



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**BÜROOHOONE SOOJUSVARUSTUSE  
TIPUKOORMUSTE ANALÜÜS JA VÄHENDAMISE  
VÕIMALUSED TEHNOSÜSTEEMIDE JUHTIMISE  
ABIL**

**OFFICE BUILDING PEAK HEAT DEMAND ANALYSIS AND  
REDUCTION WITH CONTROL OF BUILDING SERVICE  
SYSTEMS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Roman Smirnov  
/nimi/

Üliõpilaskood 122524

Juhendaja: Martin Thalfeldt, professor  
/nimi, amet/

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.

"....." 25.02.2020

Autor: allkirjastatud digitaalselt

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 25.02.2020

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." 25.02.2020

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

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

Mina Roman Smirnov (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 26.10.1992 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose soojusvarustuse tipukoormuste analüüs ja vähendamise võimalused tehnosüsteemide juhtimise abil

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Martin Thalfeldt,

(*juhendaja nimi*)

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.*

allkirjastatud digitaalselt (*allkiri*)

25.05.2020 (*kuupäev*)

# Ehituse ja arhitektuuri instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Roman Smirnov, 122524EAKI (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: EAKI02/09, Hoonete sisekliima ja veetehnika (kood ja nimetus)  
Juhendaja(d): Martin Thalfeldt, professor, +372 5209 657 (amet, nimi, telefon)  
Konsultandid: .....(nimi, amet)  
.....(ettevõtte, telefon, e-post)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Büroohoone soojusvarustuse tipukoormuste analüüs ja vähendamise võimalused tehnosüsteemide juhtimise abil

(inglise keeles) Office building peak heat demand analysis and reduction with control of building service systems

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida büroohoone ruumide kütte, ventilatsiooni sissepuhkeõhu soojendamise ja sooja tarbevee süsteemide tipukoormuste üheaegsust.
2. Analüüsida büroohoone vabasoojuste mõju küttesüsteemi ja soojusvarustuse tipuvõimsustele.
3. Analüüsida võimalusi tehnosüsteemide juhtimise abil vähendada soojusvarustuse tipuvõimsusi.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaate koostamine.	
2.	Hoone mudeli koostamine simulatsioonitarkvaras IDA-ICE.	
3.	Mõõtmistel põhinevate vabasoojuste ja hoone kasutusprofiilide sisestamine mudelisse (mõõtmised ja profiilide koostamine ei kuulu antud töö ülesannete hulka).	
4.	Modelleeritud ja mõõdetud energiatarbimiste üksteisele vastavuse analüüs.	
5.	Analüüs tuvastamaks tehnosüsteemide juhtimise mõju tipukoormustele – analüüsivad võimalused ventilatsiooniseadmete tööaja ja tootlikkuse reguleerimine, küttevee pealevoolu temperatuuri juhtimine, ennustav ruumitemperatuuride juhtimine jne.	

6.	Töö tulemuste süstematiseerimine ja selle ülevaatlikuks esitamiseks jooniste ning tabelite tegemine/viimistlemine.	
7.	Lõputöö lõpliku versiooni kirjutamine.	

**Töö keel:** Eesti      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 25.05.2020 a

**Üliõpilane:** Roman Smirnov      allkirjastatud digitaalselt      25.05.2020 a  
/allkiri/

**Juhendaja:** .....      .....      “.....” .....201....a  
/allkiri/

**Konsultant:** .....  
“.....” .....202....a

/allkiri/

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

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
Lühendite ja tähiste loetelu.....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1. Meetodid.....	10
1.1 IDA-ICE mudel .....	10
1.1.1Mudeli kuju .....	10
1.1.2Kliimafail.....	12
1.1.3Akende parametrid .....	12
1.1.4Küttekehad.....	13
1.1.5Ventilatsioon.....	13
1.1.6Külmasillad.....	14
1.1.7Kasutusprofiilid .....	15
1.2 Soojuskaod .....	19
1.2.1Hoonepiirete õhupidavus.....	19
1.2.2Konstruktsioonitüübid .....	20
1.2.3Infiltratsioon .....	22
1.2.4Ventilatsiooni kasutusprofiil .....	23
1.2.5Kütte kasutusprofiil .....	24
1.2.6Süsihappegaas ja lenduvad orgaanilised ühendid.....	25
2. Tulemused ja analüüs .....	31
2.1.140a. kliima analüüs.....	31
2.1.2Kütte summaarsed erivõimsused .....	34
2.1.3Massiivsuse mõju hoone tipukoormusele.....	36
2.1.4Kasutusprofiilide analüüs .....	40
2.1.5Inimesest tekitava vabasoojuse analüüs .....	44
2.1.6Tipukoormused läbi aastate .....	46
KOKKUVÕTE .....	50
Summary.....	52
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	54

## EESSÕNA

Käesolevas lõputöös uuritakse büroohoone soojusvarustuse tipukoormused ning võimalused nende vähendamiseks tehnosüsteemide juhtimise abil. Hoone soojuskoormus koosneb soojuskadudest läbi hoone välispiirdeid, välisõhu soojendamisest läbi kalorifeeri ja vabasoojusest. Selleks, et vähendada soojussõlme tipukoormused tuleb ruumide küte ja sissepuhkeõhu soojendamise profiilide üheaegsust optimeerida. Samuti uuritakse kui suur on vabasoojuste, konstruktsiooni massivsuse, akende g-faktori ja hoone orientatsiooni mõju hoone tipukoormusele.

Kõik tehtud simulatsioonid on teostatud dünaamilise simulatsiooni tarkvaraga IDA-ICE 4.8.

Autor soovib tänada oma juhendajat Martin Thalfeldt antud magistr töö kaasaitamise eest.

## Lühendite ja tähiste loetelu

A	pindala
C	õhuvoolu kordaja
$C_p$	rõhukoefitsient
$c_p$	erisoojus
H	kõrgus
n	õhuvoolu eksponent
$n_{50}$	õhuvahetuse kordarvu sise- ja välisrõhkude vahel 50 Pa
P	rõhk
$\Delta P$	rõhuvahe
Q	massivooluhulk
$q_{50}$	õhulekkearv rõhuerinevusega 50 Pa
T	Temperatuur (K)
t	Temperatuur (°C)
U	kiirus
$\rho$	tihedus
$\Phi$	soojuskadu
VOC	lenduvad orgaanilised ühenedid
CO <sub>2</sub>	süsihappegaas
VAT	välisõhutemperatuur



## SISSEJUHATUS

Käesolevas magistritöös analüüsitakse Ülemiste City's paiknevat maja. Maja aadressi on Valukoja tn 8 // Sepise tn 9, Lasnamäe LO, Tallinn ja nimetus on Öpiku Ärihoone A. Esialgse eskiisi autoriteks olid arhitektid Mattias Agabus ja Meelis Vanker, 12.12.2011. Eskiis hõlmas käsitletavas kvartalis ka üle Sepise tänava paiknevaid Valukoja tn 10, Sepise tn 8 ja Sepise tn 10 hoonekompleksi soovitusliku nimetusega nn Atko Viru maja. Hoone on 13-korruseline, otstarve on ärihoone, 3000m<sup>2</sup>maapealse pindalaga ja 5480m<sup>2</sup> maa-aluse pindalaga.

Soojuskaod on ruumiõhust läbi välispiirete väliskeskkonda kadunud soojushulk. Sellele mõjutab arvutusliku sise- ja välistemperatuuri vahe, välispiirete pindala ja materjali soojusjuhtivus.

Vastavalt hoonete energitõhususe arvutamise metoodikale soojuskadude arvutamiseks tuleb arvestada välispiirete pindalate sisemõõdudega (välisseinte või katuslae ja põranda sisepindade vahelised mõõdud koos ruumide ning kandvate ja mittekanvate vaheseintega). Soojuskadude arvutamisel ruumide kaupa arvestatakse välispiirete pindalad vaheseinte ja -lagede telgmõõtudega. Välispiirete (välisseinte, põrandate ja katuste) soojuskaod arvutatakse vastavalt välispiirdeosa soojuslähivusele ja sisemõõdudega arvutatud pindalale. Korrapärased külmasillad (näiteks jäigastussidemed, müüriankrud) võetakse arvesse soojuslähivuse väärtuses. Välispiirete ja külmasillade soojuslähivustena kasutatakse ehitusprojekti andmeid.

Samuti on vaja võtta arvesse ka infiltratsiooni, mis võib mõjutada suurel määral hoonete soojuskadudele. Seda võib arvutada kas standardist EVS-EN 12831-1:2017 või MTM määrusest nr 58 võetud infiltratsiooni arvutusmetoodikaga või simuleerida IDA-ICE vaikesätete ja ASHRAE arvutuslike tuule parameetrite kaudu. Vastavalt Taaniel Rebane magistritööle, juhul kui arvutada infiltratsioon küte deminsioneerimiseks vastavalt määrusele, siis hoone siseõhutemperatuur võib langeda alla nõutud väärtusest (21°C). Dimensioneerides EVS-EN 12831-1:2017 standardi metoodika järgi, on küttevõimsused vähemalt 90% tõenäosusega tagatud. IDA-ICE vaikesätete arvutus õhulekete jaotusega võib kasutada juhul kui hoonel tekib korstna efekt, mis tekib kui korruseid on rohkem kui üks.

Vastavalt standardile EVS 844:2016 ruumides võib arvestada ainult stabiilse soojuseraldusega, mis on tekitatud ööpäevaringse töötamisega tehnoloogiliste seadmete kasutamisel, seega küttekehade pinna vähendamine ei ole soovitatav. Aga soojusallika arvutuslikku võimsust võib vähendada arvestades soojustarbimise ja soojuseralduste üheaegsusega.

