavad vähem soojust võrreldes halogeenvalgustitega. Käesoleval hetkel ei ole LED-tehnoloogiast energiasäästlikumat valgustitehnoloogiat saavutamaks samaväärset valgustustihedust.

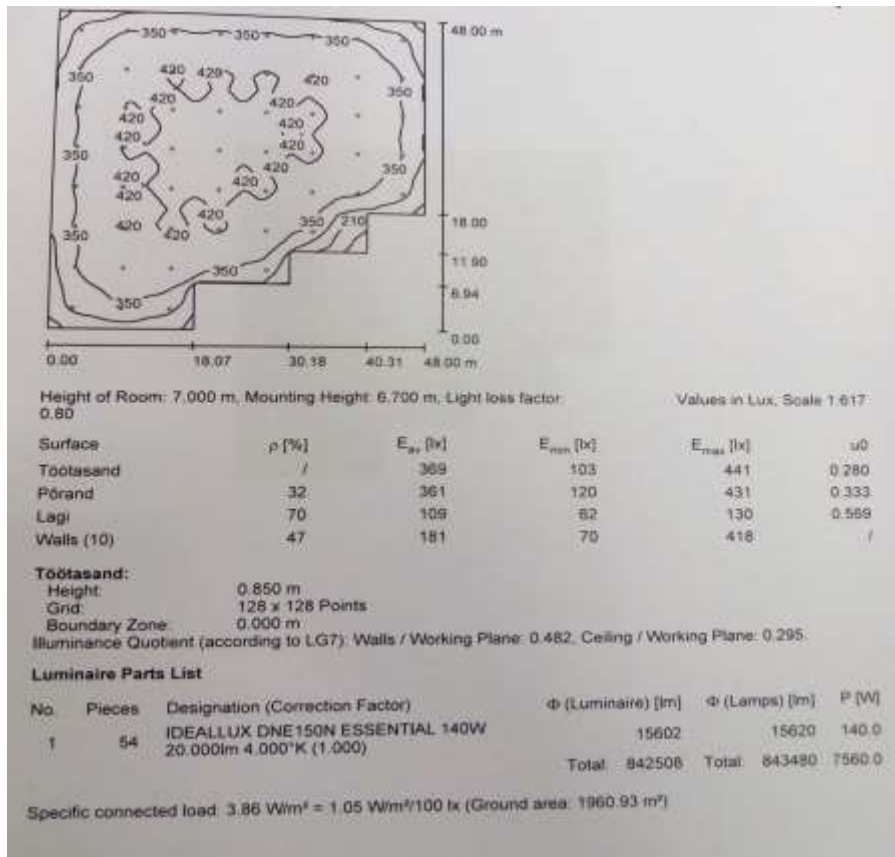
Elektrienergia säästmise eesmärgil ja valgustiheduse parandamise eesmärgil oleks mõistlik vahetada hoone tootmis-, lao- ja tehniliste ruumide valgustus säästlike LED-valgustite vastu.

Tööstusesse sobivatest samaväärse valgusvooga (32 500 lm) LED-valgustitest oleks sobilik alternatiiv näiteks IDEALLUX DNE 185N ESSENTIAL 175 W lambid. Nimetatud lampide valgusvoog on 28 000 lm ning valguse värv 4 000 K. Võrdluseks olemasolevate Philips Master HPI Plus pirnide valguse värvus on 4 500 K, mis ei erine valguse tooni poolest olulisel määral soovituslike lampidega. Nimetatud LED-valgustitega oleks tööpiirkondades tagatud vähemalt 500luksine valgustustihedus ning tootmisruumi äärealadel vähemalt 300luksine valgustustihedus. Valgustustiheduse jaotus ruumis on väljatoodud joonisel 4.3.



Joonis 4.1 Valgustustiheduse jaotus ruumis valgustiga IDEALLUX DNE 185N ESSENTIAL


Veidi väiksema võimsusega valgustitega võib osade töökohtade ning samuti ka äärealade valgustustihedus jääda alla lubatud piirmäära. Näiteks IDEALLUX DNE 150N ESSENTIAL valgustite võimsus on 140 W ja valgusvoog on 20 000 lm. Valguse värvus on samuti 4 000 K. Nende valgustitega jääb ruumi keskel valgustustihedus 420 lx juurde ning ruumi äärealadel 200 lx. Vajalik valgustustihedus tootmisruumi töökohtade juures on 500 lx ning üldvalgus vähemalt 300 lx. Lampide valgustiheduse jaotus ruumis on nähtav joonisel (**Tõrge! Ei leia viiteallikat.**).



Joonis 4.2 Valgustustiheduse jaotus ruumis valgustiga IDEALLUX DNE 150N ESSENTIAL

Vahetades hoones välja kõik 96 Arcluce 5622 valgustit IDEALLUX DNE 185N ESSENTIAL LED-valgustite vastu, kuluks igas kalendrikuus tootmis- ja laoruumi valgustamise peale arvutuste järgi 6 283 kW/h elektrienergiat, mis on rahalises vääringus ca 482 eurot ilma käibemaksuta. Seega oleks kokkuhoid ühes kalendrikuus 731 eurot ilma käibemaksuta, sealjuures arvestamata hoone kütmisele langevat lisakoormust. Elektri hinnana arvestatud Statistikaameti veebilehelt saadud 2019 aasta keskmist kilovatt-tunni hinda suurtarbijale. [17]

Parendusmeede simuleeriti IDA ICE simulatsiooniprogrammis, mille tulemused on nähtavad joonisel (Joonis 4.5).

|   |   |                                |                                       |
|---|---|--------------------------------|---------------------------------------|
|  |   | <b>Delivered Energy Report</b> |                                       |
| <b>Project</b>  |   | <b>Building</b>                |                                       |
| Customer  |   | Model floor area               | 5263.1 m <sup>2</sup>                 |
| Created by  | Alar Ivanson                                | Model volume                   | 40998.6 m <sup>3</sup>                |
| Location  | Tallin-Harku_260380 (ASHRAE 2013)1          | Model ground area              | 4620.9 m <sup>2</sup>                 |
| Climate file  | Est TRY                                     | Model envelope area            | 11657.6 m <sup>2</sup>                |
| Case  | Stora_alar14.04.20 tavaline + led valgustus | Window/Envelope                | 2.1 %                                 |
| Simulated   | 14-Apr-20 23:50:37                          | Average U-value                | 0.2252 W/(m <sup>2</sup> K)           |
|   |   | Envelope area per Volume       | 0.2843 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |

### Building Comfort Reference

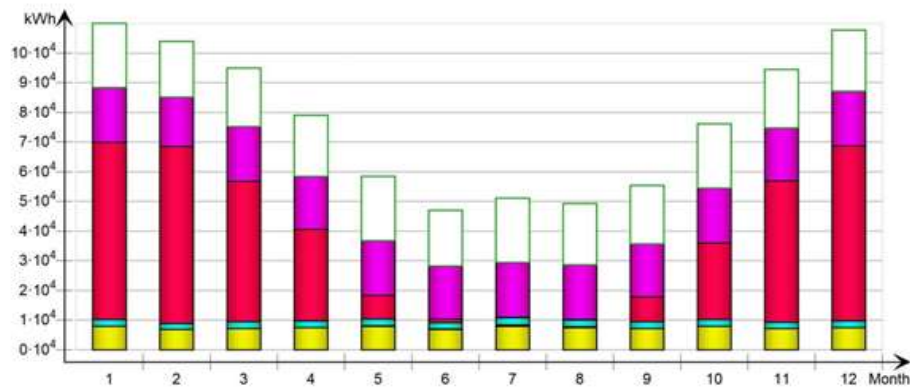
|  |      |
|--|------|
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone   | 14 % |
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone | 1 %  |
| Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction              | 18 % |

### Delivered Energy Overview

|                          | Purchased energy |                    | Peak demand |
|--------------------------|------------------|--------------------|-------------|
|                          | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> | kW          |
| ■ Lighting, facility     | 89435            | 17.0               | 21.46       |
| ■ Electric cooling       | 968              | 0.2                | 1.72        |
| ■ HVAC aux               | 27109            | 5.2                | 5.91        |
| Total, Facility electric | 117512           | 22.3               |             |
| ■ Fuel heating           | 347636           | 66.0               | 153.4       |
| ■ Domestic hot water     | 216595           | 41.1               | 24.73       |
| Total, Facility fuel*    | 564231           | 107.2              |             |
| Total                    | 681743           | 129.5              |             |
| ■ Equipment, tenant      | 245305           | 46.6               | 74.74       |
| Total, Tenant electric   | 245305           | 46.6               |             |
| Grand total              | 927048           | 176.1              |             |

\*heating value

### Monthly Purchased/Sold Energy



| Month | Facility electric        |                        |                | Facility fuel (heating value) |                          | Tenant electric         |
|-------|--------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|
|       | Lighting, facility (kWh) | Electric cooling (kWh) | HVAC aux (kWh) | Fuel heating (kWh)            | Domestic hot water (kWh) | Equipment, tenant (kWh) |
| 1     | 7881.0                   | 0.0                    | 2307.0         | 59715.0                       | 18396.0                  | 21617.0                 |
| 2     | 6853.0                   | 0.0                    | 2046.0         | 59652.0                       | 16615.0                  | 18797.0                 |
| 3     | 7196.0                   | 0.0                    | 2228.0         | 47326.0                       | 18396.0                  | 19737.0                 |
| 4     | 7539.0                   | 0.2                    | 2239.0         | 30821.0                       | 17802.0                  | 20677.0                 |
| 5     | 7881.3                   | 84.6                   | 2357.9         | 7929.6                        | 18396.0                  | 21618.0                 |
| 6     | 6853.0                   | 98.8                   | 2194.0         | 1199.0                        | 17802.0                  | 18797.0                 |
| 7     | 7881.0                   | 494.7                  | 2394.0         | 111.4                         | 18396.0                  | 21617.0                 |
| 8     | 7539.0                   | 273.3                  | 2338.0         | 195.5                         | 18396.0                  | 20677.0                 |
| 9     | 7196.0                   | 16.7                   | 2222.9         | 8364.9                        | 17801.8                  | 19737.0                 |
| 10    | 7881.0                   | 0.0                    | 2332.0         | 25798.0                       | 18396.0                  | 21617.0                 |
| 11    | 7196.0                   | 0.0                    | 2185.0         | 47620.0                       | 17802.0                  | 19737.0                 |
| 12    | 7539.0                   | 0.0                    | 2265.0         | 58904.0                       | 18396.0                  | 20677.0                 |
| Total | 89435.3                  | 968.2                  | 27108.8        | 347636.4                      | 216594.8                 | 245305.0                |

IDA Indoor Climate and Energy

Version: 4.801

License: IDA40:ICE40XHIL:ED136/CBK8A (educational license)

Joonis 4.3 Energiatarve kui halogeenvalgustid asendada LED-valgustitega

Simulatsioon näitab, et praeguste halogeenvalgustite asendamine tootmis- ja laoruumides LED-valgustitega vähendab valgustusele kuluvat elektrienergiat üle kahe korra. Hetkel kulub kogu hoones valgustusele aastas 190 913 kWh elektrienergiat. Asendades halogeenid LED-valgustusega, kuluks aastas valgustuse peale 89 435 kWh elektrienergiat.

Mõistagi eraldavad suurema voolutarbega halogeenvalgustid rohkem soojusenergiat, mistõttu suurenevad kulutused hoone kütmiseks 60 751 kWh võrra. Arvestades elektrienergia ja maagaasi sisseostuhinda, annab antud lahendus aastas võitu 5 609 eurot, andes lihttasuvusajaks 5 aastat. Maagaasi sisseostuhinnana on arvestatud 0.0362 eurot sellest saadud energia kilovatt-tunni kohta, mis on arvutatud hoonevaldajalt saadud andmete põhjal.

## **4.2 Pakett II**

### **Olemasoleva valgustuse asendamine LED valgustitega ja 264 kW päikesepaneeli paigaldamine**

Tootmishoonel on suur ja hetkel kasutamata lamekatusepind, mistõttu tasub kaaluda päikesepaneelide paigaldamist.


Esimese variandina pakun välja paigaldada hoone katusele 800 monokristallilist päikesepaneeli, kuna eeldatavasti kataks selline paneelide tootlikkus hoone energiavajaduse kõige täpsemalt. Päikesepaneelide paigaldamisel on võimalus liituda elektrivõrguga ning müüa ülejäävat elektrienergiat elektrivõrku, kuigi selline tegevus ei oleks niivõrd efektiivne.

Päikesepaneel on mõõtudega 1 x 1,7 m. Ühe paneeli maksimaalne tootmisvõimsus on 330 Wp (Watt peak). 800 päikesepaneeli koguvõimsus moodustab 2/3 maksimaalsest võimalikust võimsusest. Kui paneelid paigaldatakse 20-kraadise kaldega lõuna suunas, siis selline kalle võimaldab katuse pindala maksimaalselt ära kasutada ja sealjuures vähendades paneeli tootlikkust maksimaalselt 5%. Märgitud kaldega paigaldamisel pannakse raamidele üldjuhul raskused peale, mis takistab paneelide liigutamise tuule poolt. Ühtlasi ei ole 20-kraadise nurga alla paigaldatud paneelid tuulte suhtes niivõrd tundlikud kui näiteks 45-kraadise kaldega paigaldatud paneelid. Samuti paigaldusel raskuseid kasutades ei kahjustata katuse katematerjali, millel võivad halva paigalduskvaliteedi korral olla väga kulukad tagajärjed.

800 päikesepaneeli paigaldamine katusele koos kogu süsteemi väljaehitamisega oleks ligikaudu 170 000 euro (ilma käibemaksuta) suurune investeering. Ühe kilovati kohta teeb see 644 eurot (käibemaksuta).