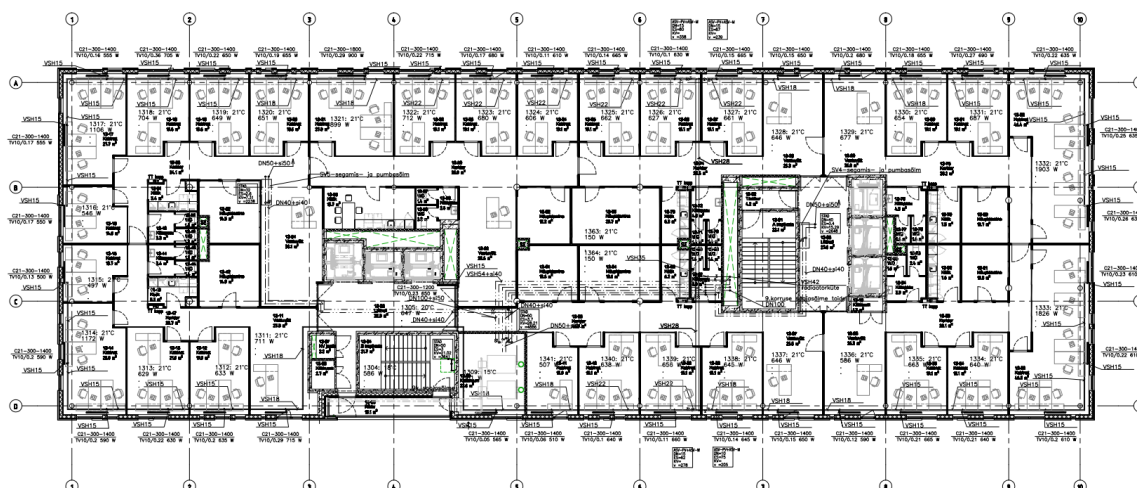
# 1. Meetodid

Antud peatükis annab autor ülevaate peamistest simulatsioonimudeli parameetritest ja kuidas mudel on üles ehitatud. Vaadatakse üle määruse ja autori poolt loodud kasutusprofiilid. Analüüsitakse süsihappegaasi ja lenduva organiliste ühendite kontsentratsioonid loodud kasutusprofiilides. Tutvustatakse arvutatud inimeste kasutusprofiiliga.

## 1.1 IDA-ICE mudel

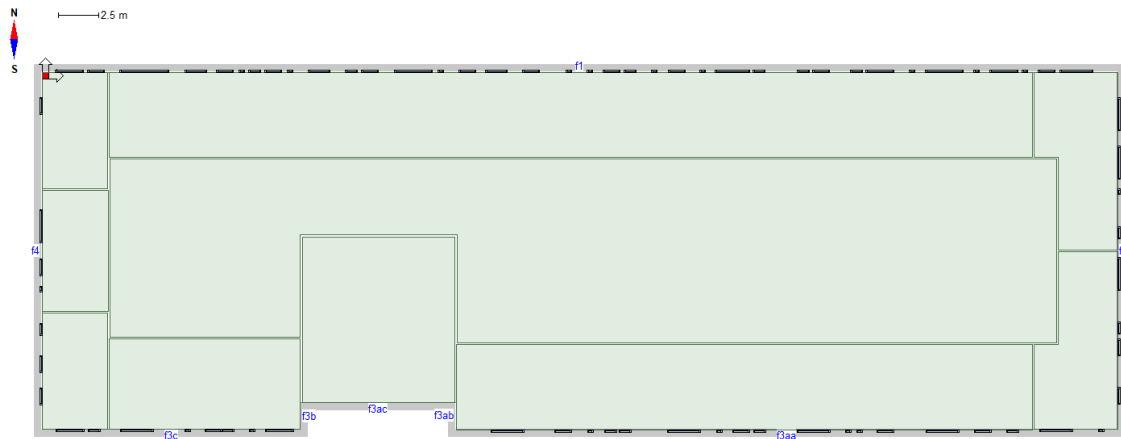
### 1.1.1 Mudeli kuju

Mudeli koostamiseks on kasutatud IDA-ICE simulatsiooni programm 4.8 SP1 versiooniga. Selleks, et kiirendada simuleerimist oli otsustatud alguseks kasutada ainult ühe tüüpkorruse plaan, millena on valitud 13. korrus. Korruse plaan on välja toodud joonisel (vt Joonis 1)



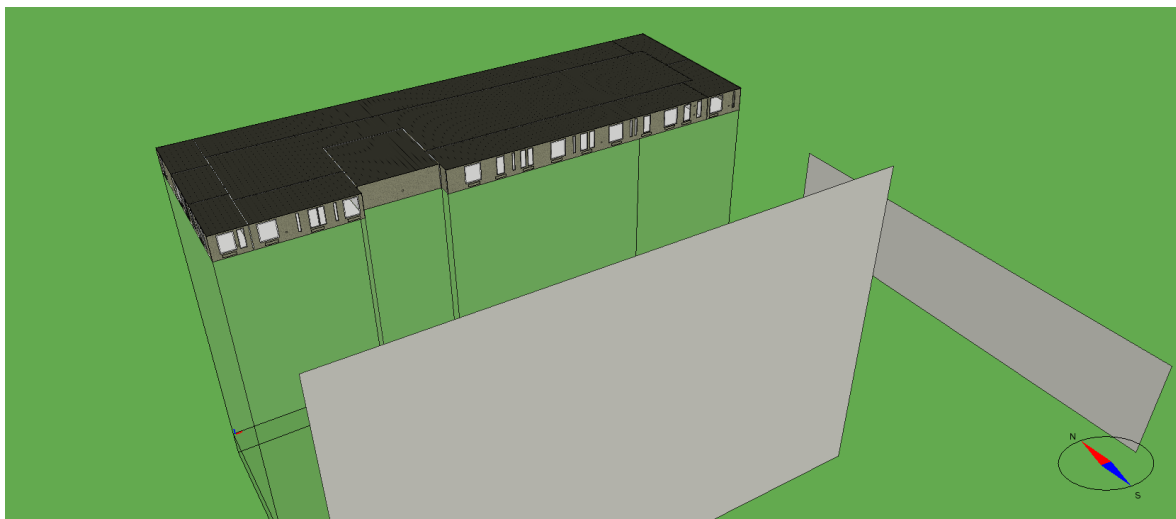
Joonis 1 Kontorihoon 13. korruse plaan

Korrus koosneb paljudest üksikutest bürooruumidest. Mudelis oli samuti otsustatud grupeerida neid ilmakaarete järgi selleks, et kiirendada simuleerimist ja mitte muuta vabasoojuste mõju päiksest. Tsoneerimine on välja toodud joonisel (vt Joonis 2)

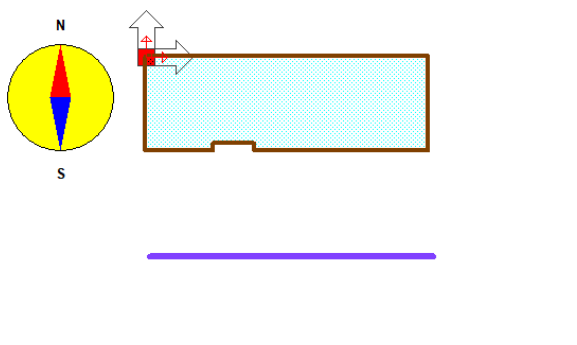


Joonis 2 Korruse tsoneeremise plaan

Selleks, et vabasoojuste mõjud olid õigesti arvatud, hoone oli paigaldatud mudelis sama ilmakaare suunas, nagu on see ehitatud. Samuti mudelis on arvestatud ka ümbritsevate hoonetega, mis tekitavad varju. Väljatrükk mudelist on välja toodud joonisel (vt Joonis 3)



Joonis 3 Mudeli kuju koos varjutavate hoonetega (3d vaate)



Joonis 4 Mudeli kuju koos varjutavate hoonetega (pealtvaate)

Suurema varjustusena on teine Õpiku hoone mis on 44m kõrge, sama lai ja asub umbes 26m kaugusel. Väiksema varjustusena on olemasolev hoone mis on ainult 15m kõrge ja asub umbes 33m paremal uuritavast majast.

### 1.1.2 Kliimafail

Kliimafailina oli kasutatud 40. a Väliskliima Üllar faili, kus on mõõdetud väliskliima parameetrid 1970-2012 aastani.

Kliimafailis on defineeritud 8 parameetrit:

- Temperatuur °C
- Suhteline niiskus RH%
- Tuule suund °C
- Tuule kiirus m/s
- Sademed mm
- Otsene kiirgus W/m<sup>2</sup>
- Hajuskiirgus W/m<sup>2</sup>

Nende andmete abil saab täpselt hinnata kõige kriitilisemad päevad ja analüüsida kuidas saab tipukoormused vähendada.

### 1.1.3 Akende parameetrid

Projektis antud akende parameetrid on summaarse U-arvuga 0,85 W/(m<sup>2</sup>K) ja g-faktoriga kas 0,5 või 0,3, sõltuvalt ilmakaarest. Akende väärtused on toodud tabelis (vt Tabel 1)

Tabel 1 Akende väärtused vastavalt ilmakaaretele

Suund	g-faktor	U-arv W/(m <sup>2</sup> K)
Aken N	0.5	0.85
Aken S	0.3	0.85
Aken E	0.3	0.85

Kuna rohkem infot projektis ei olnud, seega kasutasin Calumen Live veebiprogrammi, kus saab g-faktori ja U-arvu teades valida konkreetsed aknad kust saab teada akende läbilaskvused (Visible transmittance), mis võib mõjutada valgusest tekitava vabasoojust.