Parendusmeetme simulatsioonitulemus:

Päikesepaneelide aastane tootlikkus simulatsiooniprogrammi järgi oleks 132 450 kWh, millest oma tarbeks saaks ära kasutada 96 968 kWh ning energiaturule õnnestuks müüa 35 482 kWh, mille eest saab 3 099 eurot. Elektrienergiamüügihind on kujundatud 2020. aasta jaanuarikuu kaalutud keskmise börsihinna põhjal, mis on korrutatud 0,89 ning millele on liidetud taastuvenergia toetus Eleringilt, mis on 5,37 senti/kWh kohta. [18],[19]. Arvestades päikesepaneelide toodetud energiat ning võrku müüdnud energiat, kulub nüüd aastas elektrienergia ja maagaasi peale kokku 37 775 eurot. Investeeringu lihttasuvusajaks kujuneb 12,3 aastat.

|   |   |                          |                                       |
|---|---|--------------------------|---------------------------------------|
| <br><b>Delivered Energy Report</b> |   |                          |                                       |
| <b>Project</b>  |   | <b>Building</b>          |                                       |
| Customer  |   | Model floor area         | 5263.1 m <sup>2</sup>                 |
| Created by  | Alar Ivanson  | Model volume             | 40998.6 m <sup>3</sup>                |
| Location  | Tallin-Harku_260380 (ASHRAE 2013)1                            | Model ground area        | 4620.9 m <sup>2</sup>                 |
| Climate file  | Est TRY   | Model envelope area      | 11657.6 m <sup>2</sup>                |
| Case  | Stora_alar 14.04.20 tavaline + 800 pv paneeli + led valgustid | Window/Envelope          | 2.1 %                                 |
| Simulated   | 15-Apr-20 09:58:51  | Average U-value          | 0.2252 W/(m <sup>2</sup> K)           |
|   |   | Envelope area per Volume | 0.2843 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |

### Building Comfort Reference

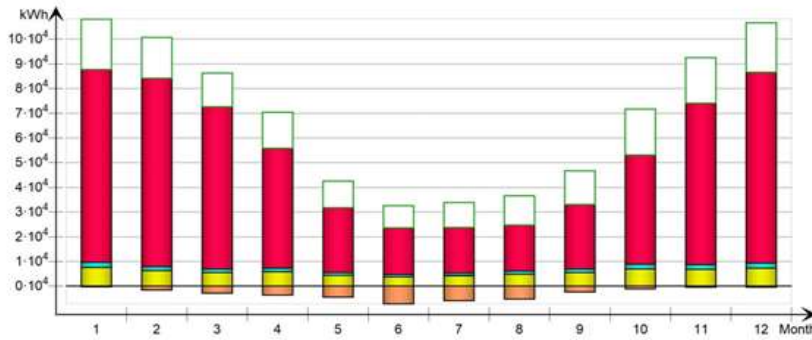
|  |      |
|--|------|
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone   | 14 % |
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone | 1 %  |
| Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction              | 18 % |

### Delivered Energy Overview

|                                 | Used energy      |                    | Purchased energy |                    | Peak demand    |
|---------------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|----------------|
|                                 | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> |                |
| Lighting, facility              | 89435            | 17.0               | 68972            | 13.1               | 21.46          |
| Electric cooling                | 974              | 0.2                | 334              | 0.1                | 2.01           |
| HVAC aux                        | 27452            | 5.2                | 18863            | 3.6                | 5.94           |
| <b>Total, Facility electric</b> | <b>117861</b>    | <b>22.4</b>        | <b>88169</b>     | <b>16.8</b>        |                |
| Fuel heating                    | 564371           | 107.2              | 564371           | 107.2              | 180.7          |
| <b>Total, Facility fuel*</b>    | <b>564371</b>    | <b>107.2</b>       | <b>564371</b>    | <b>107.2</b>       |                |
| <b>Total</b>                    | <b>682232</b>    | <b>129.6</b>       | <b>652540</b>    | <b>124.0</b>       |                |
| Equipment, tenant               | 245305           | -46.6              | 178035           | 33.8               | 74.74          |
| <b>Total, Tenant electric</b>   | <b>245305</b>    | <b>-46.6</b>       | <b>178035</b>    | <b>33.8</b>        |                |
|                                 | Generated energy |                    | Sold energy      |                    | Peak generated |
| PV production                   | -132450          | -25.2              | -35482           | -6.7               | -107.3         |
| CHP production                  | 0                | 0.0                | 0                | 0.0                | 0.0            |
| <b>Total, Produced electric</b> | <b>-132450</b>   | <b>-25.2</b>       | <b>-35482</b>    | <b>-6.7</b>        |                |
| <b>Grand total</b>              | <b>795087</b>    | <b>151.1</b>       | <b>795093</b>    | <b>151.1</b>       |                |

\*heating value

### Monthly Purchased/Sold Energy



| Month        | Facility electric        |                        |                | Facility fuel (heating value) | Tenant electric         | Produced electric   |                      |
|--------------|--------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
|              | Lighting, facility (kWh) | Electric cooling (kWh) | HVAC aux (kWh) | Fuel heating (kWh)            | Equipment, tenant (kWh) | PV production (kWh) | CHP production (kWh) |
| 1            | 7548.0                   | 1.8                    | 2129.0         | 78128.0                       | 20437.0                 | -260.6              | 0.0                  |
| 2            | 6247.0                   | 1.7                    | 1742.0         | 76276.0                       | 16650.0                 | -1556.0             | 0.0                  |
| 3            | 5469.0                   | 1.7                    | 1512.0         | 65725.0                       | 13616.0                 | -2868.0             | 0.0                  |
| 4            | 5766.0                   | 1.5                    | 1511.0         | 48644.0                       | 14674.0                 | -3641.0             | 0.0                  |
| 5            | 4441.9                   | 34.4                   | 1145.3         | 28320.0                       | 10724.8                 | -4493.4             | 0.0                  |
| 6            | 3688.0                   | 29.8                   | 959.7          | 18995.0                       | 9005.0                  | -7148.0             | 0.0                  |
| 7            | 4234.0                   | 147.0                  | 1060.0         | 18513.0                       | 10164.0                 | -5945.0             | 0.0                  |
| 8            | 4883.0                   | 101.0                  | 1285.0         | 18600.0                       | 11886.0                 | -5256.0             | 0.0                  |
| 9            | 5465.0                   | 8.8                    | 1496.7         | 26182.0                       | 13732.0                 | -2302.4             | 0.0                  |
| 10           | 7017.0                   | 1.7                    | 1928.0         | 44243.0                       | 18580.0                 | -1102.0             | 0.0                  |
| 11           | 6859.0                   | 2.0                    | 1963.0         | 65426.0                       | 18543.0                 | -491.0              | 0.0                  |
| 12           | 7354.0                   | 2.2                    | 2131.0         | 77319.0                       | 20023.0                 | -419.1              | 0.0                  |
| <b>Total</b> | <b>68971.9</b>           | <b>333.6</b>           | <b>18862.7</b> | <b>564371.0</b>               | <b>178034.8</b>         | <b>-35482.5</b>     | <b>0.0</b>           |

IDA Indoor Climate and Energy  
Version: 4.801  
License: IDA40:ICE40XHIL:ED136/C8K8A (educational license)

Joonis 4.4 Energiatarve kui halogeenvalgustid asendada led valgustitega ning paigaldada hoone katusele 800 päikesepaneeli



### 4.3 Pakett III

#### Olemasoleva valgustuse asendamine LED valgustitega ja 378 kW päikesepaneelide paigaldamine

Hoone katusele paigaldatakse teise variandina 1147 monokristallilist päikesepaneeli mõõtudega 1x1,7m, mis on maksimaalne paneelide kogus, mida sellele katusele õnnestuks paigaldada. Paneelide tüüp ja kalle ning paigaldusmeetod oleksid samad, mis 800 paneeli paigaldusel:

- Ühe paneeli maksimumvõimsus 330 Wp
- Paneelide kalle 20 kraadi lõuna suunas



Joonis 4.5 1147 päikesepaneeli Stora Enso tootmishoone katusel

|   |   |                                |                                       |
|---|---|--------------------------------|---------------------------------------|
|  |   | <b>Delivered Energy Report</b> |                                       |
| <b>Project</b>  |   | <b>Building</b>                |                                       |
| Customer  |   | Model floor area               | 5263.1 m <sup>2</sup>                 |
| Created by  | Alar Ivanson  | Model volume                   | 40998.6 m <sup>3</sup>                |
| Location  | Tallin-Harku_260380 (ASHRAE 2013)1                            | Model ground area              | 4620.9 m <sup>2</sup>                 |
| Climate file  | Est TRY   | Model envelope area            | 11657.6 m <sup>2</sup>                |
| Case  | Stora_alar 15.04.20 tavline + 1147 pv paneeli + led valgustid | Window/Envelope                | 2.1 %                                 |
| Simulated   | 15-Apr-20 22:08:20  | Average U-value                | 0.2253 W/(m <sup>2</sup> K)           |
|   |   | Envelope area per Volume       | 0.2843 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |

### Building Comfort Reference

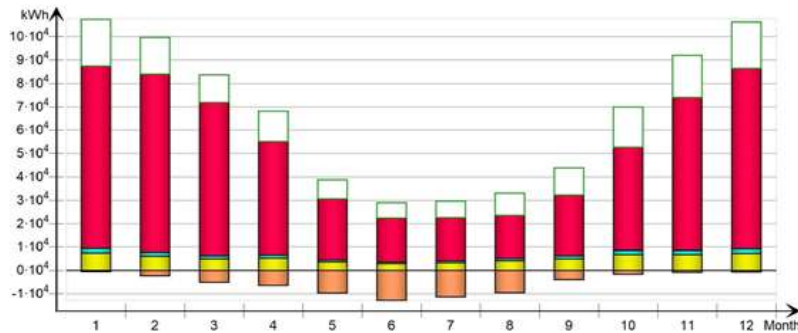
|  |      |
|--|------|
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone   | 14 % |
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone | 1 %  |
| Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction              | 18 % |

### Delivered Energy Overview

|                                 | Used energy      |                    | Purchased energy |                    | Peak demand    |
|---------------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|----------------|
|                                 | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> | kW             |
| Lighting, facility              | 89435            | 17.0               | 62874            | 12.0               | 21.46          |
| Electric cooling                | 973              | 0.2                | 226              | 0.0                | 2.01           |
| HVAC aux                        | 27451            | 5.2                | 17118            | 3.3                | 5.94           |
| <b>Total, Facility electric</b> | <b>117859</b>    | <b>22.4</b>        | <b>80218</b>     | <b>15.2</b>        |                |
| Fuel heating                    | 564418           | 107.2              | 564418           | 107.2              | 180.8          |
| <b>Total, Facility fuel*</b>    | <b>564418</b>    | <b>107.2</b>       | <b>564418</b>    | <b>107.2</b>       |                |
| <b>Total</b>                    | <b>682277</b>    | <b>129.6</b>       | <b>644636</b>    | <b>122.5</b>       |                |
| Equipment, tenant               | 245305           | 46.6               | 158219           | 30.1               | 74.74          |
| <b>Total, Tenant electric</b>   | <b>245305</b>    | <b>46.6</b>        | <b>158219</b>    | <b>30.1</b>        |                |
|                                 | Generated energy |                    | Sold energy      |                    | Peak generated |
| PV production                   | -189807          | -36.1              | -65076           | -12.4              | -153.8         |
| CHP production                  | 0                | 0.0                | 0                | 0.0                | 0.0            |
| <b>Total, Produced electric</b> | <b>-189807</b>   | <b>-36.1</b>       | <b>-65076</b>    | <b>-12.4</b>       |                |
| <b>Grand total</b>              | <b>737775</b>    | <b>140.2</b>       | <b>737779</b>    | <b>140.2</b>       |                |

\*heating value

### Monthly Purchased/Sold Energy



| Month        | Facility electric        |                        |                | Facility fuel (heating value) | Tenant electric         | Produced electric   |                      |
|--------------|--------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
|              | Lighting, facility (kWh) | Electric cooling (kWh) | HVAC aux (kWh) | Fuel heating (kWh)            | Equipment, tenant (kWh) | PV production (kWh) | CHP production (kWh) |
| 1            | 7404.0                   | 1.8                    | 2080.0         | 78137.0                       | 19927.0                 | -421.0              | 0.0                  |
| 2            | 5988.0                   | 1.6                    | 1662.0         | 76283.0                       | 15732.0                 | -2317.0             | 0.0                  |
| 3            | 4932.0                   | 1.6                    | 1355.0         | 65731.0                       | 11717.0                 | -5244.0             | 0.0                  |
| 4            | 5247.0                   | 1.4                    | 1364.0         | 48647.0                       | 12955.0                 | -6526.0             | 0.0                  |
| 5            | 3616.4                   | 22.1                   | 927.3          | 26318.0                       | 8249.1                  | -9669.6             | 0.0                  |
| 6            | 2854.0                   | 20.1                   | 737.7          | 18999.0                       | 6496.0                  | -12855.0            | 0.0                  |
| 7            | 3238.0                   | 90.9                   | 785.9          | 18512.0                       | 7093.0                  | -11397.0            | 0.0                  |
| 8            | 4108.0                   | 72.3                   | 1064.0         | 18603.0                       | 9388.0                  | -9507.0             | 0.0                  |
| 9            | 4840.0                   | 8.1                    | 1312.2         | 26184.3                       | 11573.0                 | -4002.4             | 0.0                  |
| 10           | 6560.0                   | 1.6                    | 1820.0         | 44242.0                       | 17325.0                 | -1728.0             | 0.0                  |
| 11           | 6713.0                   | 1.9                    | 1908.0         | 65433.0                       | 18025.0                 | -761.3              | 0.0                  |
| 12           | 7274.0                   | 2.1                    | 2102.0         | 77329.0                       | 19739.0                 | -647.2              | 0.0                  |
| <b>Total</b> | <b>62874.4</b>           | <b>225.5</b>           | <b>17118.1</b> | <b>564418.3</b>               | <b>158219.1</b>         | <b>-65075.5</b>     | <b>0.0</b>           |

IDA Indoor Climate and Energy

Version: 4.801

License: IDA40:ICE40XHIL:ED136/C8K8A (educational license)

Joonis 4.6 Energiatarve kui halogeenvalgustid asendada led valgustitega ning paigaldada hoone katusele 1147 PV paneeli

1147 PV paneeli paigaldamine katusele koos süsteemi täieliku väljaehitamisega läheks maksma 245 000 eurot (käibemaksuta). Ühe kilovati kohta teeb see 648 eurot. Lisandub juba eelnevates säästmispakettides mainitud olemasoleva valgustuse asendamine LED-valgustusega.

Päikesepaneelide aastane tootlikkus simulatsiooni põhjal oleks 189 807 kWh, millest omatarbeks saaks ära kasutada 124 731 kWh ning võrku tagasi õnnestuks müüa 65 076 kWh, mille eest saab 5 684 eurot. Arvestades PV paneelide toodetud energiat ning tagasi võrku müüdüd energiat, kulub nüüd aastas elektrienergia ja maagaasi peale kokku 33 060 eurot. Investeeringu lihttasuvusajaks tuleb 13,1 aastat. Antud paneelidele kehtib tootlusgarantii 85% tootluse säilimiseks 25ks aastaks ning inverteri garantii on 12 aastat. Reaalne eluiga päikesepaneelidel võib olla kuni 50 aastat.

## 4.4 Pakett IV

### **Olemasolevate valgustite asendamine LED valgustitega, 378 kW päikesepaneelide paigaldamine ja välisseinte täiendav soojustamine 100mm PIR plaadiga**

Neljanda säästumeetmena simuleeriti versiooni, kus olid rakendatud eelneva säästupaketi meetmed ehk tootmis- ja laoruumide valgustus sai üle viidud LED-tehnoloogial valgustitele ning katusele sai paigaldatud maksimaalne arv päikesepaneele. Lisaks sai hoone välisseintele paigaldatud täiendav soojustus 100mm PIR plaadi näol. PIR plaat on polüuretaanvahust soojustusplaat, mille soojusjuhtivustegur  $\lambda_D$  on 0,022 W/mK, mis on peaaegu kaks korda parem tavalisest mineraalvillast. PIR-plaadi peale paigaldatakse topelt karkass, millele kinnitatakse profiilplekk. Antud lahenduse ühe ruutmeetri hinnaks koos tellingute rendi ja paigalduse ning juhtimiskuludega arvestasin 55 eurot (käibemaksuta).

Hoone sokli soojustamiseks kasutatakse EPS-120 vahtpolüsterooli, mis kaetakse õhekrohviga. Sokli soojustamise hulka kuulub ka sokli lahtikaevamine 30 cm ulatuses ning hilisem tagasitäide. Ruutmeetri hinnaks kujuneb siin samuti 55 eurot (käibemaksuta).

|   |   |                                  |                                       |
|---|---|----------------------------------|---------------------------------------|
|  |   | <h2>Delivered Energy Report</h2> |                                       |
| <b>Project</b>  |   | <b>Building</b>                  |                                       |
| Customer  |   | Model floor area                 | 5263.1 m <sup>2</sup>                 |
| Created by  | Alar Ivanson  | Model volume                     | 40998.6 m <sup>3</sup>                |
| Location  | Tallin-Harku_260380 (ASHRAE 2013)1                                      | Model ground area                | 4620.9 m <sup>2</sup>                 |
| Climate file  | Est TRY   | Model envelope area              | 11657.6 m <sup>2</sup>                |
| Case  | Stora_alar 02.05.20 tavline + 1147 pv paneeli + led valgustid + PIR 100 | Window/Envelope                  | 2.1 %                                 |
| Simulated   | 02-May-20 22:36:44  | Average U-value                  | 0.1907 W/(m <sup>2</sup> K)           |
|   |   | Envelope area per Volume         | 0.2843 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |

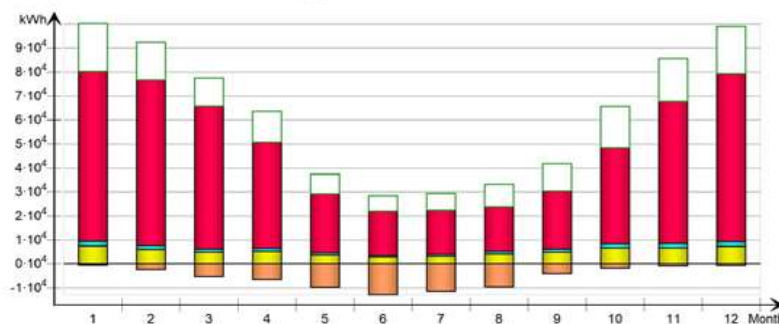
### Building Comfort Reference

|  |      |
|--|------|
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone   | 17 % |
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone | 1 %  |
| Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction              | 18 % |

### Delivered Energy Overview

|                                 | Used energy      |                    | Purchased energy |                    | Peak demand    |
|---------------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|----------------|
|                                 | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> |                |
| Lighting, facility              | 89435            | 17.0               | 62878            | 12.0               | 21.46          |
| Electric cooling                | 1052             | 0.2                | 255              | 0.0                | 1.96           |
| HVAC aux                        | 27443            | 5.2                | 17113            | 3.3                | 5.94           |
| <b>Total, Facility electric</b> | <b>117530</b>    | <b>22.4</b>        | <b>80246</b>     | <b>15.3</b>        |                |
| Fuel heating                    | 518172           | 98.5               | 513172           | 98.5               | 120.1          |
| <b>Total, Facility fuel*</b>    | <b>518172</b>    | <b>98.5</b>        | <b>513172</b>    | <b>98.5</b>        |                |
| <b>Total</b>                    | <b>636102</b>    | <b>120.9</b>       | <b>594418</b>    | <b>113.7</b>       |                |
| Equipment, tenant               | 245305           | 46.6               | 153228           | 30.1               | 74.74          |
| <b>Total, Tenant electric</b>   | <b>245305</b>    | <b>46.6</b>        | <b>153228</b>    | <b>30.1</b>        |                |
|                                 |                  |                    |                  |                    |                |
|                                 | Generated energy |                    | Sold energy      |                    | Peak generated |
| PV production                   | -189789          | -36.1              | -65026           | -12.4              | -153.7         |
| CHP production                  | 0                | 0.0                | 0                | 0.0                | 0.0            |
| <b>Total, Produced electric</b> | <b>-189789</b>   | <b>-36.1</b>       | <b>-65026</b>    | <b>-12.4</b>       |                |
| <b>Grand total</b>              | <b>691618</b>    | <b>131.4</b>       | <b>691620</b>    | <b>131.4</b>       |                |

### Monthly Purchased/Sold Energy



| Month        | Facility electric        |                        |                | Facility fuel (heating value) | Tenant electric         | Produced electric   |                      |
|--------------|--------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
|              | Lighting, facility (kWh) | Electric cooling (kWh) | HVAC aux (kWh) | Fuel heating (kWh)            | Equipment, tenant (kWh) | PV production (kWh) | CHP production (kWh) |
| 1            | 7403.0                   | 1.8                    | 2077.0         | 70841.0                       | 19924.0                 | -415.9              | 0.0                  |
| 2            | 5988.0                   | 1.6                    | 1661.0         | 69146.0                       | 15733.0                 | -2333.0             | 0.0                  |
| 3            | 4932.0                   | 1.6                    | 1357.0         | 59758.0                       | 11717.0                 | -5231.0             | 0.0                  |
| 4            | 5246.0                   | 1.4                    | 1363.0         | 44327.0                       | 12953.0                 | -6514.0             | 0.0                  |
| 5            | 3616.5                   | 22.1                   | 925.7          | 24629.0                       | 8247.5                  | -9669.6             | 0.0                  |
| 6            | 2856.0                   | 23.5                   | 738.1          | 18611.0                       | 6499.0                  | -12837.0            | 0.0                  |
| 7            | 3239.0                   | 102.9                  | 787.2          | 18486.0                       | 7099.0                  | -11390.0            | 0.0                  |
| 8            | 4110.0                   | 85.8                   | 1066.0         | 18549.0                       | 9394.0                  | -9493.0             | 0.0                  |
| 9            | 4841.0                   | 8.2                    | 1313.2         | 24250.4                       | 11575.0                 | -4002.4             | 0.0                  |
| 10           | 6659.0                   | 1.6                    | 1818.0         | 40153.0                       | 17322.0                 | -1729.0             | 0.0                  |
| 11           | 6713.0                   | 1.9                    | 1908.0         | 59275.0                       | 18025.0                 | -759.3              | 0.0                  |
| 12           | 7274.0                   | 2.1                    | 2099.0         | 70147.0                       | 19740.0                 | -652.0              | 0.0                  |
| <b>Total</b> | <b>62877.5</b>           | <b>254.6</b>           | <b>17113.3</b> | <b>518172.4</b>               | <b>158228.5</b>         | <b>-65026.4</b>     | <b>0.0</b>           |

IDA Indoor Climate and Energy

Version: 4.801

License: IDA40:ICE40XHIL:ED136/C8K8A (educational license)

Joonis 4.7 Energiatarve kui halogeenvalgustid asendada led valgustitega ning paigaldada hoone katusele 1147 PV paneeli ja teostada hoone välisseinte täiendav soojustamine 100mm PIR plaadiga

Välisseinte ja sokli soojustamise tulemusena väheneb hoone kütmisele kulunud energia IDA ICE simulatsiooniprogrammi järgi 46 246 kWh võrra, võrreldes samade säästumeetmete rakendamisega, kuid ilma soojustamiseta. Antud säästumeetme lihttasuvusajaks on 18,2 aastat, seega arvestades pikka tasuvusaega, peab meetme rakendamine olema väga läbimõeldud ja kaalutletud.

## **4.5 Pakett V**

### **Olemasoleva valgustuse asendamine LED valgustitega, 378 kW päikesepaneelide paigaldamine ja tootmisruumi ventilatsiooni muutmine nõudluspõhiseks**

Viienda ja käesoleva uurimistöö viimase säästumeetmena simuleeriti säästupaketti, kus tootmis- ja laoruumi valgustus asendati LED-valgustitega ning katusele paigaldati maksimaalne arv päikesepaneele nagu ka III säästupaketis. Lisa meetmena tuleks S1/V1 ventilatsioonisüsteemi väljatõmbeõhu kanalisse, mis teenindab hoone tootmisruume, paigaldada CO<sub>2</sub> andur, ventilatsioonisüsteemi mootoritele paigaldada sagedusmuundurid ning süsteemi juhtimiseks paigaldada uus automaatika. Sellisel juhul on eesmärk hoida õhuhulka minimaalsena, kuid tagada CO<sub>2</sub> taseme püsimine alla 1000 ppm. Süsteem seadistatakse üldjuhul nii, et õhuvooluhulk eil angeks alla 30% maksimaalsest võimalikust õhuvooluhulgast. [23]



|  |  | Delivered Energy Report  |                                       |
|---|--|--------------------------|---------------------------------------|
| <b>Project</b>  |  | <b>Building</b>          |                                       |
| Customer  |  | Model floor area         | 5 263.1 m <sup>2</sup>                |
| Created by  | Alar Ivanson   | Model volume             | 4 0998.6 m <sup>3</sup>               |
| Location  | Tallin-Harku_260380 (ASHRAE 2013)1                         | Model ground area        | 4 620.9 m <sup>2</sup>                |
| Climate file  | Est TRY  | Model envelope area      | 1 1657.6 m <sup>2</sup>               |
| Case  | Stora_alar tavline + 1147 pv paneeli + led valgustid + VAV | Window/Envelope          | 2.1 %                                 |
| Simulated   | 05-May-20 23:33:54   | Average U-value          | 0.2253 W/(m <sup>2</sup> K)           |
|   |  | Envelope area per Volume | 0.2843 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |

### Building Comfort Reference

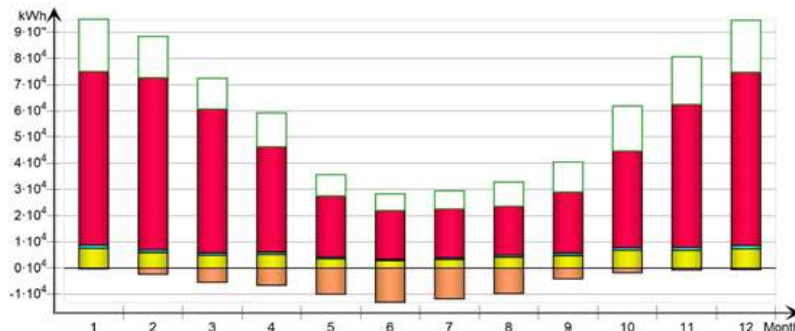
|  |      |
|--|------|
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone   | 14 % |
| Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone | 2 %  |
| Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction              | 18 % |

### Delivered Energy Overview

|                                 | Used energy      |                    | Purchased energy |                    | Peak demand    |
|---------------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|----------------|
|                                 | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> | kWh              | kWh/m <sup>2</sup> |                |
| Lighting, facility              | 89435            | 17.0               | 62387            | 11.9               | 21.46          |
| Electric cooling                | 1018             | 0.2                | 232              | 0.0                | 2.02           |
| HVAC aux                        | 16598            | 3.2                | 10036            | 1.9                | 2.68           |
| <b>Total, Facility electric</b> | <b>107051</b>    | <b>20.3</b>        | <b>72655</b>     | <b>13.8</b>        |                |
| Fuel heating                    | 485812           | 92.3               | 485812           | 92.3               | 160.6          |
| <b>Total, Facility fuel*</b>    | <b>485812</b>    | <b>92.3</b>        | <b>485812</b>    | <b>92.3</b>        |                |
| <b>Total</b>                    | <b>592863</b>    | <b>112.6</b>       | <b>558467</b>    | <b>106.1</b>       |                |
| Equipment, tenant               | 245305           | 46.6               | 156480           | 29.7               | 74.74          |
| <b>Total, Tenant electric</b>   | <b>245305</b>    | <b>46.6</b>        | <b>156480</b>    | <b>29.7</b>        |                |
|                                 | Generated energy |                    | Sold energy      |                    | Peak generated |
| PV production                   | -189811          | -36.1              | -66584           | -12.7              | -153.8         |
| CHP production                  | 0                | 0.0                | 0                | 0.0                | 0.0            |
| <b>Total, Produced electric</b> | <b>-189811</b>   | <b>-36.1</b>       | <b>-66584</b>    | <b>-12.7</b>       |                |
| <b>Grand total</b>              | <b>648357</b>    | <b>123.2</b>       | <b>648363</b>    | <b>123.2</b>       |                |

\*heating value

### Monthly Purchased/Sold Energy



| Month | Facility electric        |                        |                | Facility fuel (heating value) | Tenant electric         | Produced electric   |                      |
|-------|--------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
|       | Lighting, facility (kWh) | Electric cooling (kWh) | HVAC aux (kWh) | Fuel heating (kWh)            | Equipment, tenant (kWh) | PV production (kWh) | CHP production (kWh) |
| 1     | 7387.0                   | 1.8                    | 1201.0         | 66185.0                       | 19868.0                 | -421.2              | 0.0                  |
| 2     | 5962.0                   | 1.6                    | 966.5          | 65557.0                       | 15640.0                 | -2354.0             | 0.0                  |
| 3     | 4889.0                   | 1.6                    | 832.5          | 54769.0                       | 11567.0                 | -5395.0             | 0.0                  |
| 4     | 5204.0                   | 1.4                    | 787.7          | 40130.0                       | 12804.0                 | -6661.0             | 0.0                  |
| 5     | 3560.0                   | 21.1                   | 549.1          | 23134.0                       | 8043.6                  | -9985.2             | 0.0                  |
| 6     | 2794.0                   | 20.3                   | 434.9          | 18420.0                       | 6278.0                  | -13089.0            | 0.0                  |
| 7     | 3173.0                   | 93.6                   | 455.2          | 18439.0                       | 6858.0                  | -11714.0            | 0.0                  |
| 8     | 4046.0                   | 77.1                   | 631.4          | 18554.0                       | 9164.0                  | -9701.0             | 0.0                  |
| 9     | 4786.0                   | 8.1                    | 787.0          | 23060.4                       | 11380.0                 | -4100.4             | 0.0                  |
| 10    | 6624.0                   | 1.6                    | 1048.0         | 36945.0                       | 17199.0                 | -1754.0             | 0.0                  |
| 11    | 6697.0                   | 1.9                    | 1113.0         | 54570.0                       | 17969.0                 | -758.3              | 0.0                  |
| 12    | 7265.0                   | 2.1                    | 1230.0         | 66049.0                       | 19289.0                 | -650.9              | 0.0                  |
| Total | 62387.0                  | 232.2                  | 10036.3        | 485812.4                      | 156479.6                | -66584.0            | 0.0                  |

IDA Indoor Climate and Energy

Version: 4.801

License: IDA40-ICE40XHIL:ED136/C8K8A (educational license)

Joonis 4.8 Energiatarve kui halogeenvalgustid asendada led valgustitega ning paigaldada hoone katusele 1147 PV paneeli ja tootmisruumi ventilatsioon muuta nõudluspõhiseks

CAV süsteemi DCV süsteemiks (nõudluspõhiseks süsteemiks) ringiehitamise täiendava investeeringuna arvestasin 7000 eurot (käibemaksuta). Summa lisandub kolmanda säästupaketi investeeringule. IDA ICE simulatsiooni andmete rahaks arvutamise põhjal on võimalik antud meetmega säästa ligikaudu 3700 eurot aastas, mis teeb selle säästupaketi lihttasuvusajaks 11,4 aastat.

## 4.6 Pakettide võrdlus

Erinevaid parendusmeetmeid võrreldes võime järeldada, et hoone rentnikul või omanikul kõige mõistlikum rakendada viiendat säästumeedet, mille puhul paigaldaksime hoone katusele maksimaalse võimaliku arvu päikesepaneeli ja ühtlasi asendaksime olemasolevad tööstusvalgustid led-tehnoloogial põhinevate valgustitega ning muudaksime tootmisruumide ventilatsioonisüsteemi juhtimispõhimõtet.

Antud meede nõuab küll ligikaudu 280000 euro suurust investeeringut (käibemaksuta), mille lihttasuvusaeg on 11,4 aastat, kuid võrreldes praeguse olukorraga võimaldab hoida energiat kokku aastas üle kahekümne nelja tuhande euro. Võrreldes esimese meetmega, kus asendasime ainult valgustid ning päikeseenergiasse ei investeeritud, kulutame nüüd energiale aastas ligi viisteist tuhat eurot vähem.