#### 1.1.4 Küttekehad

Küttekehadena antud mudelis on kasutatud veepõhised radiaatorid. Radiaatorid on paigaldatud täpselt sama kohtadele, kus nad paiknevad kütteprojekti, enamasti akende kohal, selleks et oleks tagatud operatiivne temperatuur välisseina juures. Radiaatorite küttevõimsused (design power) ja mõõdud on samuti võetud kütteprojekti. Näite tootena on kasutatud Purmo Compact radiaatorid, kus sõltuvalt radiaatorite kõrgusest ja tüüpest saab teada n-väärtust (n-value), mis antud juhul on 1,28. Sisetemperatuurid, pealevoolu-, ja tagasivoolu temperatuurid on samuti võetud kütteprojekti. Radiaatorite paigaldamise viis mudelis on näidatud joonisel (vt Joonis 5 **Error! Reference source not found.**)

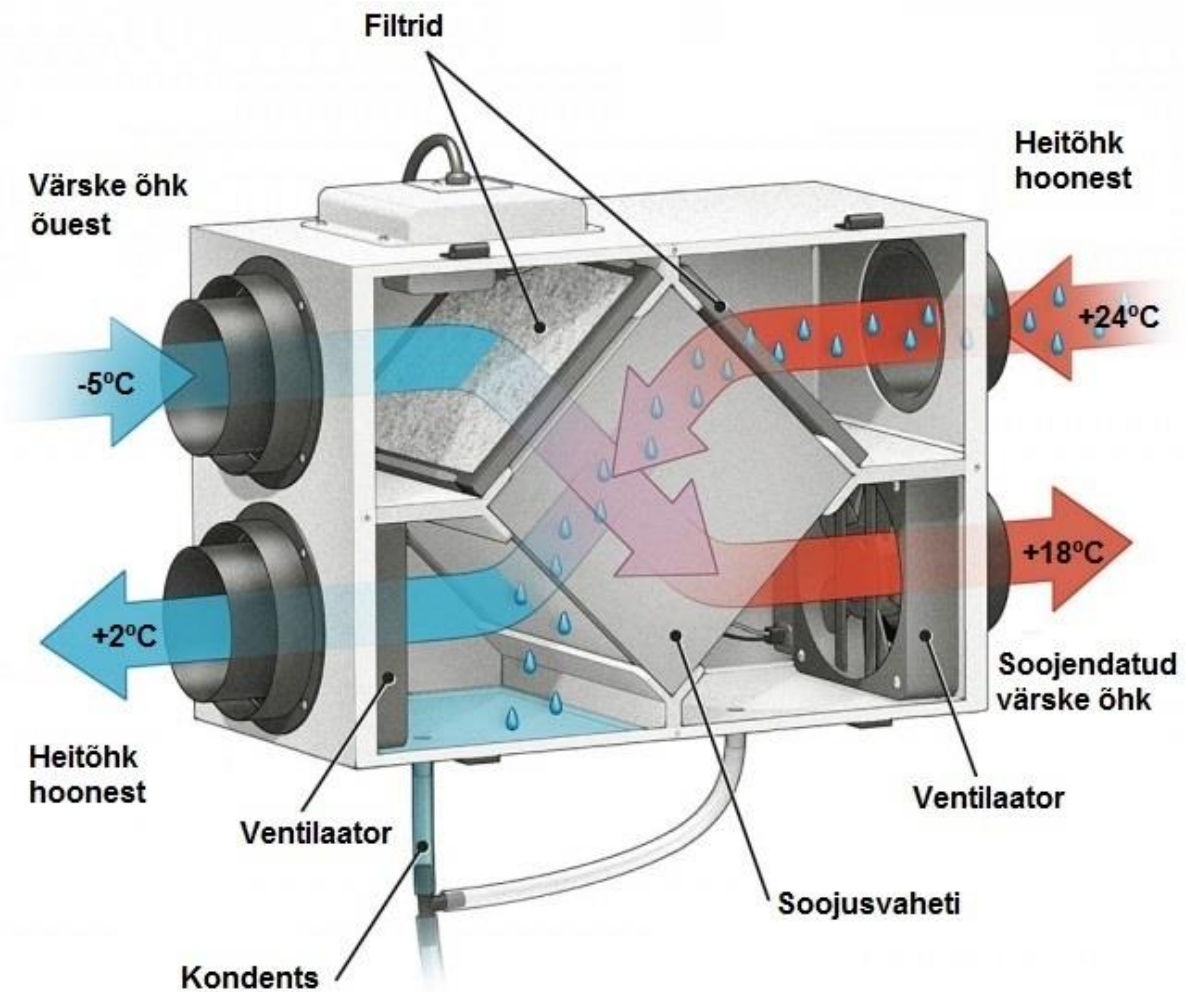


Joonis 5 Valitud küttekehade paigalduse viis

Radiaatorite valimisel ei tohi arvestada sisemiste ja välimiste vabasoojusega. Sisemised vabasoojused on inimestest, seadmetest ja valgustustest tingitud vabasoojused. Välimiste vabasoojused all mõistetakse päikest tingitud vabasoojus.

#### 1.1.5 Ventilatsioon

Antud hoonel on kasutatud plaatsoojusvahetiga ventilatsiooni agregaadid, mis võimaldavad kasutada siseõhu soojust värskes õhus küttes, tagades häid sissekliima ruumides väiksema energiakuludega. Agregadi näite on toodud joonisel (vt Joonis 6)



Joonis 6 [24] Soojustagastusega agregaaadi tööpõhimõtte

Ventilatsiooni vooluhulgad ja sissepuhke temperatuurid on sisestatud vastavalt projekti andmetele. Kuna mudelis ei ole kõik ruumid eraldi kajastatud, oli võetud keskmine ventilatsiooni vooluhulk jagatud ruutmeetri kohta. Selleks arvuks sain  $1.5 \text{ (l/s)/m}^2$ . Ventilatsiooni sissepuhke temperatuuriks on võetud  $+18^{\circ}\text{C}$  ( $+17^{\circ}\text{C}$  enne ventilaatorit ja  $+18^{\circ}\text{C}$  peale ventilaatorit), mis on  $3^{\circ}\text{C}$  madalam kui ruumi sisetemperatuur. Selleks, et kasutada päikest tekitavad vabasoojused on igale ilmakaarele valitud ventilatsiooniseade. SV-1 kuni SV-4 vastavalt.

### 1.1.6 Külmasillad

Külmasillad on kohad piirdetarindis, kus soojusjuhtivus on lokaalselt suurem ümbritseva tarindi soojusjuhtivusest. Külmasillad võivad olla geomeetrilised (näiteks välisseina välisnurk, pörand ja välisseina liitumine, välisseina ja akna liitekoht jne.) või põhjustatud ehituskonstruktivist

lahendusest (näiteks tarindite liitekohad, soojustusest läbiviigid jne.). Külmasildade kahjulikkus seisneb ühelt poolt soojusvoolu suurenemises (isolatsiooni vähenemise tõttu) ja teisalt tarindi sisepinna temperatuuri alanemises. Külmasilla juures on tarindi sisepinna temperatuur madalam ja välispinna temperatuur kõrgem. Lisaks külmasillale võivad sisetemperatuuri lokaalset jahenemist põhjustada ka soojustuse puudumine, vead soojustuse paigaldamisel, märgunud soojustus, alarõhu tingimustes õhutõkke lekked ning kütte ja ventilatsioonisüsteemide toimivus.

Külmasillade kaudu soojuskadude arvutamiseks on kasutatud antud hoonel energiamärgises toodud väärtused, mis on antud tabelis (vt Tabel 2)

Tabel 2 Külmasildade joonsoojusläbivused

Soojuskaod läbi külmasildade	
Külmasild	$\Psi$ W/(K·m)
Välissein-Välissein	0.10
Katuslagi-Välissein	0.20
Põrand-Välissein	0.30
Akna seinakinnitus	0.10
Välissein-vahelagi	0.10
Välissein-Välissein	-0.10

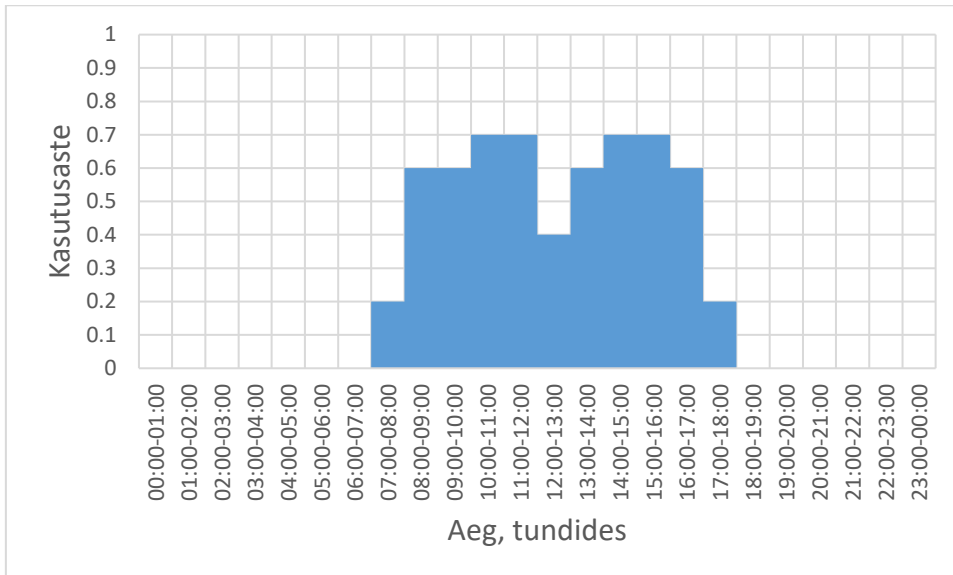
### 1.1.7 Kasutusprofiilid

Hoone kasutusprofiilid erinevate maja tüüpidele on toodud määruses nr. 58, 3. peatükis. Nõuded kontorihoonele on toodud Tabelis (vt Tabel 3)

Tabel 3 Hoone tüüpiline kasutus ja sellele vastav suurim vabasoojus kõetava pinna ruutmetri kohta

Hoone kasutusotstarve	Kontorihoone	
	kellaeag	07:00-18:00
Kasutusaeg	h/24h	11
Kasutusaeg	d/7d	5
Kasutusaste	0.55	
Inimene w/m <sup>2</sup>	5	
Inimene m <sup>2</sup> /inim.	17	
Valgustus w/m <sup>2</sup>	10	
Seade w/m <sup>2</sup>	12	

Tabelis (Joonis 7) on nähtav millised on antud hoone tüübile kasutusajad, milline on kasutusaste ja kui suured on vabasoojused valgustest, seadmetest ja inimestest, selle abil saab hinnata hoonete energiatõhusust.