Kuna päikesepaneelide mõistlik eluiga on 25-30 aastat, võime eeldada, et peale 13 aastat, millal päikesepaneelid on oma investeeringu tagasi teeninud võime saavutada järgneva 15-20 aastaga kokkuhoidu 150000 kuni 200000 tuhat eurot võrreldes meetmega, kus investeerisime ainult valgustustehnoloogiasse. [20]

Tabel 4.1 Säästumeetmete pakettide võrdlus

|                         | <b>Praegune olukord</b> | <b>Led valgustus</b> | <b>led + 800 PV paneeli</b> | <b>led + 1147 PV paneeli</b> | <b>led + 1147 PV paneeli + 100mm PIR</b> | <b>led + 1147 PV paneeli + VAV</b> |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--|------------------------------------|
| Valgustus, kWh          | 190913                  | 89435                | 89435                       | 89435                        | 89435                                    | 89435                              |
| Jahutus, kWh            | 1163                    | 968                  | 974                         | 973                          | 1052                                     | 1018                               |
| Ventilatsioon, kWh      | 27109                   | 27114                | 27452                       | 27452                        | 27443                                    | 16598                              |
| Tootmisadmed, kWh       | 245305                  | 245305               | 245305                      | 245305                       | 245305                                   | 245305                             |
| Küte (sh soe vesi), kWh | 503480                  | 564231               | 564371                      | 564418                       | 518172                                   | 485812                             |
| PV kokku, kWh           | 0                       | 0                    | -132450                     | -189807                      | -189789                                  | -189811                            |
| PV oma tarbeks, kWh     |                         |                      | -96968                      | -124731                      | -124763                                  | -123227                            |
| PV võrku, kWh           | 0                       | 0                    | -35482                      | -65076                       | -65026                                   | -66584                             |
|                         |                         |                      |                             |                              |  |                                    |
| Elekter kokku, kWh      | 464490                  | 362822               | 266198                      | 238434                       | 238472                                   | 229129                             |
| Kogu energia, kWh       | 967970                  | 927053               | 830569                      | 802852                       | 756644                                   | 714941                             |

|                           |              |              |               |               |               |               |
|---------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Elekter, eur              | 35673        | 27865        | 20444         | 18312         | 18315         | 17597         |
| Küte, eur                 | 18226        | 20425        | 20430         | 20432         | 18758         | 17586         |
| Elektri müük, eur         | 0            | 0            | -3099         | -5684         | -5680         | -5816         |
| <b>Kokku, eur/a</b>       | <b>53899</b> | <b>48290</b> | <b>37775</b>  | <b>33060</b>  | <b>31393</b>  | <b>29368</b>  |
|                           |              |              |               |               |               |               |
| <b>Investeering, eur</b>  | <b>0</b>     | <b>28000</b> | <b>198000</b> | <b>273000</b> | <b>410435</b> | <b>280000</b> |
| <b>Lihttasuvus aeg, a</b> | <b>0</b>     | <b>5.0</b>   | <b>12.3</b>   | <b>13.1</b>   | <b>18.2</b>   | <b>11.4</b>   |



## KOKKUVÕTE

Energia säästmine on muutumas tähtsamaks tulenevalt kliimamuutuste ja energiahinna tõusust. Üks suur ja pidev energiakulu meie kliimas on seotud hoonete ülalpidamisega, sh sisekliima tagamisega. Köetavatest hoonetest moodustavad tootmishooned 15% hoonefondi netopinnast [1], jäädes sellega kolmandale kohale pärast eramuid ja korterelamuid. Seega on tootmishoonete ülalpidamiseks kuluv kogu energia hulk märkimisväärne.

Tootmishoonete energiatarve sõltub paljuski hoone seisukorrast, kliimast, hooajast, hoone ehituslikest lahendustest, tehnosüsteemidest, seadmetest, kasutusviisist ning kasutuskorrast, sh hoones toimuvatest protsessidest, mis võivad mõjutavad hoone sisekeskkonda, aga ka haldusjuhtimisoskused mõjutavad tootmishoone energiatarvet. Seetõttu on oluline analüüsida iga konkreetset hoonet eraldi ja selgitada välja just selle hoone eripärasid. Energiatõhususe kõrval on oluline tagada hoones mugav ja tervislik sisekeskkond.

Käesoleva magistr töö eesmärk on analüüsida Stora Enso Packaging ASi tootmishoone energiakasutust, sisekliimat, tehnilist olukorda ja pakkuda välja lahendused energiatarbe vähendamiseks ning vajadusel sisekliima parandamiseks. Selleks antakse esmalt lühike ülevaade sisekliima parameetritest, energiatarbusest ja energiabilansist ning nendele Eestis kehtivatest nõuetest või soovitudest. Seejärel kirjeldatakse „Metoodika“ peatükis valitud objekti ja selle ehitustehnilisi omadusi ning töö metoodikat, sh mõõtmiste teostamisi ja andmeanalüüsi. Viimases peatükis „Parendusmeetmed“ pakutakse välja erinevaid lahendusi hoone energiatarbuse muutmiseks. Meetmete energiasäästude arvutati hoone mudeli energiasimulatsiooniga, kasutades programmi IDA ICE. Mudel kalibreeriti eelnevalt, et mudeli energiakulud oleksid vastavuses reaalseste kuludega. Pakettlahenduste maksumuse hindamisel lähtuti põhiliselt teostatud projektide andmetest ja väljakujunenud ühikhindadest. Pakettmeetmete võrdluse põhjal on hoone haldajal võimalik teha endale sobiv valik, kui palju ta soovib investeerida ning kui kiiresti investeeringud ennast ära tasuvad.

Uurimusobjektiks oli Stora Enso Packaging ASi tootmishoone, mis asub Saku vallas Tännassilma tehnopargis. Hoone võeti esmakordselt kasutusele 2003. a. Hoone ehitusalune pind on 4766,2 m<sup>2</sup>, köetavat pinda on 5058 m<sup>2</sup> ja hoone maht on 44 496,7 m<sup>3</sup>. Tegemist on „sandwich“ paneelidest terashalliga, millel on võrdlemisi lame rullmaterjalist katus. Kontoriblokk on rajatud hoone kirdenurka ja selle kandvateks konstruktsioonideks on „Columbia“ plokkidest seinad.

Kütteallikaks on lokaalne gaasikatel ning ventilatsioon on lahendatud kolme soojustagastiga ventilatsiooniseadmega ning värskõhuklappide ja väljatõmbeventilaatoriga laoruumis. 2014. aastal on hoonesse paigaldatud pihustusniisutusesüsteem, mille eesmärk on hoone tootmis- ja laoruumide sisekliima parandamine ning seeläbi ka toodangukvaliteedi ja inimeste rahuolu säilimine.

Töös käsitleti tarbimisandmeid aastatel 2014 – 2019, mis saadi hoone haldajalt. Keskmine kraadpäevadega korrigeeritud soojusenergia tarbimise keskmine kogus aastas sellel perioodil oli 499 mWh. Elektrienergiat kulutati keskmiselt ühes aastas 504 mWh ulatuses, millest ligi kolmandik on kulunud valgustuse peale. Vee tarbimise kuue aasta keskmine oli 1367 m<sup>3</sup>, millest keskmiselt 87 m<sup>3</sup> aastas kulus niisutuse peale.

Uurimustöö raames mõõdeti hoone sisekliima näitajaid: temperatuuri, suhtelist niiskust, süsihappegaasitaset, valgustustihedust ja saasteainete kontsentratsiooni. Hoone tarinditele tehti termograafiauuring. Sisekliima näitajate poolst jääb hoone I ja II sisekliimaklassi.

Hoone energiatarbimine ja parandusmeetmed simuleeriti programmiga IDA ICE 4.8. Programmi kalibreeriti seni, kuni reaalsed energiatarbimised normaalaastal ja simulatsiooni põhjal saadud parameetrid olid võrdväärised. IDA ICE programmi abil koostati ka hoone energiabilanss. Reaalsete tarbimisandmete põhjal arvutati hoone kaalutud energia erikasutus ehk KEK, mille põhjal liigitub hoone F klassi.

Kuna sisekliima hoones oli heal tasemel, on parandusmeetmete põhieemärk energiatarbimise vähendamine sealjuures sisekliimat halvendamata. Kokku koostati 5 energiasäästupaketti, millest autor soovib esimesel võimalusel rakendada esimest paketti, milleks on olemasoleva tootmis- ja laoruumide valgustuse asendamine led-valgustitega. Võimalusel soovib autor rakendada ka viiendat paketti, kus lisaks valgustuse asendamisele paigaldatakse hoone katusele maksimaalne arv päikesepaneele ning muudetakse tootmisruumide ventilatsioon nõudluspõhiseks. Lisasoovitusena tooks autor välja ka hoone sokli soojustamise märkimisväärse külmasilla mõju vähendamiseks.

## Summary of the diploma work

Energy saving is becoming more important due to climate change and rising energy prices. Keeping indoor climate in desired levels is significant and constant cost in our climate. Factory buildings total net floor area makes 15% of the floor area of buildings where indoor climate maintained, putting them into third place after private residences and apartment building.

Energy consumption of a factory building largely depends of the condition of a building, climate, season, construction solutions, building's systems, equipment, usage and operating procedures, including processes in the building that may affect the building's internal environment, but also of a management skills. Therefore, it is important to analyze each specific building separately to find out the specifics of that building. In addition to energy efficiency, it is also equally important to ensure a comfortable and healthy indoor environment in workers.

The aim of this diploma work is to analyze the energy usage, indoor climate, technical solutions of the production building of Stora Enso Packaging AS and to offer solutions to reduce energy consumption and, if necessary, to improve the indoor climate. Firstly a brief overview of indoor climate parameters, energy efficiency, energy balance and laws and regulations in Estonia, concerning indoor climate, is first given. In the second chapter called "Methodics", the overview of the building and it's systems is given, also methods of monitoring and measurments are described. The last chapter, "Improvement measures", offers various solutions to make the building more energy efficient. The energy saving measures were simulated in IDA ICE 4.8 energy simulation programme. The model was calibrated so that the energy ammounts of the model correspond were close to real ammounts. The costs of the package solutions were calculated by taking consider the real projects and unit prices. Based on the comparison of the measures, the building user or owner can make a choice about how much he wants to invest and how quickly the investment will pay off.

The object of the research was the production building of Stora Enso Packaging AS, which is located in the Tässassilma technology park in Saku municipality. The building was taken into use for the first time in 2003. The building area is 4766.2 m<sup>2</sup>, the heated area is 5058 m<sup>2</sup> and the building's volume is 44 496.7 m<sup>3</sup>. It is a steel hall, outer walls are made from "sandwich" panels and the roof is relatively flat. The office section built to the north-east corner of the building.

The heating source is gas boiler in the technical room and the ventilation is solved by three heat recovering devices and fresh air valves and an exhaust fan in the storage

room. In 2014 a high-pressure air humidifying system was installed in the building. The aim of which is to improve the indoor climate in the production and storage premises of the building and thereby maintain the quality of products and workers comfort. The real consumption data for the years 2014 - 2019 was processed by the building manager. The average annual amount of heat energy consumption corrected with degree days during this period was 499 mWh. Electricity consumption was on average 504 mWh per year, of which almost a third was spent on lighting. The six-year average of water consumption was 1367 m<sup>3</sup>, of which an average of 87 m<sup>3</sup> per year was used for irrigation.

As part of the research, the indoor climate parameters of the building were measured: temperature, relative humidity, carbon dioxide level, light density and particulate matter concentration. A thermographic examination was performed to the structures of the building. In terms of indoor climate indicators, the building remains in indoor climate class I and II.

The energy consumption and improvement measures of the building were simulated with the IDA ICE 4.8 program. The program was calibrated so that the real energy consumption in the normal year and values from the simulation were equivalent. The building energy balance was also compiled using the IDA ICE program. Based on the actual consumption data, the weighted specific energy use of the building (KEK), was calculated. The building is classified as class F.

Since the indoor climate of the building was in good level, the main goal of the improvement measures is to reduce energy consumption without giving negative effect to the indoor climate. A total of 5 energy saving packages were offered, of which the author recommends to implement the first package as soon as possible, which is to replace the existing production and warehouse lighting with LED luminaires. If possible, the author also recommends the implementation of the fifth package, where in addition to replacing the lighting, the maximum number of solar panels need to be installed on the roof of the building and the ventilation of production premises needs to be made demand-based. As an additional recommendation, the author recommends the insulation of the plinth of the building to reduce the significant effect of the thermal bridge.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] A. Allikmaa, T. Kalamees, J. Kurnitski jt, „Eesti energiamajanduse arengukava ENMAKi uuendamise hoonete energiasäästupotentsiaali uuring“, Tallinn 2013, kättesaadav veebist: [https://energiatalgud.ee/img\\_auth.php/5/51/ENMAK\\_2030.\\_Hoonete\\_energias%C3%A4stupotentsiaali\\_uuring.pdf](https://energiatalgud.ee/img_auth.php/5/51/ENMAK_2030._Hoonete_energias%C3%A4stupotentsiaali_uuring.pdf) (kasutatud 03.04.2020)
- [2] Ehitusseadustik, kättesaadav veebist: <https://www.riigiteataja.ee/akt/121122019005> (kasutatud 03.04.2020)
- [3] Töötervishoiu ja tööohutuse seadus, kättesaadav veebist: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113032019177> (kasutatud 03.04.2020)
- [4] Majandus- ja taristuministri 05.06.2015 väljaantud määrus nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika<sup>1</sup>“, kättesaadav veebist: <https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019005>
- [5] Eesti Standardikeskus, „Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast“, EVS-EN 16798:2019, 2019
- [6] T.-A. Kõiv, A. Rant, „Hoonete küte“, 2013
- [7] O. Saks, M. Vilbaste, S. Kinnas, K. Kepler, „Töökeskkonna füüsikaliste ohutegurite parameetrite mõõtmine, juhend“, Tartu 2010, kättesaadav veebist: [https://www.tooelu.ee%2FUserFiles%2FSisulehtede-failid%2Fteemad%2FFuusikaliste-ohuteguritega-seotud-teemad%2FTookeskkonna\\_fuusikaliste\\_ohutegurite\\_parameetrite\\_mootmine.pdf](https://www.tooelu.ee%2FUserFiles%2FSisulehtede-failid%2Fteemad%2FFuusikaliste-ohuteguritega-seotud-teemad%2FTookeskkonna_fuusikaliste_ohutegurite_parameetrite_mootmine.pdf) (kasutatud 14.02.2020)
- [8] „WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants“ World Health Organization Regional Office for Europe. Taani. 2010, kättesaadav veebist: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260127> (kasutatud 15.02.2020)
- [9] Vabariigi Valitsuse 20.03.2001 vastu võetud määrus nr 105 „Ohtlike kemikaalide ja neid sisaldavate materjalide kasutamise töötervishoiu ja tööohutuse nõuded ning töökeskkonna keemiliste ohutegurite piirnõuded<sup>1</sup>“
- [10] Vabariigi Valitsuse 14.06.2007 vastu võetud määrus nr 176 „Töökohale esitatavad töötervishoiu ja tööohutuse nõuded<sup>1</sup>“, kättesaadav veebist: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105122018009> (kasutatud 27.04.2020)
- [11] Eesti Standardikeskus, „Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. 1. osa Sisetöökohad“, EVS-EN 12464-1:2011, 2011