Joonis 7 Määruse kontorihoone kasutusprofiil

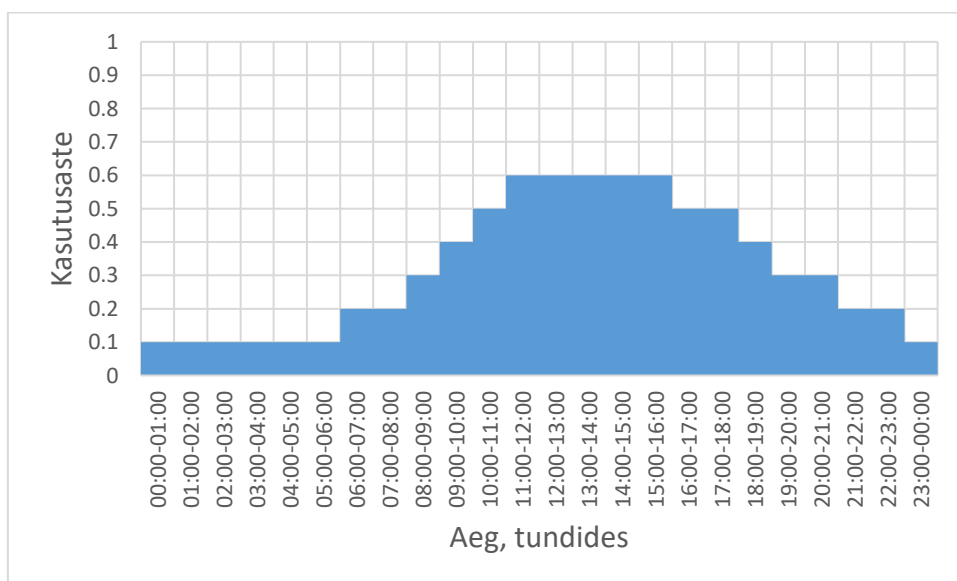
Nende profiilide järgi saab prognoosida inimeste viibimine hoonetel ning seadmete ja valgustite tööajad. Aga määruses olevad hoonete kasutusprofiilid ei vasta olemasolevate hoonete tarbimisandmetele, mis tõestas oma töös [8]Andrei Engels. „Suured erinevused on tööpäevade kestvuste osas ning on üldse arvestamata seadmete ja/või valgustuse kasutusasteid töövälisel ajal ning nädalavahetustel. Installeeritud tüüp võimsuste osas leiti, et valgustuse võimsused on määruste väärtustega ligikaudu samal tasemel, kuid kasutusastme puhul leiti suured sõltuvused valgustussüsteemide tüüplahendustest, mis nõuavad lisaurimist. Seadmete võimsuste osas leiti, et korruste keskmine kasutatav võimsus on vastavuses metoodika tüüpväärtusele.“

Arvestades seda oli võetud kasutusele antud hoone reaalne kasutusprofiil (vt Tabel 4) ja joonised (vt Joonis 8 ja Joonis 9)

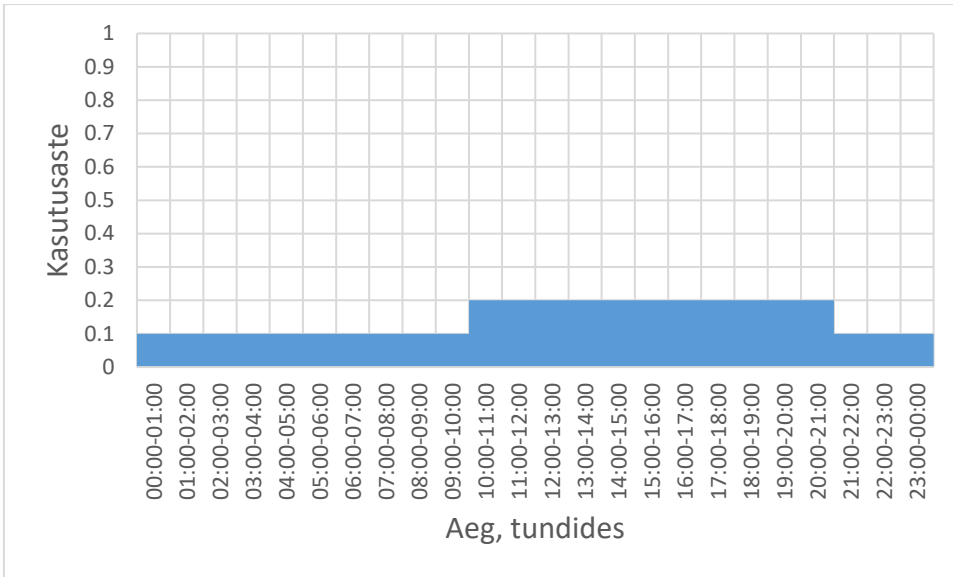


Tabel 4 Kehtiv ja arvatud ETA profiilid

Aeg	ETA kehtiv		ETA arvatud	
	Tööpäev	Nädalavahetus	Tööpäev	Nädalavahetus
00:00-01:00	0	0	0.1	0.1
01:00-02:00	0	0	0.1	0.1
02:00-03:00	0	0	0.1	0.1
03:00-04:00	0	0	0.1	0.1
04:00-05:00	0	0	0.1	0.1
05:00-06:00	0	0	0.1	0.1
06:00-07:00	0	0	0.2	0.1
07:00-08:00	0.2	0	0.2	0.1
08:00-09:00	0.6	0	0.3	0.1
09:00-10:00	0.6	0	0.4	0.1
10:00-11:00	0.7	0	0.5	0.2
11:00-12:00	0.7	0	0.6	0.2
12:00-13:00	0.4	0	0.6	0.2
13:00-14:00	0.6	0	0.6	0.2
14:00-15:00	0.7	0	0.6	0.2
15:00-16:00	0.7	0	0.6	0.2
16:00-17:00	0.6	0	0.5	0.2
17:00-18:00	0.2	0	0.5	0.2
18:00-19:00	0	0	0.4	0.2
19:00-20:00	0	0	0.3	0.2
20:00-21:00	0	0	0.3	0.2
21:00-22:00	0	0	0.2	0.1
22:00-23:00	0	0	0.2	0.1
23:00-00:00	0	0	0.1	0.1



Joonis 8 Arvutatud kontorihoone kasutusprofiil tööpäevadel



Joonis 9 Arvutatud kontorihoone kasutusprofiil nädalavahetusel

## 1.2 Soojuskaod

Soojusjuhtivuskaod piirdetarindite kaudu on üks kõige suurem tegur, mis mõjutab hoone energiakulule. Vastavalt standardile EVS 844:2016 soojuskaod tuleb arvutada välisõhu arvutuslike temperatuuride najal, igas linnas on see arv erinev ning on toodud tabelis (vt **Error! Reference source not found.** )

Tabel 5 Välisõhu arvutuslikud temperatuurid

Asukoht	VAT, °C
Tallinn	-21
Tartu	-25
Narva	-24
Pärnu	-22
Rakvere	-24
Viljandi	-24
Võru	-25
Valga	-24
Jõgeva	-25
Jõhvi	-24
Türi	-24
Kuressaare	-19
Haapsalu	-20
Rapla	-23
Kärdla	-19

Antud töö raames välisõhu arvutusliku temperatuurina on võetud -21°C, kuna hoone asub Tallinna linnas. Soojuskadusid läbi välispiirdeid saab arvutada valemiga

$$\Phi = U \times A \times (T_i - T_u)$$

U = Materjali soojusjuhtivus W(m<sup>2</sup>\*K)

A = Piirde pindala m<sup>2</sup>

T<sub>i</sub> = Arvutuslik sisetemperatuur °C

T<sub>u</sub> = Arvutuslik välistemperatuur °C

### 1.2.1 Hoonepiirete õhupidavus

Selleks, et täpsemalt analüüsida erinevad kasutusprofiilid oli otsustatud simuleerida neid erineva õhulekkete suuruste, konstruktsioonitüübi (massiivsuse) korral ja kuupäeva järgi.

Õhulekkeks oli valitud 1.0, 1.5, 2.5 ja 4.0 m<sup>3</sup> / (h\*m<sup>2</sup>).

Arvutasin õhulekkeid järgmise valemiga

$$Q = C \Delta P^n,$$

kus  $Q$  – õhulekke massivooluhulk kg/s

$\Delta P$  – rõhuvahe üle välispiirde, Pa

$C$  – õhuvoolu kordaja, kg/(s\*Pa<sup>n</sup>)

$n$  – õhuvoolu eksponent

### 1.2.2 Konstruksioonitüübid

Antud lõputöös on kasutatud simulatsiooni arvutuses kaht erinevat tarindit, selleks et analüüsida kuidas mõjutab konstruktsioonimassiivsus hoone tipukoormusele. Hoone ja ruumide piirdetarindite soojuslik massiivsus avaldab mõningal määral mõju hoone jahutus- ja kütteenergiatarbele – osa vabasoojusest salvestub hoone konstruktsioonidesse ja ei mõjuta kohe kütte- või jahutustarbele. Massiivsuse mõju võib kasutada kütte-, ja ventilatsiooni profiilide koostamisel, näiteks enne tööpäeva algust kui tipukoormuse ei ilmu, eelkõige rümiõhku, seega küttes hoonete tarindid.

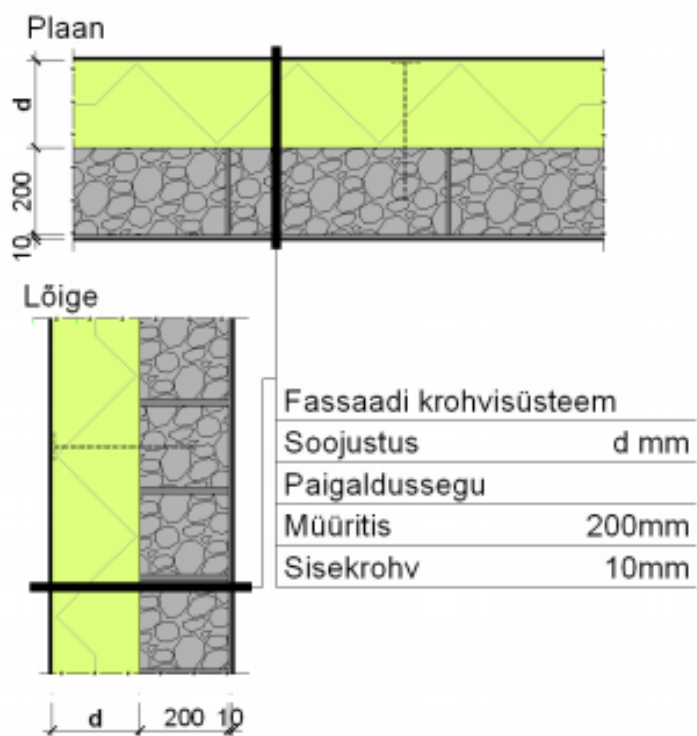
Soojusmassiivne materjal peab olema piisava tiheduse, suure soojusmahtuvuse, sobiva soojusjuhtivusega.

Mida tihedam on materjal, seda vähem on selle sees õhutaskuid ja seda rohkem sooja on see võimeline salvestada. Isoleerivad materjalid (näiteks ehitusvillad), milletes on palju õhutaskuid, ei tööta soojusmassina.

Sobiva materjali omadustega on betoonkonstruktsioon, Erinevate betoonkonstruktsioonide omadused on toodud tabelis (vt Tabel 3) ning selle näide joonises [20] (vt Joonis 10).

Tabel 3 Raskekonstruktsiooni materjalikihtide paksused ja soojuslikud omadused

Konstruksioon	Materjal	toote paksus, mm	Materjali soojuseri juhtivus, $\lambda$ , W/(m·K)	Summaarne soojuseri juhtivus, $\lambda$ , W/(m·K)
Katuslagi	Mineraalvill	50	0.037	0.15
	Kivivill	180	0.035	
	Raudbetoonplaat	250	1.7	
Vahelagi	Raudbetoonplaat	300	1.7	-
Valissein	Kivivill	160	0.035	0.2
	Raudbetoonplaat	150	1.7	



Joonis 10 Raskekonstruktsiooni näide

Kuna püüan selles töös vähendada hoone energiatabimist, seega valisin teise tootena ka puitkonstruktsiooni kuna see võib soojust neelata, salvestada ja vabastada. Päeva ulatuses akumulereib puit soojust päiksest ja vabastab öösel.

Kergkonstruktsiooni piirdetarindite omadused on toodud tabelis (vt

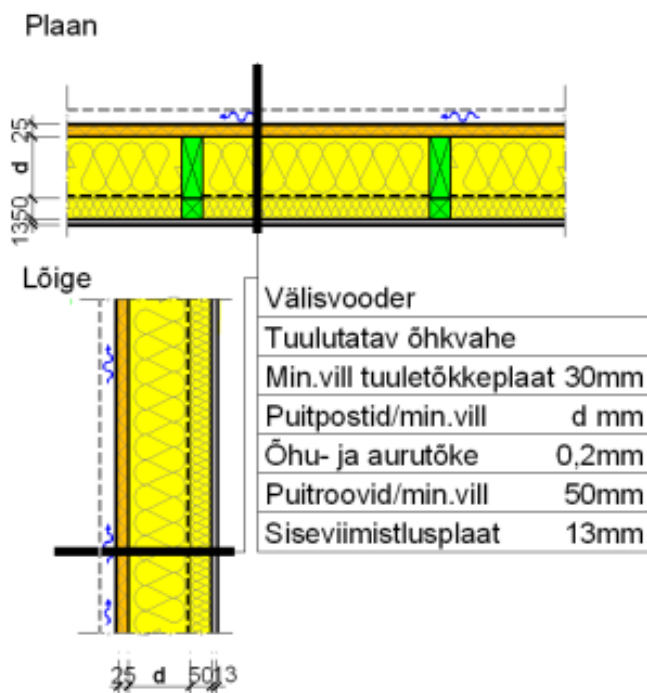
Konstruktsioon	Materjal	toote paksus, mm	Materjali soojuseri juhtivus, $\lambda$ , W/(m·K)	Summaarne soojuseri juhtivus, $\lambda$ , W/(m·K)
Katuslagi	Mineraalvill	200	0.035	
	Puitroovid	250	1.7	
				0.15
Vahelagi	Puitroovid	300	1.7	
				-
Valissein	Mineraalvill	150	0.035	
	Puitroovid	150	1.7	
				0.2

) ning selle näide joonises [20] (vt Joonis 11).

Tabel 4 Kergkonstruktsiooni materjalikihtide paksused ja soojuslikud omadused

Konstruktsioon	Materjal	toote paksus, mm	Materjali soojuseri juhtivus, $\lambda$ , W/(m·K)	Summaarne soojuseri juhtivus, $\lambda$ , W/(m·K)
Katuslagi	Mineraalvill	200	0.035	
	Puitroovid	250	1.7	
				0.15
Vahelagi	Puitroovid	300	1.7	
				-
Valissein	Mineraalvill	150	0.035	
	Puitroovid	150	1.7	
				0.2

Konstruktsioon	Materjal	toote paksus, mm	Materjali soojuseri juhtivus, $\lambda$ , W/(m·K)	Summaarne soojuseri juhtivus, $\lambda$ , W/(m·K)
Katuslagi	Mineraalvill	200	0.035	
	Puitroovid	250	1.7	
				0.15
Vahelagi	Puitroovid	300	1.7	
				-
Valissein	Mineraalvill	150	0.035	
	Puitroovid	150	1.7	
				0.2



Joonis 11 Kergkonstruktsiooni näide

### 1.2.3 Infiltratsioon

Hoone välispiirete õhupidavus iseloomustatakse õhulekkearvuga  $q_{50}$ , mis näitab kui suur õhuvooluhulk läbib hoone  $1\text{m}^2$  suuruse pindalaga välispiiret 50 Pa sise- ja välisrõhkude vahe korral. Õhulekkearvu mõõtühikuks on  $\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$ . Antud hoone puhul keskmine õhulekkearvuks on  $3,0 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$ .

Kõikide tulemuste saamiseks oli kasutatud IDA-ICE tarkvara küttevõimsuse dimensioneerimisfunktsiooniga. Simulatsioonis oli kasutatud 40. aasta Üllar kliimafaili.