- [12] Majandus- ja taristuministri 30.04.2015. a määrus nr 36 „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele“, kättesaadav veebist: <https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019004> (kasutatud 27.04.2020)
- [13] Ettevõtlus- ja infotehnoloogiaministri 11.12.2018 vastu võetud määrus nr 63 „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded<sup>1a</sup>“, kättesaadav veebist: <https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019002> (kasutatud 27.04.2020)
- [14] „Liginullenergia eluhooned. Rida- ja korterelamud“, kättesaadav veebist: [https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia\\_eluhooned\\_Rida\\_ja\\_korterelamu\\_juhend.pdf](https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia_eluhooned_Rida_ja_korterelamu_juhend.pdf) (kasutatud 25.04.2020)
- [15] EKVÜ konspekt „Külmasillad“ , kättesaadav veebist: <http://www.ekvy.ee/attachments/article/17/K%C3%BClmasilade%20konspekt.pdf> (kasutatud 02.03.2020)
- [16] Ehitisregister, kättesaadav veebist: <http://www.ehr.ee> (25.03.2020)
- [17] Väljavõte Google maps lehelt, kättesaadav veebist: <https://www.google.com/maps/@59.3412525,24.6220769,14.75z>
- [18] Väljavõte Maa-ameti kodulehelt, kättesaadav veebist: [https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app\\_id=UU82A&user\\_id=at&LANG=1&WIDTH=1066&HEIGHT=626&zlevel=10,535586.005,6578197.625](https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1066&HEIGHT=626&zlevel=10,535586.005,6578197.625)
- [19] Airtecsolutions koduleht, kättesaadav veebist: <https://airtecsolutions.com/> (kasutatud 14.03.2020)
- [20] Onsetcomp koduleht, Hobo logeri tooteinfo, kättesaadav veebist: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-013> (kasutatud 14.03.2020)
- [21] Evikon koduleht, Evikon logeri tooteinfo, kättesaadav veebist: <https://www.evikon.ee/et/evikon-mci-m-1/temperatuuri-ohuniiskuse-ja-co2-loger-e2228l-p-12> (kasutatud 14.03.2020)
- [22] Statistikaameti koduleht, elektri hinnad tarbijatüübi järgi, kättesaadav veebist: <https://www.stat.ee/57199> (kasutatud 20.03.2020)
- [23] Riigi Ilmateenistuse koduleht, kättesaadav veebist: <https://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/> (kasutatud 21.03.2020)

**LISAD**

**Lisa 1 Fotod hoonest**









### Energiaarvutuse tulemuste esitamine

| Andmed hoone kohta  |   |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
|---|---|-------------------------------------|------------------------|--|---------------------------------|---|--|---|
| Hoone kasutusotstarve   | Kontorahoone  |                                     |                        |  |                                 |   | <input checked="" type="checkbox"/> Uusehitus      |   |
| Aadress   | Pirimäe tn 10, Tänavasilla küla, Harjumaa                             |                                     |                        |  |                                 |   | <input type="checkbox"/> Oluline rekonstrueerimine |   |
| Ehitusaasta   | 2003  |                                     |                        |  |                                 |   | <input type="checkbox"/> Rekonstrueerimine         |   |
| Kõetav pind   | 655.0 m <sup>2</sup>  |                                     |                        |  |                                 |   | <input type="checkbox"/> Olemasolev hoone          |   |
| Madala temp.seadega pind  | 0.0 m <sup>2</sup>  |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| Netopind  | 655.0 m <sup>2</sup>  |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| <b>Energiaühik</b>  | <b>265 kWh/(m<sup>2</sup> a)</b> (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta) |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| <b>Energiaühik B</b>  | <b>265 kWh/(m<sup>2</sup> a)</b> (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta) |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| <sup>3</sup> Energiaühik arv on lokaalselt toodetud elektriga                     |   |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| Energiakasutuse kokkuvõte   | Hangitud kütused kogus/a  | Hangitud kütused massi või mahuühik | Tarnitud energia kWh/a | Tarnitud energia kWh/(a m <sup>2</sup> ) | Eksportitud energia kWh/a       | Eksportitud energia kWh/(a m <sup>2</sup> ) | Kaalumis-egur -                                    | Kaalutud energiasutus kWh/(a m <sup>2</sup> ) |
| Elekter   | -   | -                                   | 55585                  | 84.9                                     | -                               | -   | 2.0  | 170   |
| Soojusenergia   | -   | -                                   | 62527                  | 95.5                                     | -                               | -   | 1.0  | 95  |
| <b>Summa</b>  | <b>-</b>  | <b>-</b>                            | <b>118111</b>          | <b>180.3</b>                             | <b>-</b>                        | <b>-</b>                                    | <b>-</b>   | <b>265</b>                                    |
| Lokaalselt toodetud ja eksportitud energia  |   |                                     | Lokaalselt toodetud    |  | Eksportitud                     |   | Omatarbe osakaal                                   |   |
|   |   |                                     | kWh/a                  | kWh/(a m <sup>2</sup> )                  | kWh/a                           | kWh/(a m <sup>2</sup> )                     | %  |   |
| Elekter päikesest   |   |                                     | -                      | -  | -                               | -   | -  |   |
| Summaarne energiasutus  |   |                                     | Elekter kWh/a          | Soojus kWh/a                             | Elekter kWh/(a m <sup>2</sup> ) | Soojus kWh/(a m <sup>2</sup> )              |  |   |
| Küttesüsteem  |   |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| Ruumide küte  |   |                                     | -                      | 35948                                    | -                               | 54.9  |  |   |
| Ventilatsioonihu soojendamine   |   |                                     | -                      | 22212                                    | -                               | 33.9  |  |   |
| Tarbevee soojendamine   |   |                                     | -                      | 4367                                     | -                               | 6.7   |  |   |
| Abiseadmete elekter   |   |                                     | 655                    | -  | 1.0                             | -   |  |   |
| Ventilatsioonisüsteem <sup>1</sup>  |   |                                     | 11641                  | -  | 17.8                            | -   |  |   |
| Jahutussüsteem  |   |                                     | 130                    | -  | 0.2                             | -   |  |   |
| Abiseadmete elekter   |   |                                     | -                      | -  | -                               | -   |  |   |
| Valgustus   |   |                                     | 10252                  | -  | 15.7                            | -   |  |   |
| Seadmed   |   |                                     | 12301                  | -  | 18.8                            | -   |  |   |
| <b>Summa (tehnosüsteemide summaarne energiasutus)</b>                             |   |                                     | <b>55585</b>           | <b>62527</b>                             | <b>84.9</b>                     | <b>95.5</b>                                 |  |   |
| <sup>1</sup> ventilatsioonihu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks           |   |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| Netoenergijavajadus   |   |                                     | kWh/a                  | kWh/(a m <sup>2</sup> )                  |                                 |   |  |   |
| Ruumide küte <sup>2</sup>   |   |                                     | 30736                  | 46.9                                     |                                 |   |  |   |
| Ventilatsioonihu soojendamine <sup>3</sup>  |   |                                     | 19991                  | 30.5                                     |                                 |   |  |   |
| Tarbevee soojendamine   |   |                                     | 3930                   | 6.0                                      |                                 |   |  |   |
| Ruumide jahutus   |   |                                     | 454                    | 0.7                                      |                                 |   |  |   |
| Ventilatsioonihu jahutus  |   |                                     | 0                      | 0.0                                      |                                 |   |  |   |
| <sup>2</sup> sisaldab infiltratsioonihu ja ventilatsioonihu soojendamise numbreid |   |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| <sup>3</sup> arvutatud koos soojusagastusega                                      |   |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| Arvutusprogrammi nimi ja versioon   | IDA Indoor Climate and Energy 4.8                                     |                                     |                        |  |                                 |   |  |   |
| 31-10-19  | Alar Ivanson  |                                     |                        |  | /alkinistatud digitaalselt/     |   |  |   |
| Kuupäev   | Nimi  |                                     |                        |  | Allkiri                         |   |  |   |

### Energiaarvutuse tulemuste esitamine

| Andmed hoone kohta  |   |                       |   |                                 |   |                    |   |
|---|---|-----------------------|---|---------------------------------|---|--------------------|---|
| Hoone kasutusotstarve   | Lahoonne  |                       |   |                                 |   |                    | <input checked="" type="checkbox"/> Uusehitus     |
| Aadress   | Pinnmäe tn 10, Tänavsiima küla, Harjumaa                              |                       |   |                                 |   |                    | <input type="checkbox"/> Oulane rekonstrueerimine |
| Ehitusaasta   | 2003  |                       |   |                                 |   |                    | <input type="checkbox"/> Rekonstrueerimine        |
| Kõetav pind   | 2295.0 m <sup>2</sup>   |                       |   |                                 |   |                    | <input type="checkbox"/> Olemasolev hoone         |
| Madala temp.seadega pind  | 0.0 m <sup>2</sup>  |                       |   |                                 |   |                    |   |
| Netopind  | 2295.0 m <sup>2</sup>   |                       |   |                                 |   |                    |   |
| <b>Energiaõhususarv</b>   | <b>232 kWh/(m<sup>2</sup> a)</b> (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta) |                       |   |                                 |   |                    |   |
| <b>Energiaõhususarv B</b>   | <b>232 kWh/(m<sup>2</sup> a)</b> (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta) |                       |   |                                 |   |                    |   |
| <sup>2</sup> Energiaõhususarv ilma lokaalselt toodetud elektri                  |   |                       |   |                                 |   |                    |   |
| Energiakasutuse kokkuvõte   | Hangitud kütused massi või kogus/a                                    | Tamitud energia kWh/a | Tamitud energia kWh/(a m <sup>2</sup> ) | Eksporditud energia kWh/a       | Eksporditud energia kWh/(a m <sup>2</sup> ) | Kaalumis-tegur     | Kaalitud energiakasutus kWh/(a m <sup>2</sup> )   |
| Elekter   | -   | 194759                | 84.9                                    | -                               | -   | 2.0                | 170   |
| Soojusenergia   | -   | 143033                | 62.3                                    | -                               | -   | 1.0                | 62  |
| <b>Summa</b>  | -   | <b>337792</b>         | <b>147.2</b>                            | -                               | -   | -                  | <b>232</b>  |
| Lokaalselt toodetud ja eksporditud energia                                      |   | kWh/a                 | kWh/(a m <sup>2</sup> )                 | kWh/a                           | kWh/(a m <sup>2</sup> )                     | Omatarbe osakaal % |   |
| Elekter päikesest   |   | -                     | -                                       | -                               | -   | -                  | -   |
| Summaarne energiakasutus  |   | Elekter kWh/a         | Soojus kWh/a                            | Elekter kWh/(a m <sup>2</sup> ) | Soojus kWh/(a m <sup>2</sup> )              |                    |   |
| Küttesüsteem  |   |                       |   |                                 |   |                    |   |
| Ruumide küte  |   | -                     | 125965                                  | -                               | 54.9  |                    |   |
| Ventilatsioonihü soojendamine   |   | -                     | 17078                                   | -                               | 7.4   |                    |   |
| Tarbevee soojendamine   |   | -                     | -                                       | -                               | -   |                    |   |
| Abiseadmete elekter   |   | 2295                  | -                                       | 1.0                             | -   |                    |   |
| Ventilatsioonisüsteem <sup>1</sup>  |   | 5668                  | -                                       | 2.5                             | -   |                    |   |
| Jahutusüsteem   |   | -                     | -                                       | -                               | -   |                    |   |
| Abiseadmete elekter   |   | -                     | -                                       | -                               | -   |                    |   |
| Vaigustus   |   | 40629                 | -                                       | 17.7                            | -   |                    |   |
| Seadmed   |   | -                     | -                                       | -                               | -   |                    |   |
| Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)                                |   | 194759                | 143033                                  | 84.9                            | 62.3  |                    |   |
| <sup>1</sup> ventilatsioonihü soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks         |   |                       |   |                                 |   |                    |   |
| Netoenergiavajadus  |   | kWh/a                 | kWh/(a m <sup>2</sup> )                 |                                 |   |                    |   |
| Ruumide küte <sup>2</sup>   |   | 107882                | 46.9                                    |                                 |   |                    |   |
| Ventilatsioonihü soojendamine <sup>3</sup>                                      |   | 15370                 | 6.7                                     |                                 |   |                    |   |
| Tarbevee soojendamine   |   | -                     | -                                       |                                 |   |                    |   |
| Ruumide jahutus   |   | -                     | -                                       |                                 |   |                    |   |
| Ventilatsioonihü jahutus  |   | -                     | -                                       |                                 |   |                    |   |
| <sup>2</sup> sisaldab infiltratsioonihü ja ventilatsioonihü soojendamise ruumis |   |                       |   |                                 |   |                    |   |
| <sup>3</sup> arvutatud koos soojusgaasusega                                     |   |                       |   |                                 |   |                    |   |
| Arvutusprogrammi nimi ja versioon   | IDA Indoor Climate and Energy 4.8                                     |                       |   |                                 |   |                    |   |
| 31-10-19  | Alar Ivanson  |                       |   |                                 |   |                    | /alkinjastatud digitaalselt/                      |
| Kuupäev   | Nimi  |                       |   |                                 |   |                    | Alkin   |

### Energiaarvutuse tulemuste esitamine

| Andmed hoone kohta   |   |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
|--|---|--------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|--|--------------------|---|
| Hoone kasutusotstarve  | Tööstushoone  |                          |                                   |   |                                 | <input checked="" type="checkbox"/> Uusehitus      |                    |   |
| Aadress  | Pirimäe tn 10, Tänavsilma küla, Harjumaa                              |                          |                                   |   |                                 | <input type="checkbox"/> Oluline rekonstrueerimine |                    |   |
| Ehitusaasta  | 2003  |                          |                                   |   |                                 | <input type="checkbox"/> Rekonstrueerimine         |                    |   |
| Kõelav pind  | 2313.0 m <sup>2</sup>   |                          |                                   |   |                                 | <input type="checkbox"/> Olemasolev hoone          |                    |   |
| Madala temp. seadega pind  | 0.0 m <sup>2</sup>  |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
| Netopind   | 2313.0 m <sup>2</sup>   |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
| <b>Energiahõhususarv</b>   | <b>233 kWh/(m<sup>2</sup> a)</b> (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta) |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
| <b>Energiahõhususarv B</b>   | <b>233 kWh/(m<sup>2</sup> a)</b> (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta) |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
| <sup>2</sup> Energiahõhususarv ilma lokaalselt toodetud elektri                |   |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
| Energiakasutuse kokkuvõte  | Hangitud kütused massi või kogus/a                                    | Hangitud kütused mahuhik | Tamitud energia kWh/a             | Tamitud energia kWh/(a m <sup>2</sup> )     | Eksporditud energia kWh/a       | Eksporditud energia kWh/(a m <sup>2</sup> )        | Kaalumis-tegur     | Kaalutud energiasutus kWh/(a m <sup>2</sup> ) |
| Elekter  | -   | -                        | 196286                            | 84.9  | -                               | -  | 2.0                | 179   |
| Soojusenergia  | -   | -                        | 161388                            | 63.1  | -                               | -  | 1.0                | 63  |
| Summa  | -   | -                        | 357674                            | 148.0                                       | -                               | -  | -                  | 233   |
| Lokaalselt toodetud ja eksporditud energia                                     |   |                          | Lokaalselt toodetud kWh/a         | Lokaalselt toodetud kWh/(a m <sup>2</sup> ) | Eksporditud kWh/a               | Eksporditud kWh/(a m <sup>2</sup> )                | Omatarbe osakaal % |   |
| Elekter päikesest  |   |                          | -                                 | -   | -                               | -  | -                  | -   |
| Summaarne energiasutus   |   |                          | Elekter kWh/a                     | Soojus kWh/a                                | Elekter kWh/(a m <sup>2</sup> ) | Soojus kWh/(a m <sup>2</sup> )                     |                    |   |
| Küttesüsteem   |   |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
| Ruumide küte   |   |                          | -                                 | 126943                                      | -                               | 54.9   |                    |   |
| Ventilatsiooniõhu soojendamine   |   |                          | -                                 | 19035                                       | -                               | 8.2  |                    |   |
| Tarbevee soojendamine  |   |                          | -                                 | 15420                                       | -                               | -  |                    |   |
| Abiseadmete elekter  |   |                          | 2313                              | -   | 1.0                             | -  |                    |   |
| Ventilatsioonisüsteem <sup>1</sup>   |   |                          | 6762                              | -   | 2.9                             | -  |                    |   |
| Jahutusüsteem  |   |                          | -                                 | -   | -                               | -  |                    |   |
| Abiseadmete elekter  |   |                          | -                                 | -   | -                               | -  |                    |   |
| Valgustus  |   |                          | 47823                             | -   | 20.7                            | -  |                    |   |
| Seadmed  |   |                          | 47823                             | -   | -                               | -  |                    |   |
| Summa (tehnosüsteemide summaarne energiasutus)                                 |   |                          | 196286                            | 161388                                      | 84.9                            | 63.1   |                    |   |
| <sup>1</sup> ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks       |   |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
| Netoenergiavajadus   |   |                          | kWh/a                             | kWh/(a m <sup>2</sup> )                     |                                 |  |                    |   |
| Ruumide küte <sup>2</sup>  |   |                          | 108536                            | 46.9  |                                 |  |                    |   |
| Ventilatsiooniõhu soojendamine <sup>3</sup>                                    |   |                          | 17132                             | 7.4   |                                 |  |                    |   |
| Tarbevee soojendamine  |   |                          | 13878                             | 6.0   |                                 |  |                    |   |
| Ruumide jahutus  |   |                          | -                                 | -   |                                 |  |                    |   |
| Ventilatsiooniõhu jahutus  |   |                          | -                                 | -   |                                 |  |                    |   |
| <sup>2</sup> sisaldab filtratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojendamise ruumi |   |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
| <sup>3</sup> arvutatud koos soojusvõrguga                                      |   |                          |                                   |   |                                 |  |                    |   |
| Arvutusprogrammi nimi ja versioon  |   |                          | IDA Indoor Climate and Energy 4.8 |   |                                 |  |                    |   |
| 31-10-19   | Aiar Ivanson  |                          |                                   | /alkirjastatud digitaalselt/                |                                 |  |                    |   |
| Kuupäev  | Nimi  |                          |                                   | Alkiri                                      |                                 |  |                    |   |

**Tabel:** Enerhiatõhususarv (ETA)

|  | Pindaala | ETA |
|--|----------|-----|
| Kontorihoone   | 655      | 265 |
| Laohoone   | 2295     | 232 |
| Tööstushoone   | 2313     | 233 |
| Kaalutud keskmine  |          | 237 |
| <b>Hoone energiaerikasutuse arvu klass =&gt; F [222≤KEK≤271 kWh/(m<sup>2</sup>·a)]</b> |          |     |

**Tabel:** Hoone kaalutud energiakasutus (KEK)

|  |          |     |
|--|----------|-----|
| Arvutatud soojusvajadus kütteks normaalaastal  | MWH      | 481 |
| Hoone aastane kaalutud energiaerikasutus (KEK)   | kwh/m2*a | 293 |
| <b>Hoone kaalutud energiaerikasutuse klass =&gt; F [271≤KEK≤330<br/>kWh/(m<sup>2</sup>·a)]</b> |          |     |

**Tabel 23:** Soojuskadude arvutamise tabel




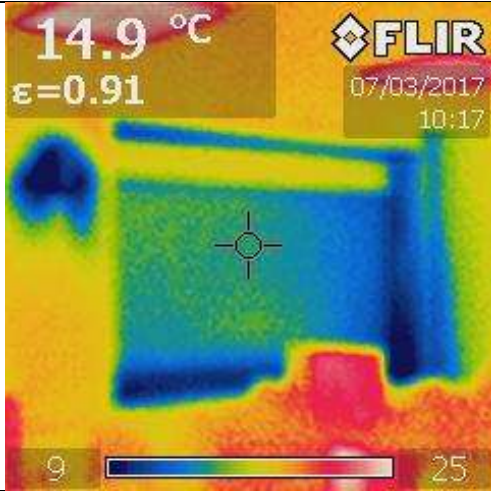

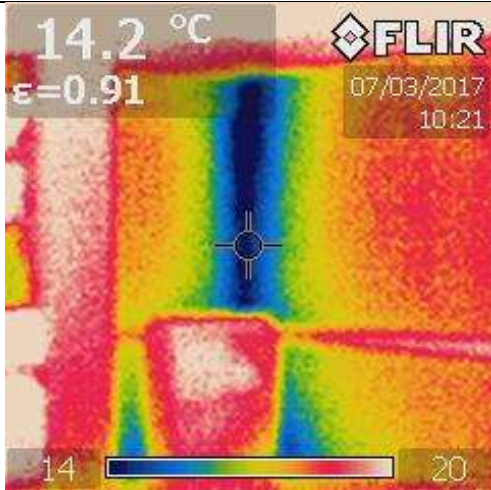


Lisa 3 Soojuskadude arvutustabel


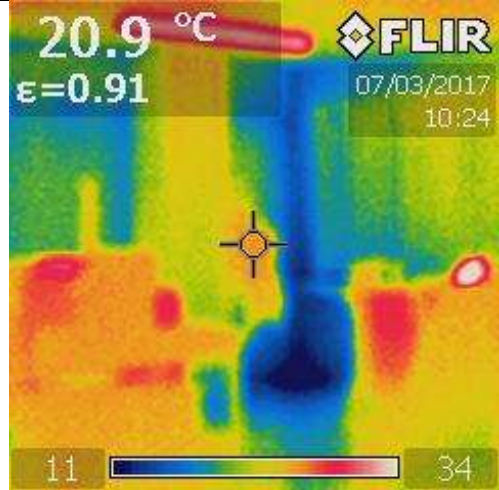

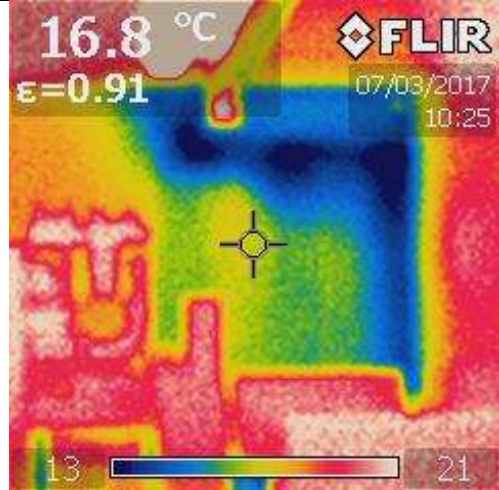

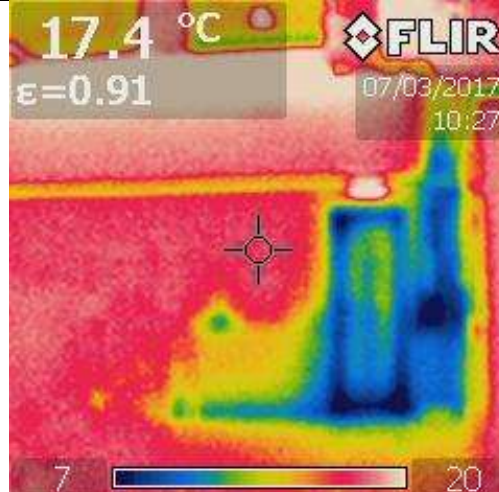
| Soojuskadude arvutustabel |                           |                     |                                |          |                                |             |             |         |          |             |      |           |                  |                |                   |                  |                 |                     |                           |                                  |                              |                      |                  |
|---------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------------|----------|--------------------------------|-------------|-------------|---------|----------|-------------|------|-----------|------------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------|------------------|
| Andmed ruumide kohta      |                           |                     |                                |          |                                | Direktendid |             |         |          |             |      |           |                  |                |                   |                  |                 |                     |                           |                                  |                              |                      |                  |
| Nr.                       | Nimetus                   | Sihttemperatuur, °C | Infiltatsioon koefitsient, l/h | Müki, m³ | Koefitsientsoojustik, l/s, l/h | Nümsus      | U-w, W/m²·K | Pikk, m | Laius, m | Pindala, m² | Ruut | Kõrgus, m | Alusmaterjal, m³ | Katusepind, m² | Temp. Vahetus, °C | Temp. Vahetus, m | Soojuskaotus, W | Paranduskoefitsient | Parandatud soojuskadus, W | Soojuskaotus (ka soojuskaotus) W | Infiltatsioon soojuskadus, W | Ruumi soojuskadus, W | Integreeritud, W |
| 1                         | 2                         | 3                   | 4                              | 5        | 6                              | 7           | 8           | 9       | 10       | 11          | 12   | 13        | 14               | 15             | 16                | 17               | 18              | 19                  | 20                        | 21                               | 22                           | 23                   | 24               |
| 1                         | Duainium                  | 21                  | 0,15                           | 251,9    | 132                            | ns          | 0,282       | 20,8    | 1,8      | 37,4        |      |           |                  | 33,2           | 43,5              | 1                | 407             | 1                   | 407                       | 1990                             | 551                          | 2340                 | 53,8             |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | alcm        | 1,5         | 3       | 1,4      | 4,2         | 1    | 4,2       | 4,2              | 43,5           | 1                 | 274              | 1               | 274                 |                           |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | veeket      | 0,350       | 20,8    | 0,9      | 18,7        |      |           |                  | 18,7           | 43,5              | 1                | 285             | 1                   | 285                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 1-1  | 0,206       | 20,8    | 1        | 20,8        |      |           |                  | 20,8           | 43,5              | 1                | 187             | 1                   | 187                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 1    | 0,286       | 20,8    | 1        | 20,8        |      |           |                  | 20,8           | 43,5              | 1                | 239             | 1                   | 239                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 2    | 0,175       | 16      | 2        | 32,0        |      |           |                  | 32,0           | 43,5              | 1                | 244             | 1                   | 244                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 3    | 0,100       | 11,4    | 2        | 22,8        |      |           |                  | 22,8           | 43,5              | 1                | 99              | 1                   | 99                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 4    | 0,064       | 5,6     | 2,2      | 12,3        |      |           |                  | 12,3           | 43,5              | 1                | 34              | 1                   | 34                        |                                  |                              |                      |                  |
| 2                         | KATLAR                    | 21                  | 0,1                            | 84,53    |                                | ns          | 0,282       | 4,6     | 1,8      | 8,3         |      |           |                  | 8,3            | 43,5              | 1                | 102             | 1                   | 102                       |                                  | 94                           | 464                  | 10,7             |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | veeket      | 0,353       | 4,6     | 0,9      | 4,1         |      |           |                  | 4,1            | 43,5              | 1                | 64              | 1                   | 64                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 1-1  | 0,206       | 4,6     | 1        | 4,6         |      |           |                  | 4,6            | 43,5              | 1                | 41              | 1                   | 41                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 1    | 0,286       | 4,6     | 1        | 4,6         |      |           |                  | 4,6            | 43,5              | 1                | 57              | 1                   | 57                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 2    | 0,175       | 4,6     | 2        | 9,2         |      |           |                  | 9,2            | 43,5              | 1                | 70              | 1                   | 70                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 3    | 0,100       | 4,6     | 1,8      | 8,3         |      |           |                  | 8,3            | 43,5              | 1                | 36              | 1                   | 36                        |                                  |                              |                      |                  |
| 3                         | EL KILBIR                 | 21                  | 0,15                           | 13,5     | 191                            | ns          | 0,282       | 2       | 1,8      | 3,6         |      |           |                  | 3,6            | 43,5              | 1                | 44              | 1                   | 44                        |                                  | 30                           | 165                  | 3,8              |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | veeket      | 0,353       | 2       | 0,9      | 1,8         |      |           |                  | 1,8            | 43,5              | 1                | 28              | 1                   | 28                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 1-1  | 0,206       | 2       | 1        | 2,0         |      |           |                  | 2,0            | 43,5              | 1                | 18              | 1                   | 18                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 1    | 0,286       | 2       | 1        | 2,0         |      |           |                  | 2,0            | 43,5              | 1                | 25              | 1                   | 25                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 21                  |                                |          |                                | põrand 2    | 0,175       | 2       | 1,4      | 2,8         |      |           |                  | 2,8            | 43,5              | 1                | 21              | 1                   | 21                        |                                  |                              |                      |                  |
| 4                         | KODA                      | 18                  | 0,15                           | 12,49    |                                | alcm        | 1,500       | 4,2     | 2,7      | 11,3        |      |           |                  | 11,3           | 40,5              | 1                | 689             | 1                   | 689                       |                                  | 26                           | 764                  | 18,6             |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 1    | 0,206       | 4,7     | 1        | 4,7         |      |           |                  | 4,7            | 40,5              | 1                | 39              | 1                   | 39                        |                                  |                              |                      |                  |
| 5                         | TEPEKODA                  | 18                  | 0,15                           | 45,9     |                                | alcm        | 1,500       | 3,4     | 2,7      | 9,2         |      |           |                  | 9,2            | 40,5              | 1                | 558             | 1                   | 558                       | 0                                | 93                           | 656                  | 21,1             |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | ns          | 0,282       | 1,6     | 2,7      | 4,3         |      |           |                  | 4,3            | 40,5              | 1                | 49              | 1                   | 49                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 1-1  | 0,206       | 5,4     | 1        | 5,4         |      |           |                  | 5,4            | 40,5              | 1                | 45              | 1                   | 45                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 1    | 0,286       | 3,5     | 1        | 3,5         |      |           |                  | 3,5            | 40,5              | 1                | 41              | 1                   | 41                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 2    | 0,175       | 3,2     | 2        | 6,4         |      |           |                  | 6,4            | 40,5              | 1                | 45              | 1                   | 45                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 3    | 0,100       | 3       | 2        | 6,0         |      |           |                  | 6,0            | 40,5              | 1                | 24              | 1                   | 24                        |                                  |                              |                      |                  |
| 6                         | DUSI RÜLLEAD              | 22                  | 0,1                            | 86,4     | 41                             | ns          | 0,282       | 8,8     | 2,7      | 23,8        |      |           |                  | 20,4           | 44,5              | 1                | 256             | 1                   | 256                       | 569                              | 129                          | 939                  | 21,1             |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | alcm        | 1,500       | 1,2     | 1,4      | 1,7         | 2    | 3,38      |                  | 3,4            | 44,5              | 1                | 224             | 1                   | 224                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | põrand 1-1  | 0,206       | 8,8     | 1        | 8,8         |      |           |                  | 8,8            | 44,5              | 1                | 81              | 1                   | 81                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | põrand 1    | 0,286       | 8,8     | 1        | 8,8         |      |           |                  | 8,8            | 44,5              | 1                | 112             | 1                   | 112                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | põrand 2    | 0,175       | 8,8     | 2        | 17,6        |      |           |                  | 17,6           | 44,5              | 1                | 127             | 1                   | 127                       |                                  |                              |                      |                  |
| 7                         | MERSTE GARDEFOOS          | 22                  | 0,1                            | 766,8    | 96                             | ns          | 0,282       | 6       | 3,2      | 19,2        |      |           |                  | 17,5           | 44,5              | 1                | 220             | 1                   | 220                       | 1331                             | 1143                         | 1758                 | 40,2             |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | alcm        | 1,500       | 1,2     | 1,4      | 1,7         | 1    | 1,68      |                  | 1,7            | 44,5              | 1                | 112             | 1                   | 112                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | põrand 1-1  | 0,206       | 6       | 1        | 6,0         |      |           |                  | 6,0            | 44,5              | 1                | 55              | 1                   | 55                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | põrand 1    | 0,286       | 6       | 1        | 6,0         |      |           |                  | 6,0            | 44,5              | 1                | 76              | 1                   | 76                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | põrand 2    | 0,175       | 6       | 2        | 12,0        |      |           |                  | 12,0           | 44,5              | 1                | 94              | 1                   | 94                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | põrand 3    | 0,100       | 6       | 2        | 12,0        |      |           |                  | 12,0           | 44,5              | 1                | 53              | 1                   | 53                        |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 22                  |                                |          |                                | põrand 4    | 0,064       | 6       | 2        | 12,0        |      |           |                  | 12,0           | 44,5              | 1                | 34              | 1                   | 34                        |                                  |                              |                      |                  |
| 8                         | STOODINE                  | 18                  | 0,15                           | 18174    | 1983                           | ns          | 0,282       | 98      | 8,42     | 825,2       |      |           |                  | 747,3          | 40,5              | 1                | 8332            | 1                   | 8332                      | 27572                            | 36936                        | 106396               | 2627,1           |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | alcm        | 1,500       | 1,5     | 2,4      | 3,6         | 14   | 50,4      |                  | 50,4           | 40,5              | 1                | 3062            | 1                   | 3062                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | alcm        | 1,500       | 2,40    | 0,8      | 1,9         | 3    | 9,6       |                  | 9,6            | 40,5              | 1                | 583             | 1                   | 583                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | hõrstsika   | 1,500       | 3       | 4        | 12,0        |      |           |                  | 12,0           | 40,5              | 1                | 729             | 1                   | 729                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | üks         | 1,500       | 0,9     | 2,1      | 1,9         | 3    | 5,67      |                  | 5,7            | 40,5              | 1                | 344             | 1                   | 344                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 1-1  | 0,204       | 97,6    | 1        | 97,6        |      |           |                  | 97,6           | 40,5              | 1                | 808             | 1                   | 808                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 1    | 0,457       | 97,6    | 1        | 97,6        |      |           |                  | 97,6           | 40,5              | 1                | 1806            | 1                   | 1806                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 2    | 0,228       | 93,6    | 2        | 187,2       |      |           |                  | 187,2          | 40,5              | 1                | 1728            | 1                   | 1728                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 3    | 0,115       | 89,6    | 2        | 179,2       |      |           |                  | 179,2          | 40,5              | 1                | 835             | 1                   | 835                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | põrand 4    | 0,070       | 157,2   |          | 157,2       |      |           |                  | 157,2          | 40,5              | 1                | 4455            | 1                   | 4455                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | veeket      | 0,353       | 97,6    | 0,9      | 87,8        |      |           |                  | 87,8           | 40,5              | 1                | 1256            | 1                   | 1256                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | katusealapi | 0,179       | 48,5    | 48,6     | 2357,1      |      |           |                  | 2346,3         | 40,5              | 1                | 17044           | 1                   | 17044                     |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 18                  |                                |          |                                | tragid      | 1,500       | 1,2     | 1,5      | 1,8         | 6    | 10,8      |                  | 10,8           | 40,5              | 1                | 656             | 1                   | 656                       |                                  |                              |                      |                  |
| 9                         | TOORADIE JA TOODANGU LADU | 14                  | 0,15                           | 18174    | 356                            | ns          | 0,282       | 142,6   | 8,42     | 1200,7      |      |           |                  | 1126,3         | 36,5              | 1                | 11586           | 1                   | 11586                     | 15671                            | 33333                        | 96036                | 2631,1           |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | alcm        | 1,500       | 2,40    | 0,8      | 1,9         | 3    | 36,5      |                  | 36,5           | 36,5              | 1                | 1997            | 1                   | 1997                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | hõrstsika   | 1,500       | 3       | 4        | 12,0        | 3    | 36        |                  | 36,0           | 36,5              | 1                | 1971            | 1                   | 1971                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | üks         | 1,500       | 0,9     | 2,1      | 1,9         | 1    | 1,89      |                  | 1,9            | 36,5              | 1                | 102             | 1                   | 102                       |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | põrand 1-1  | 0,204       | 142,6   | 1        | 142,6       |      |           |                  | 142,6          | 36,5              | 1                | 1064            | 1                   | 1064                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | põrand 1    | 0,457       | 142,6   | 1        | 142,6       |      |           |                  | 142,6          | 36,5              | 1                | 2379            | 1                   | 2379                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | põrand 2    | 0,228       | 138,6   | 2        | 277,2       |      |           |                  | 277,2          | 36,5              | 1                | 2306            | 1                   | 2306                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | põrand 3    | 0,115       | 134,6   | 2        | 269,2       |      |           |                  | 269,2          | 36,5              | 1                | 1131            | 1                   | 1131                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | põrand 4    | 0,070       | 1354    |          | 1354,0      |      |           |                  | 1354,0         | 36,5              | 1                | 3459            | 1                   | 3459                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | veeket      | 0,353       | 142,6   | 0,9      | 128,3       |      |           |                  | 128,3          | 36,5              | 1                | 1654            | 1                   | 1654                      |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | katusealapi | 0,228       | 48,5    | 48,6     | 2269,8      |      |           |                  | 2259,0         | 36,5              | 1                | 18790           | 1                   | 18790                     |                                  |                              |                      |                  |
|                           |                           | 14                  |                                |          |                                | tragid      | 1,500       | 1,2     | 1,5      | 1,8         | 6    | 10,8      |                  | 10,8           | 36,5              | 1                | 891             | 1                   | 891                       |                                  |                              |                      |                  |
| 10                        | RÜPPOO TOORUM             | 21                  | 0,1                            | 244,4    | 256                            | ns          | 0,282       | 14,2    | 2,9      | 41,2        |      |           |                  | 32,2           | 43,5              | 1                | 284             | 1                   | 284                       | 2859                             | 3                            |                      |                  |