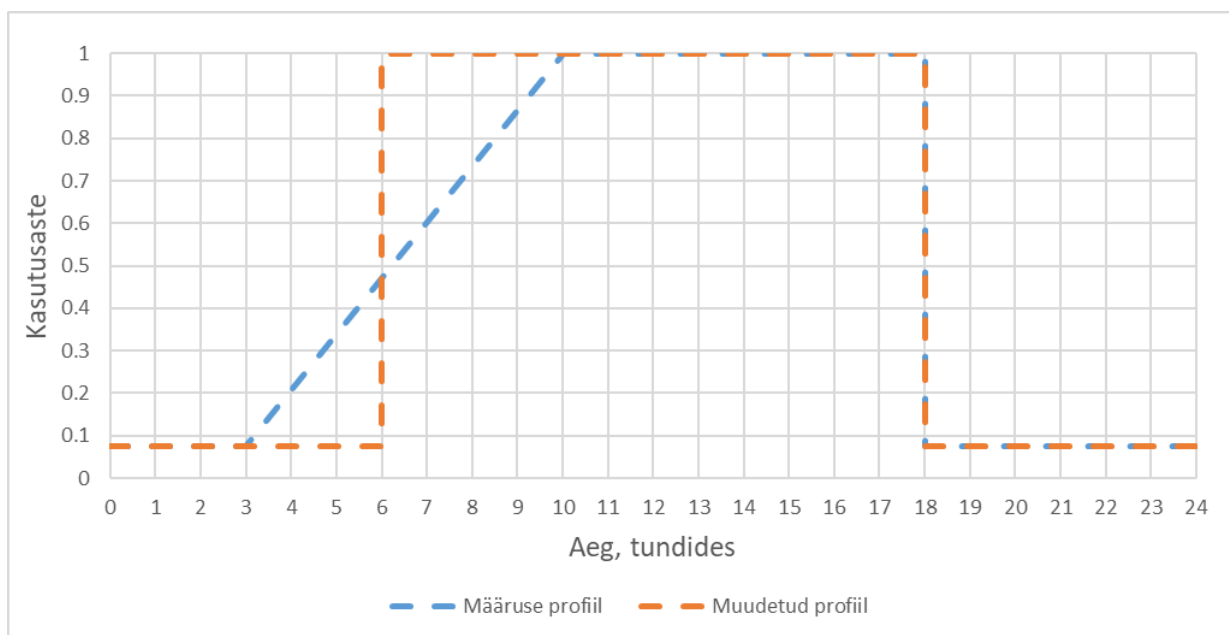
IDA-ICE tarkvaras on olemas kaks meetodit kuidas sisestada infiltratsiooni arvu. Esimene on Wind driven flow, ehk arvutuslik infiltratsioon, mille käigus tarkvara ise arvutab ja pigutab iga välisseintele lekked 1m kõrgust põrandapinnast. Lekkete suurused on arvutatud automaatselt, arvestades tuule suunda, tuule kiirust, mehaanilist ventilatsioonist tekkinud rõhuerinevuseid ja temperatuuri vahet. Kasutaja määrab õhutiheduse arvu konstansel rõhuvahel.

Teiseks meetodiks on fixed infiltration, ehk konstantne infiltratsioon, mille käigus saab määrata summaarne infiltratsiooni vooluhulk kogu hoonele, mis jäotub võrdselt kõikidele välispindadele.

Ning kolmandaks meetodiks on lekkete tekitamine ja parameetrite sisestamine käsitsi, mis olen teinud oma lõputöös, kuna nii saab simulatsioonitarkvaarst täpsemaid tulemusi. Selleks tekitasin iga välispindala kohta vähemalt ühe õhulekke, ning arvutamiseks kasutasin õhulekke massivooluhulka valemit.

#### 1.2.4 Ventilatsiooni kasutusprofiil

Majandus- ja taristusministeri määrusele nr. 58, hoone energitõhususe arvutamise meetodika, 3. peatükis, § 6. lõikes on kirjas, et kontorihoone kasutusaeg on 07:00–18:00, mis on 11 tundi päevas ja 5 päevat nädalas (nädalavahetusel kontorihoone ei tööta). Samuti punktis 8 on kirjas „Ventilatsiooni vajaduse arvutamisel lähtutakse sellest, et ventilatsioon käivitub üks tund enne hoone kasutusaja algust ja lülitub kasutusaja välisesse režiimi üks tund pärast hoone kasutusaja lõppu, välja arvatud ööpäevaringse kasutusega hoones“. Arvestades sellega profiil välja näeb joonisel (vt Joonis 12) näidatud kujul:



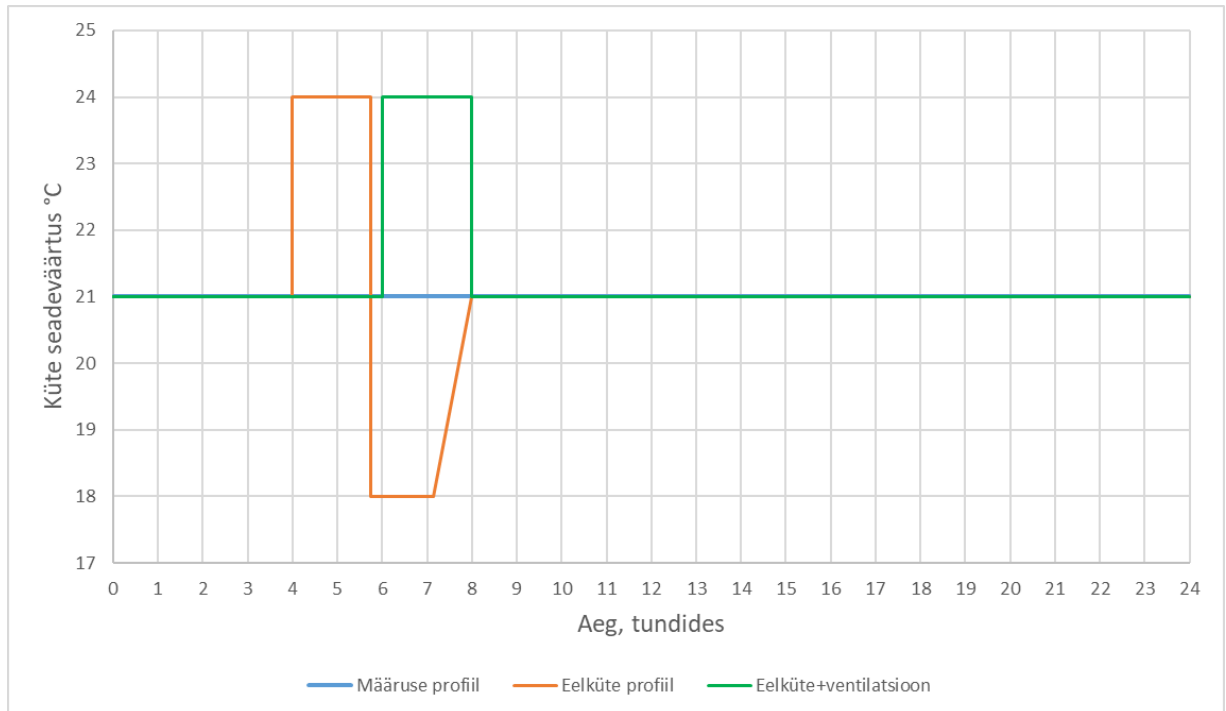
Joonis 12 Määruse ja muudetud ventilatsiooni kasutusprofiilid

Praegu ilmub süsteemi tipukoormus kell 06:00, kus lülitub ventilatsioon 0,075 kasutusastest 1,0-ni, mis toob endaga suured küttevõimsused. Seega oli mõeldud uus ventilatsiooniprofiil, kus kasutusaste kasvab sujuvalt kellast 03:00 kuni 10:00. Muudetud kasutusprofiili kuju on ette toodud joonisel (vt Joonis 12).



### 1.2.5 Kütte kasutusprofiil

Vastavalt ettevõtlus- ja infotehnoloogiainistri määrusele nr 63 „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ Lisa 1, kütmise seadeväärtus kontorihoones on 21 °C terve päeva ulatusel, seega graafiliselt joonis näeb välja joonisel (vt Joonis 13) näidatud kujul



Joonis 13 Määruse kütte kasutusprofiil

Graafikult on näha, et ruumikontroller hoiab temperatuuri etteandud väärtusel +21°C, kogu päeva ulatusel, aga kui ventilatsioon läheb tööle, siis kasvab küttesüsteemi võimsus, kuna ta peab katma ventilatsiooni sissepuheõhust madalama temperatuuriga tulev õhk.

Ühe lahendusena on ruumi eelkütmine, mis võimaldab küttesüsteemi tipukoormused nihutada nii, et nad ei olnud ventilatsiooni tipikoormusega samal ajal. Eelkütmise joonis (vt Joonis 13 )

Teise lahendusega on ühendada muudetud kütte ja ventilatsiooni kasutusprofiilid, selleks on vaja profiili kohendada kuna nüüd ventilatsioon ei lülita täisvõimsusele kell 07:00 vaid kell 10:00 seega pole vaja temperatuuri alandada kell 06:45. Vastavalt ventilatsiooni kasutusprofiilidele kohendatud kütte kasutusprofiil on toodud joonisel (vt Joonis 13 )

### 1.2.6 Süsihappegaas ja lenduvad orgaanilised ühendid

CO<sup>2</sup> on värvitu ja lõhnatu gaas, mida inimene hingab pidevalt välja koos veeauruga. Lisaks inimese enda poolt produtseeritavale kogusele on siseruumides peamisteks CO<sup>2</sup> allikateks gaasi, petrooleumi või puidu põletamine, mille tasemed mõjutavad peamiselt ruumi ja küttekollete ventilatsiooni efektiivsusele. Kütteseadmete puudumise korral peetakse CO<sup>2</sup>-te heaks ventilatsiooni tõhususe indikaatoriks, sest selle kaudu saab hinnata, kas ruumis on tagatud minimaalne välisõhu juurdevool.

CO<sup>2</sup> tase kontsetratsioon ruumis saab arvutada järgmise valemiga:

$$c = \left(\frac{q}{n * V}\right) \left[1 - \left(\frac{1}{e * n * t}\right)\right] + (c_0 - c_i) \left(\frac{1}{e * n * t}\right) + c_i$$

Kus:

c = süsihappegaasi kontsentratsioon ruumis (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

q = süsihappegaasi emissioon ruumis (m<sup>3</sup>/h)

V = ruumi maht (m<sup>3</sup>)

e = konstant 2.718.....

n = õhuvahetuse kord arv tunnis (1/h)

t = aeg (tund, t)

c<sub>i</sub> = süsihappegaasi kontsentratsioon sissepuhuvas õhus (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

c<sub>0</sub> = algne süsihappegaasi kontsentratsioon ruumis, t = 0 (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

Vastavalt 2018 EN hoone sissekliimale esitatavad nõuded, Lisa 3, Tabel 1, 2 sissekliimale kuuluva hoonetele süsihappegaasi(CO<sup>2</sup>) suurim lubatud kontsentratsioon suure inimtihedusega ruumis, välja arvatud haridushoones, on 1000ppm.