| Soojuskaadude arvutustabel |                     |              |  |                      |                              |               |                             |           |                |                         |     |                            |                              |                    |                                 |   |                 |   |   |   |  |                      |        |
|----------------------------|---------------------|--------------|--|----------------------|------------------------------|---------------|-----------------------------|-----------|----------------|-------------------------|-----|----------------------------|------------------------------|--------------------|---------------------------------|---|-----------------|---|---|---|--|----------------------|--------|
| Andmed ruumide kohta       |                     |              |  |                      |                              | Pirdetarendid |                             |           |                |                         |     |                            |                              |                    |                                 |   |                 |   |   |   |  |                      |        |
| Nr.                        | Nimetus             | Arvuühik, °C | Infiltratsioonikordarv, n <sub>f</sub> | Müht, m <sup>3</sup> | Kompensatsioon õhk, L/v. 1/s | Nimetus       | U-arv, W/m <sup>2</sup> ·°C | Pikkus, m | Laiuskõrgus, m | Rindala, m <sup>2</sup> | Arv | Maharuumid, m <sup>3</sup> | Arvestuspind, m <sup>2</sup> | Temp. Vahe tsiv.°C | Temp. Vahe tegur n <sub>1</sub> | Soojuskaudu Φ <sub>pk</sub> /Φ <sub>p</sub> , W | Parandustegur β | Parandatud soojuskaud Φ <sub>pk</sub> /Φ <sub>p</sub> , W | Soojuskoormus vent.düü soojendamiseks Φ <sub>vent</sub> , W | Infiltratsioon soojuskaudu Φ <sub>inf</sub> , W | Ruumi osasoojuskaud Φ <sub>pk</sub> /Φ <sub>p</sub> /Φ <sub>inf</sub> /Φ <sub>vent</sub> , W | Eisoojuskaudu H, W/K |        |
| 1                          | 2                   | 3            | 4                                      | 5                    | 6                            | 7             | 8                           | 9         | 10             | 11                      |     |                            |                              | 12                 | 13                              | 14  | 15              | 16  | 17  | 18  | 19   | 20                   |        |
| 1                          | Disainruum          | 21           | 0,15                                   | 251,9                | 132                          | v.s.          | 0,282                       | 20,8      | 1,8            | 37,4                    |     |                            |                              | 33,2               | 43,5                            | 1   | 407             | 1   | 407   | 1990  | 551  | 2340                 | 53,8   |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | aken          | 1,5                         | 3         | 1,4            | 4,2                     | 1   | 4,2                        | 4,2                          | 43,5               | 1                               | 274   | 1               | 274   |   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | sokkel        | 0,350                       | 20,8      | 0,9            | 18,7                    |     |                            |                              | 18,7               | 43,5                            | 1   | 285             | 1   | 285   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 1-1    | 0,206                       | 20,8      | 1              | 20,8                    |     |                            |                              | 20,8               | 43,5                            | 1   | 187             | 1   | 187   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 1      | 0,286                       | 20,8      | 1              | 20,8                    |     |                            |                              | 20,8               | 43,5                            | 1   | 259             | 1   | 259   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | Pörand 2      | 0,175                       | 16        | 2              | 32,0                    |     |                            |                              | 32,0               | 43,5                            | 1   | 244             | 1   | 244   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | Pörand 3      | 0,100                       | 11,4      | 2              | 22,8                    |     |                            |                              | 22,8               | 43,5                            | 1   | 99              | 1   | 99  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 4      | 0,064                       | 5,6       | 2,2            | 12,3                    |     |                            |                              | 12,3               | 43,5                            | 1   | 34              | 1   | 34  |   |  |                      |        |
| 2                          | KATLAR              | 21           | 0,1                                    | 64,53                |                              | v.s.          | 0,282                       | 4,6       | 1,8            | 8,3                     |     |                            |                              | 8,3                | 43,5                            | 1   | 102             | 1   | 102   |   | 94   | 464                  | 10,7   |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | sokkel        | 0,353                       | 4,6       | 0,9            | 4,1                     |     |                            |                              | 4,1                | 43,5                            | 1   | 64              | 1   | 64  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 1-1    | 0,206                       | 4,6       | 1              | 4,6                     |     |                            |                              | 4,6                | 43,5                            | 1   | 41              | 1   | 41  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 1      | 0,286                       | 4,6       | 1              | 4,6                     |     |                            |                              | 4,6                | 43,5                            | 1   | 57              | 1   | 57  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 2      | 0,175                       | 4,6       | 2              | 9,2                     |     |                            |                              | 9,2                | 43,5                            | 1   | 70              | 1   | 70  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 3      | 0,100                       | 4,6       | 1,8            | 8,3                     |     |                            |                              | 8,3                | 43,5                            | 1   | 36              | 1   | 36  |   |  |                      |        |
| 3                          | EL-KILBIR           | 21           | 0,15                                   | 13,5                 | 191                          | v.s.          | 0,282                       | 2         | 1,8            | 3,6                     |     |                            |                              | 3,6                | 43,5                            | 1   | 44              | 1   | 44  |   | 30   | 165                  | 3,8    |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | sokkel        | 0,353                       | 2         | 0,9            | 1,8                     |     |                            |                              | 1,8                | 43,5                            | 1   | 28              | 1   | 28  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 1-1    | 0,206                       | 2         | 1              | 2,0                     |     |                            |                              | 2,0                | 43,5                            | 1   | 18              | 1   | 18  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 1      | 0,286                       | 2         | 1              | 2,0                     |     |                            |                              | 2,0                | 43,5                            | 1   | 25              | 1   | 25  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 21           |  |                      |                              | pörand 2      | 0,175                       | 2         | 1,4            | 2,8                     |     |                            |                              | 2,8                | 43,5                            | 1   | 21              | 1   | 21  |   |  |                      |        |
| 4                          | KODA                | 18           | 0,15                                   | 12,69                |                              | aken          | 1,500                       | 4,2       | 2,7            | 11,3                    |     |                            |                              | 11,3               | 40,5                            | 1   | 689             | 1   | 689   |   | 26   | 754                  | 18,6   |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | Pörand 1      | 0,206                       | 4,7       | 1              | 4,7                     |     |                            |                              | 4,7                | 40,5                            | 1   | 39              | 1   | 39  |   |  |                      |        |
| 5                          | TREPIKODA           | 18           | 0,15                                   | 45,9                 |                              | aken          | 1,500                       | 3,4       | 2,7            | 9,2                     |     |                            |                              | 9,2                | 40,5                            | 1   | 558             | 1   | 558   | 0   | 93   | 856                  | 21,1   |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | v.s.          | 0,282                       | 1,6       | 2,7            | 4,3                     |     |                            |                              | 4,3                | 40,5                            | 1   | 49              | 1   | 49  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | pörand 1-1    | 0,206                       | 5,4       | 1              | 5,4                     |     |                            |                              | 5,4                | 40,5                            | 1   | 45              | 1   | 45  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | pörand 1      | 0,286                       | 3,5       | 1              | 3,5                     |     |                            |                              | 3,5                | 40,5                            | 1   | 41              | 1   | 41  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | pörand 2      | 0,175                       | 3,2       | 2              | 6,4                     |     |                            |                              | 6,4                | 40,5                            | 1   | 45              | 1   | 45  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | pörand 3      | 0,100                       | 3         | 2              | 6,0                     |     |                            |                              | 6,0                | 40,5                            | 1   | 24              | 1   | 24  |   |  |                      |        |
| 6                          | DÜŠŠIRUUMID         | 22           | 0,1                                    | 86,4                 | 41                           | v.s.          | 0,282                       | 8,8       | 2,7            | 23,8                    |     |                            |                              | 20,4               | 44,5                            | 1   | 256             | 1   | 256   | 569   | 129  | 939                  | 21,1   |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | aken          | 1,500                       | 1,2       | 1,4            | 1,7                     | 2   | 3,36                       | 3,4                          | 44,5               | 1                               | 224   | 1               | 224   |   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | pörand 1-1    | 0,206                       | 8,8       | 1              | 8,8                     |     |                            |                              | 8,8                | 44,5                            | 1   | 81              | 1   | 81  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | pörand 1      | 0,286                       | 8,8       | 1              | 8,8                     |     |                            |                              | 8,8                | 44,5                            | 1   | 112             | 1   | 112   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | pörand 2      | 0,175                       | 8,8       | 2              | 17,6                    |     |                            |                              | 17,6               | 44,5                            | 1   | 137             | 1   | 137   |   |  |                      |        |
| 7                          | MEESTE<br>GARDEROOB | 22           | 0,1                                    | 766,8                | 96                           | v.s.          | 0,282                       | 6         | 3,2            | 19,2                    |     |                            |                              | 17,5               | 44,5                            | 1   | 220             | 1   | 220   | 1331  | 1143   | 1788                 | 40,2   |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | aken          | 1,500                       | 1,2       | 1,4            | 1,7                     | 1   | 1,68                       | 1,7                          | 44,5               | 1                               | 112   | 1               | 112   |   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | pörand 1-1    | 0,206                       | 6         | 1              | 6,0                     |     |                            |                              | 6,0                | 44,5                            | 1   | 55              | 1   | 55  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | pörand 1      | 0,286                       | 6         | 1              | 6,0                     |     |                            |                              | 6,0                | 44,5                            | 1   | 76              | 1   | 76  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | pörand 2      | 0,175                       | 6         | 2              | 12,0                    |     |                            |                              | 12,0               | 44,5                            | 1   | 94              | 1   | 94  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | pörand 3      | 0,100                       | 6         | 2              | 12,0                    |     |                            |                              | 12,0               | 44,5                            | 1   | 53              | 1   | 53  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 22           |  |                      |                              | pörand 4      | 0,064                       | 6         | 2              | 12,0                    |     |                            |                              | 12,0               | 44,5                            | 1   | 34              | 1   | 34  |   |  |                      |        |
| 8                          | TOOTMINE            | 18           | 0,15                                   | 18174                | 1988                         | v.s.          | 0,282                       | 98        | 8,42           | 825,2                   |     |                            |                              | 747,5              | 40,5                            | 1   | 8532            | 1   | 8532  | 27572   | 36986  | 106396               | 2627,1 |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | aken          | 1,500                       | 1,5       | 2,4            | 3,6                     | 14  | 50,4                       | 50,4                         | 40,5               | 1                               | 3062  | 1               | 3062  |   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | aken          | 1,500                       | 2,40      | 0,8            | 1,9                     | 5   | 9,6                        | 9,6                          | 40,5               | 1                               | 583   | 1               | 583   |   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | tõsteuks      | 1,500                       | 3         | 4              | 12,0                    |     |                            |                              | 12,0               | 40,5                            | 1   | 729             | 1   | 729   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | uks           | 1,500                       | 0,9       | 2,1            | 1,9                     | 3   | 5,67                       | 5,7                          | 40,5               | 1                               | 344   | 1               | 344   |   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | pörand 1-1    | 0,204                       | 97,6      | 1              | 97,6                    |     |                            |                              | 97,6               | 40,5                            | 1   | 808             | 1   | 808   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | pörand 2      | 0,457                       | 97,6      | 1              | 97,6                    |     |                            |                              | 97,6               | 40,5                            | 1   | 1806            | 1   | 1806  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | pörand 3      | 0,228                       | 93,6      | 2              | 187,2                   |     |                            |                              | 187,2              | 40,5                            | 1   | 1728            | 1   | 1728  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | pörand 4      | 0,115                       | 89,6      | 2              | 179,2                   |     |                            |                              | 179,2              | 40,5                            | 1   | 835             | 1   | 835   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | pörand 4      | 0,070                       | 1572      |                | 1571,6                  |     |                            |                              | 1571,6             | 40,5                            | 1   | 4455            | 1   | 4455  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | sokkel        | 0,353                       | 97,6      | 0,9            | 87,8                    |     |                            |                              | 87,8               | 40,5                            | 1   | 1256            | 1   | 1256  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | katuslagi     | 0,179                       | 48,5      | 48,6           | 2357,1                  |     |                            |                              | 2346,3             | 40,5                            | 1   | 17044           | 1   | 17044   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 18           |  |                      |                              | lagid         | 1,500                       | 1,2       | 1,5            | 1,8                     | 6   | 10,8                       | 10,8                         | 40,5               | 1                               | 656   | 1               | 656   |   |   |  |                      |        |
| 9                          | TOORAIN             | 14           | 0,15                                   | 18174                | 356                          | v.s.          | 0,282                       | 142,6     | 8,42           | 1200,7                  |     |                            |                              | 1126,3             | 36,5                            | 1   | 11586           | 1   | 11586   | 15671   | 33333  | 96035                | 2631,1 |
|                            | JATOODANGU          | 14           |  |                      |                              | aken          | 1,500                       | 2,40      | 0,8            | 1,9                     | 19  | 36,5                       | 36,5                         | 36,5               | 1                               | 1997  | 1               | 1997  |   |   |  |                      |        |
|                            | LADU                | 14           |  |                      |                              | tõsteuks      | 1,500                       | 3         | 4              | 12,0                    | 3   | 36                         | 36,0                         | 36,5               | 1                               | 1971  | 1               | 1971  |   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 14           |  |                      |                              | uks           | 1,500                       | 0,9       | 2,1            | 1,9                     | 1   | 1,89                       | 1,9                          | 36,5               | 1                               | 103   | 1               | 103   |   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 14           |  |                      |                              | pörand 1-1    | 0,204                       | 142,6     | 1              | 142,6                   |     |                            |                              | 142,6              | 36,5                            | 1   | 1064            | 1   | 1064  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 14           |  |                      |                              | pörand 1      | 0,457                       | 142,6     | 1              | 142,6                   |     |                            |                              | 142,6              | 36,5                            | 1   | 2379            | 1   | 2379  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 14           |  |                      |                              | pörand 2      | 0,228                       | 138,6     | 2              | 277,2                   |     |                            |                              | 277,2              | 36,5                            | 1   | 2306            | 1   | 2306  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 14           |  |                      |                              | pörand 3      | 0,115                       | 134,6     | 2              | 269,2                   |     |                            |                              | 269,2              | 36,5                            | 1   | 1131            | 1   | 1131  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 14           |  |                      |                              | pörand 4      | 0,070                       | 1354      |                | 1354,0                  |     |                            |                              | 1354,0             | 36,5                            | 1   | 3459            | 1   | 3459  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 14           |  |                      |                              | sokkel        | 0,353                       | 142,6     | 0,9            | 128,3                   |     |                            |                              | 128,3              | 36,5                            | 1   | 1654            | 1   | 1654  |   |  |                      |        |
|                            |                     | 14           |  |                      |                              | katuslagi     | 0,228                       | 48,5      | 46,8           | 2269,8                  |     |                            |                              | 2259,0             | 36,5                            | 1   | 18790           | 1   | 18790   |   |  |                      |        |
|                            |                     | 14           |  |                      |                              | lagid         | 1,500                       | 1,2       | 1,5            | 1,8                     | 6   | 10,8                       | 10,8                         | 36,5               | 1                               | 591   | 1               | 591   |   |   |  |                      |        |
| 10                         | BÜROO<br>TOORUUM    | 21           | 0,1                                    | 244,4                | 256                          | v.s.          | 0,282                       | 14,2      | 2,9            | 41,2                    |     |                            |                              | 23,2               | 43,5                            | 1   | 28              |   |   |   |  |                      |        |