Lenduvad orgaanilised ühendid (Volatile Organic Compounds, VOC) saab defineerida keemispunkti vahemiku järgi; alumine piir 50–100 °C ja ülemine piir 240-260 °C. Nad levivad kõikjal siseruumides. Tihti on mõõdetud VOC sisaldus siseõhus kõrgem kui välisõhus. VOC-de erinevaid allikaid on palju. Liimpuidust pressitud mööbel, PVC materjalid, värvid, lakid ja poleerimisvahendid – väike loetelu VOC-de tekkeallikatest. VOC-de kontsentratsioon õhus sõltub õhutemperatuurist, suhtelisest õhuniiskusest, inimeste tegevustest ja ventilatsiooni efektiivsusest. Kokkupuude VOC-tega võib põhjustada silmade ja hingamisteede ärritust. Peamisteks sümptomiteks on väsimus, peavalu, uimasus, peeringlus, nõrkus, ähmane nägemine, silmade ja hingamisteede ärritus. Kõrgetes kontsentratsioonides on nad aga potentsiaalsed narkootilised ained. mis põhjustavad kesknärvisüsteemi kahjustusi, maksa- ja neerukahjustusi.

Selleks, et valmistuda uue ventilatsiooni kasutusprofiili, peab arvestama inimestest tekitavate süsihappegaasi eraldustega. Kontrollisin ruumides CO<sup>2</sup> kontsentratsiooni maksimaalsed tasemed arvestades joonisel (vt Joonis 12 **Error! Reference source not found.**) toodud ventilatsiooni kasutusprofiili. Näite joonisel (vt Joonis 14) lähtusin süsihappegaasi eraldusest 17 l/h inimese kohta, ruumi pindalast 46,5 m<sup>2</sup>, ruumi kõrgusest 3m ja 75 l/s ventilatsiooni vooluhulgast.

Joonisel (vt Joonis 14) on näha, et süsihappegaasi kontsentratsioon enne tööpäeva algust on 400ppm, sama kui selle kontsentratsioon välisõhus, kellast 7:00 hakkab kontsentratsioon järsult tõusma, isegi kui määruse kasutusprofiili järgi hakkavad inimesed töökohale tulema vaid kellaks 8:00. See on aga sellest, et Andrei Engels oma lõputöös mõõtis inimeste viibimine kontoris ja koostas reaalse kasutusprofiili (vt Joonis 8), kus esimesed töötajad tulevad tööle juba kell 7:00. Arvestades sellega ja terve tööpäeva ulatuses maksimum inimeste hulka kontoris, koostas tabelit (vt Tabel 6).

Vastavalt 2018 EN hoone sissekliimale esitatavad nõuded, Lisa 3, Tabel 7, 2 sissekliimale kuuluva hoonetele LOÜ (summaarne), arvutatuna toluleenile sisalduse suurim lubatud mugavusväärnus on 200µg/m<sup>3</sup>

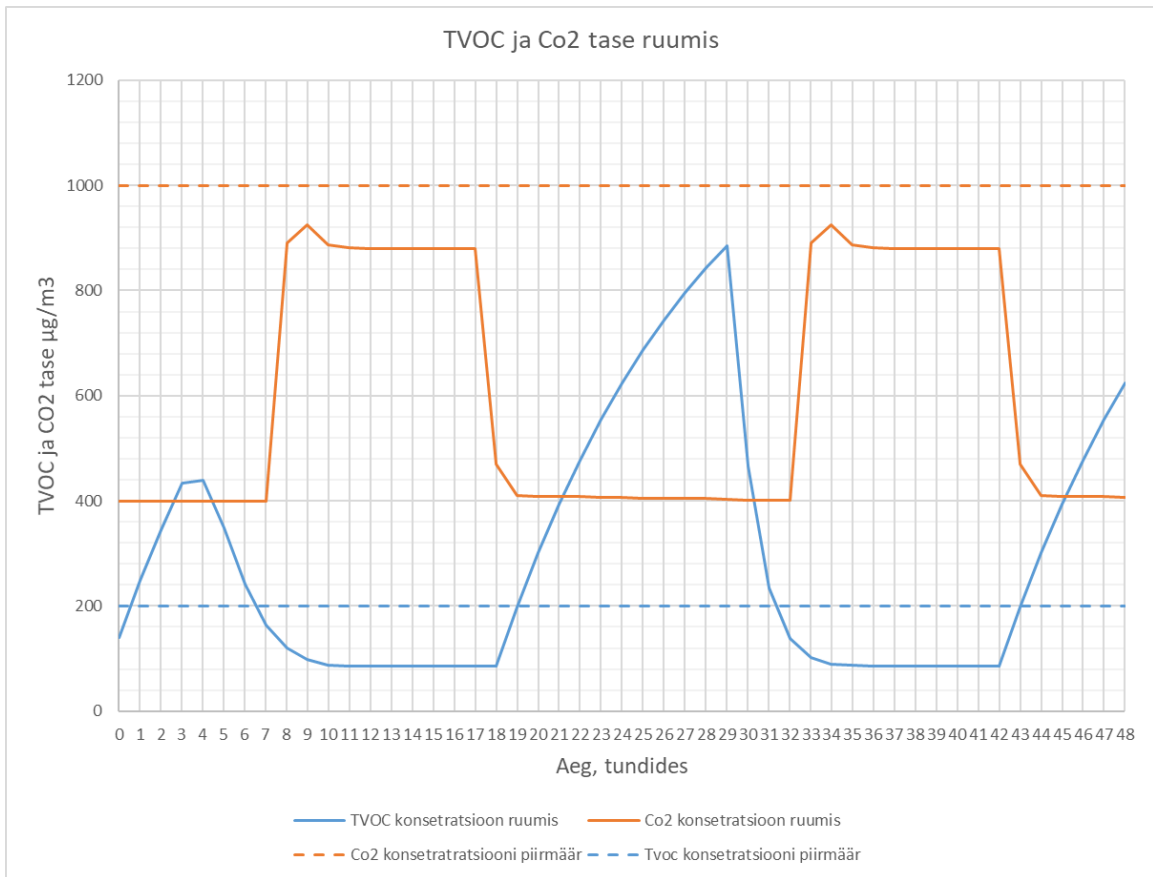
Selleks, et välja töötada uue ventilatsiooni profiili on samuti vaja võtta arvesse ka VOC eraldused, pinnadest ja mööblist. Nad tekitavad juhul, kui ventilatsioon ei olnud töös mõni aeg, näiteks nädalavahetusel. Selleks, et viia VOC-de kontsentratsioon normidele vastav tasemele, on vaja enne tööpäeva algust lülitada sisse ventilatsiooni süsteemi.

Tabel 6 Süsihappegaasi konseptsioon ruumis

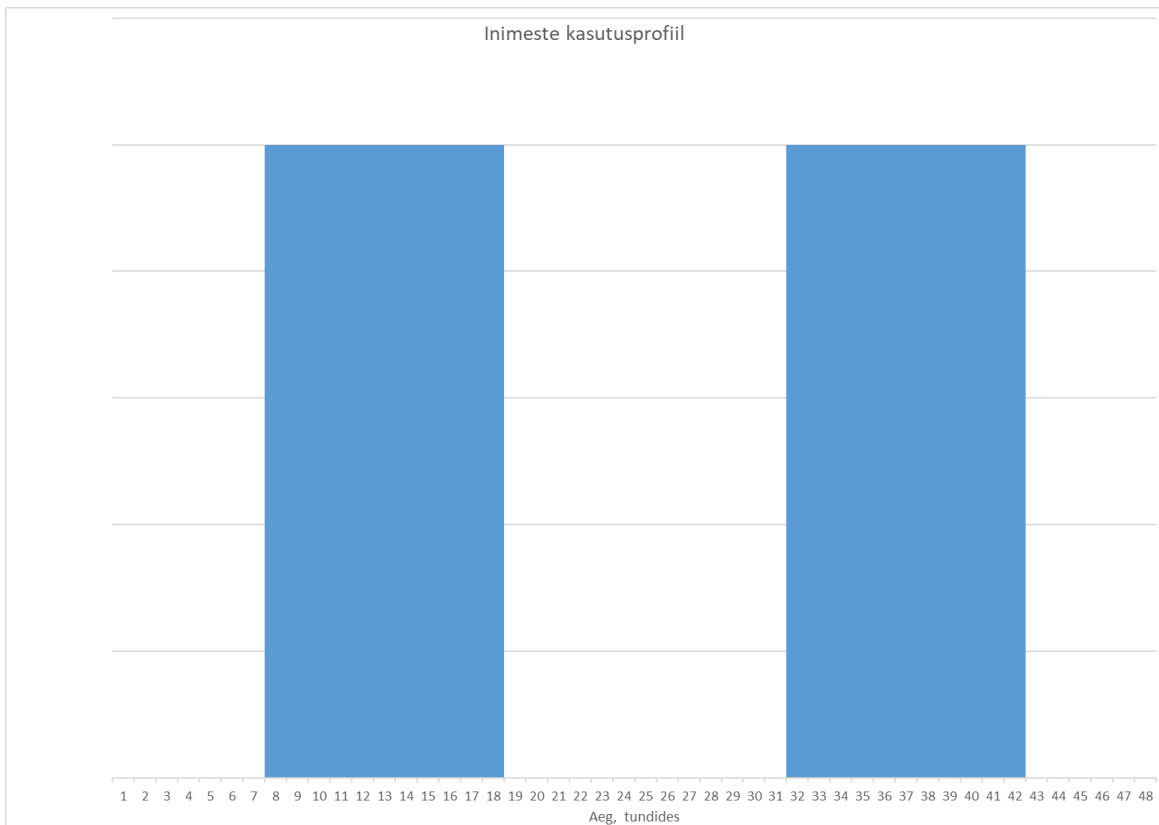
inimeste arv ruumis	aeg, tundides	ventilastiooni võimsus %, kus 1 on 100%	Co2 tase ruumis, ppm
0	0	0.05	400
0	1	0.05	400
0	2	0.05	400
0	3	0.05	400
0	4	0.15	400
0	5	0.3	400
0	6	0.45	400
0	7	0.6	400
1	8	0.75	890
1	9	0.9	926
1	10	1	887
1	11	1	881
1	12	1	880
1	13	1	880
1	14	1	880
1	15	1	880
1	16	1	880
1	17	1	880
0	18	1	469
0	19	1	410
0	20	0.05	409
0	21	0.05	408
0	22	0.05	407
0	23	0.05	407
0	24	0.05	406