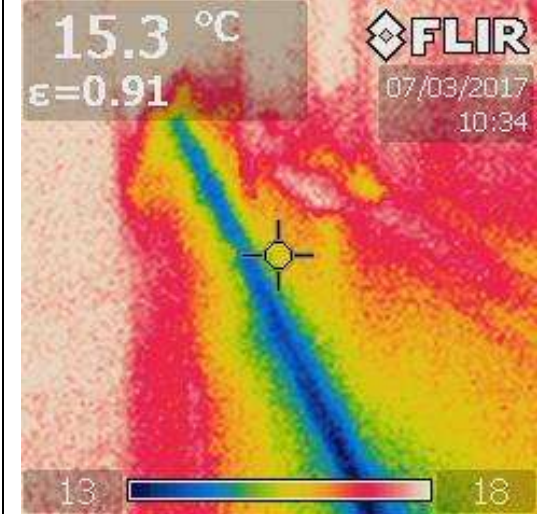

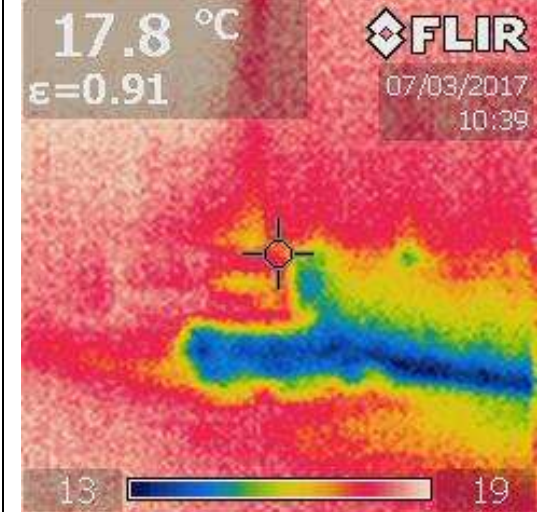

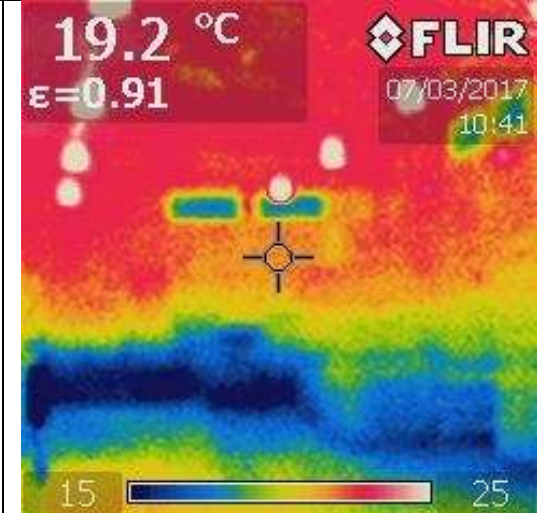
**Lisa 4 Termograafia fotod**

|   |  |
|---|--|
| 1. Kontoribloki akna ümbrus   |  |
|    |  <p>14.9 °C<br/><math>\epsilon=0.91</math><br/>FLIR<br/>07/03/2017<br/>10:17<br/>9 25</p>    |
| 2. Kontoriblokk   |  |
|   |  <p>14.2 °C<br/><math>\epsilon=0.91</math><br/>FLIR<br/>07/03/2017<br/>10:21<br/>14 20</p>  |
| 3. Kontoriblokk   |  |
|  |  <p>16.1 °C<br/><math>\epsilon=0.91</math><br/>FLIR<br/>07/03/2017<br/>10:23<br/>12 47</p> |
| 4. Disainiruum kontoribloki   |  |


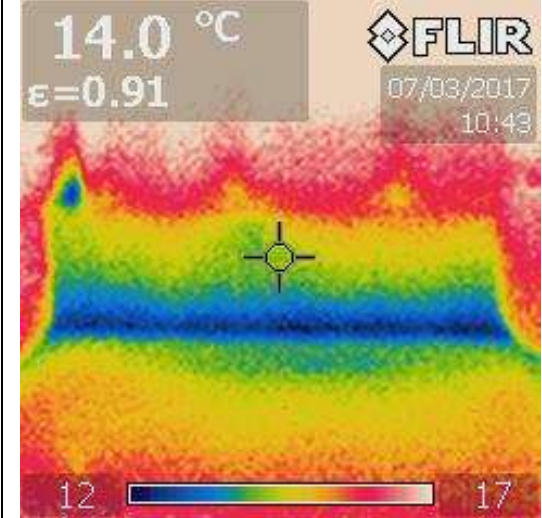

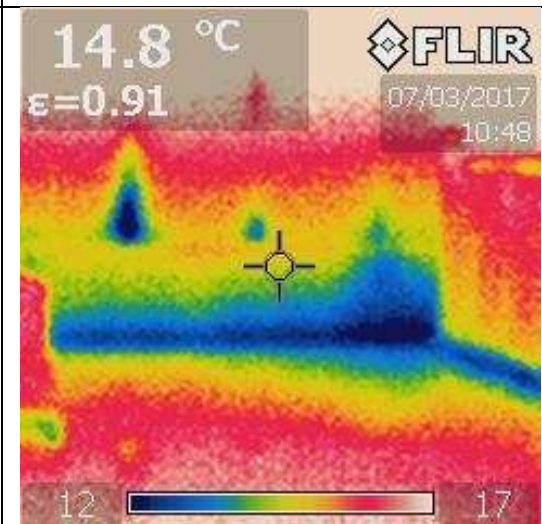

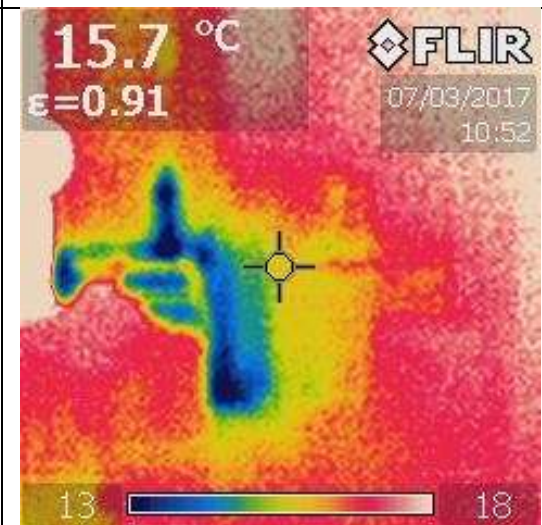
|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>5.Disainiruum kontoriblokis</p>  |  |
|   |   |
| <p>6.Tootmisruum, tehnoruumi kõrval</p>   |  |
|  |  |
| <p>7.Tootmisruumi sein ja katuslae liitekoht</p>                                    |  |


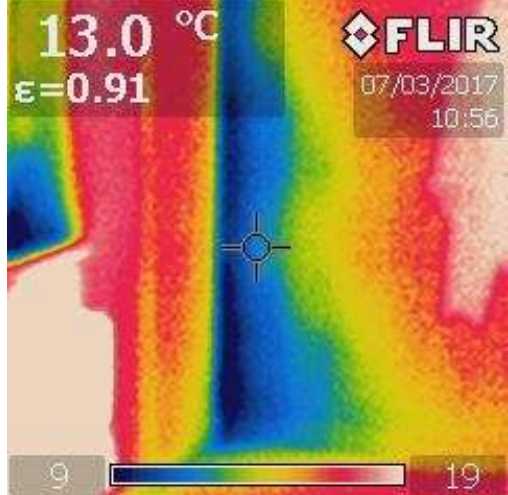

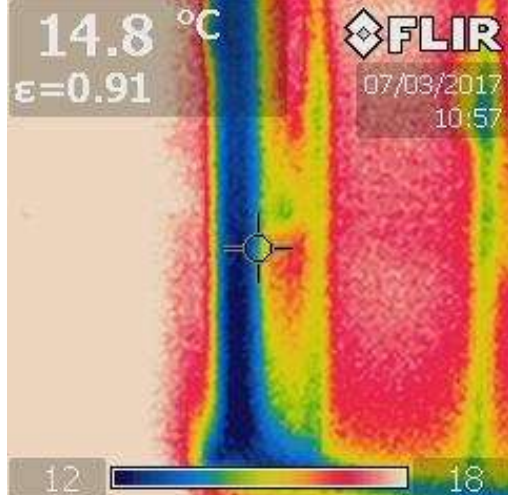

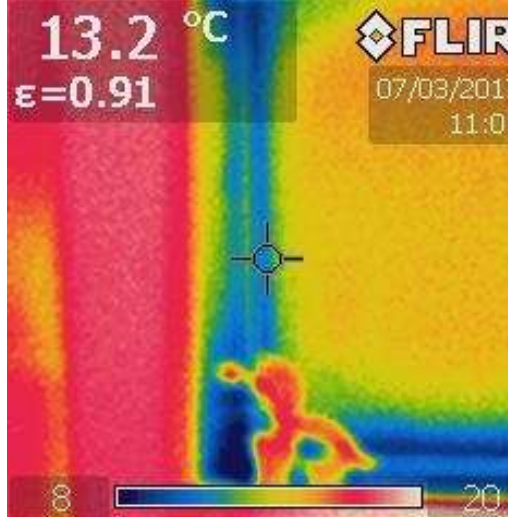


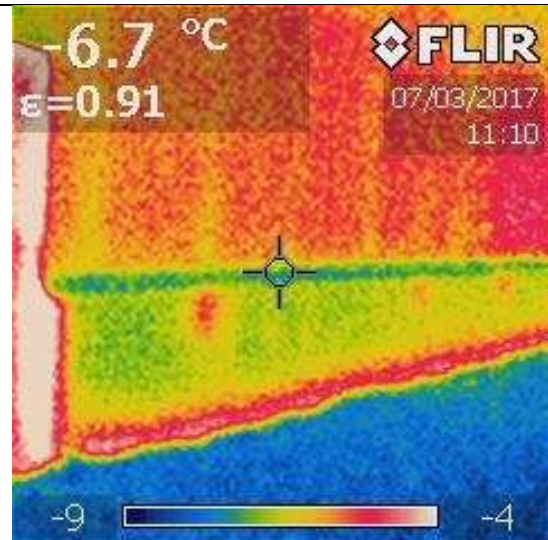
|  |  |
|--|--|
|  |  |
| <p>8. Katuslagi tootmisruumis</p>                  |  |
|  |  |
| <p>9.Sokkel tootmisruumis</p>                      |  |
|  |  |
| <p>10.Põranda ja sokli liitekoht tootmisruumis</p> |  |

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>11.Siseseina ja välisseina liitekoht laoruumis</p>                               |  |
|   |   |
| <p>12.Laoruum</p>   |  |
|  |  |
| <p>13.Laoruum</p>   |  |



|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>14. Laorum</p>   |  |
|   |   |
| <p>15. Tootmisruum</p>  |  |
|  |  |
| <p>16. Välisseina ja siseseina liitekoht<br/>riietusruumis</p>                      |  |

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>17. Siseseina ja välisseina liitekoht</p>  |  |
|   |   |
| <p>18. Akna ümbrus kontoriblokis</p>  |  |
|  |  |
| <p>19. Sokkel ja välissein tootmises</p>  |  |



20. Välssein