Tabel 7 Lenduva organiliste ühendite kontsentratsioon ruumis

<b>tund</b>	<b>vent</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>
<b>aeg, tundides</b>	<b>ventilastiooni võimsus %, kus 1 on 100%</b>	<b>TVOC tase ruumis, µg/m<sup>3</sup></b>
0	0.05	140
1	0.05	248
2	0.05	346
3	0.05	434
4	0.15	438
5	0.3	349
6	0.45	242
7	0.6	164
8	0.75	121
9	0.9	98
10	1	88
11	1	86
12	1	86
13	1	86
14	1	86
15	1	86
16	1	86
17	1	86
18	1	86
19	0.05	199
20	0.05	301
21	0.05	394
22	0.05	478
23	0.05	554
24	0.05	624



Joonis 14 Süsihappegaasi ja lenduva orgaanilise ühendite konsetratsioon ruumis



Joonis 15 Inimeste kasutusprofiil CO<sup>2</sup> ja TVOC konsetratsiooni kontrollimisel

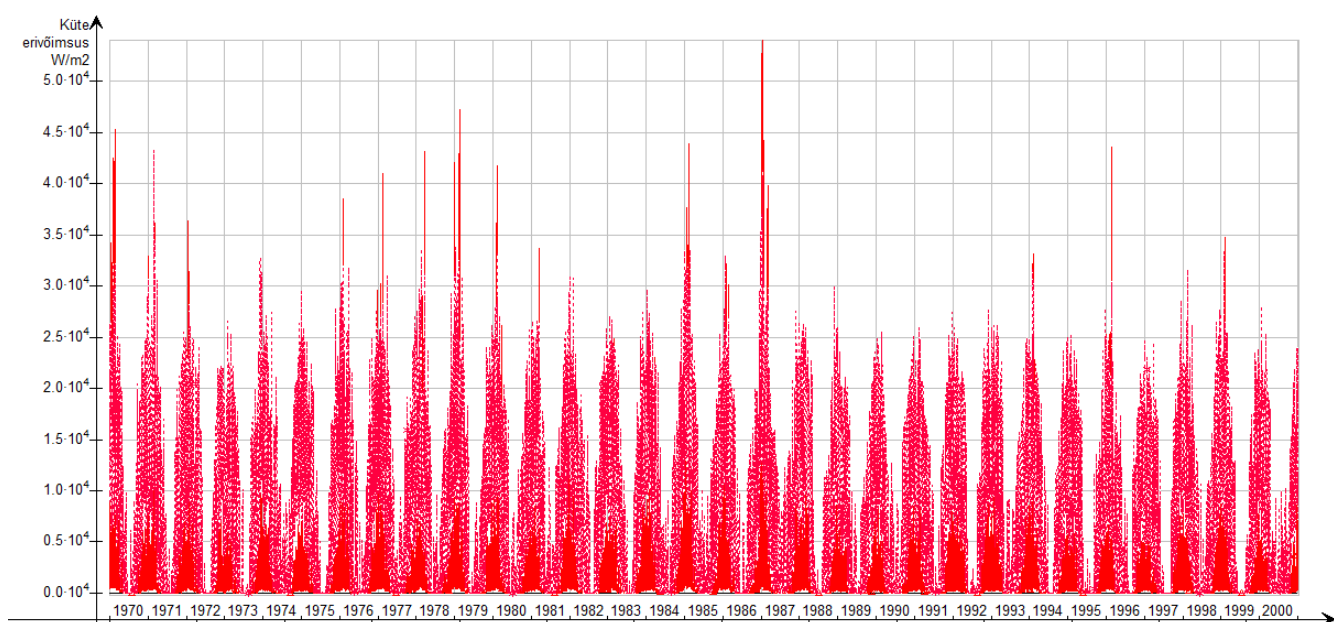
Graafiku ja tabeli vaadates on näha, et süsihappegaasi kontsentratsioon ei tõuse antud ventilatsiooniprofiili kasutades üle normi, ehk üle 1000ppm. Lenduva organiliste ühendite kontsentratsioon ületab piirväärtusi kellast 19:00 kuni 6:30, aga sellel ajal keegi kontoris ei viibi, seega võib öelda, et koostatud ventilatsiooni kasutusprofiil vastab sissekliima nõutele.

## 2. Tulemused ja analüüs

Antud peatükis analüüsib autor 40a. kliimafailis tipukoormuse esinenud kuupäevad. Edasi antakse tulemuste analüüs massiivsuse ja vabasoojuste mõju hoone küte erivõimsusele. Loodud kasutusprofiilid võrreldatakse määruse kasutusprofiiliga ja tuuakse tulemused kas on õnnestunud esinenud tipukoormused viia alla poole. Lõppuks analüüsitakse kuidas küte erivõimsuste tipukoormused läbi aastate on muutunud erineva massiivsusega simulatsioonimudelites.

### 2.1.1 40a. kliima analüüs

Läbiviidud on 40a. simulatsioonid raskekonstruktsiooniga, kergkonstruktsiooniga, määruse kasutusprofiilidega ja vabasoojuste arvestamisega ja arvestamiseta. Tulemuste analüüsidest tulid järeldusele, et tipukoormused ilmnesid suuremas määras samadel kuupäevadel, ning summaarsed küttevõimsused on peaaegu poole suurem võrreldes keskmise talvega.



Joonis 16 40a. simulatsiooni summaarsed küttevõimsused

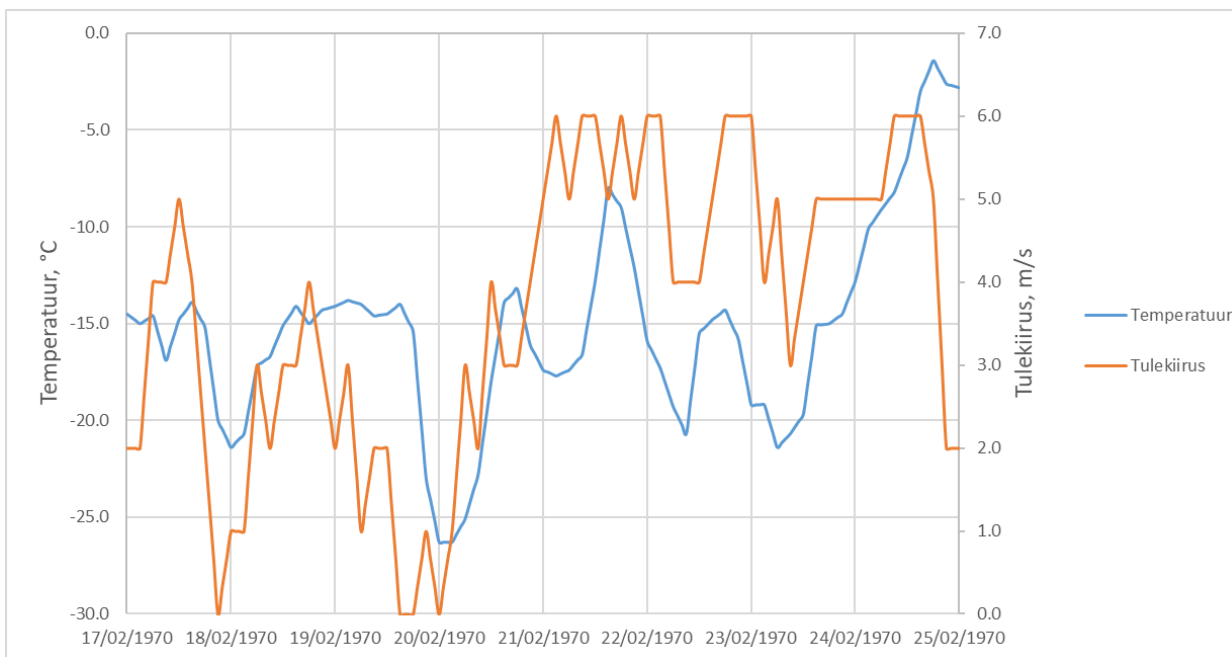
Nagu jooniselt (vt Joonis 16) on näha, et suuremad tipukoormused ilmnesid järgmisel kuupäeval:

- 20.02.1970
- 16.02.1979
- 08.01.1987

Edasi vaatame need kuupäevad lähemalt. Selleks, et paremini saada aru miks esinesid tipukoormused just nendel päevadel, analüüsime terve nädala.

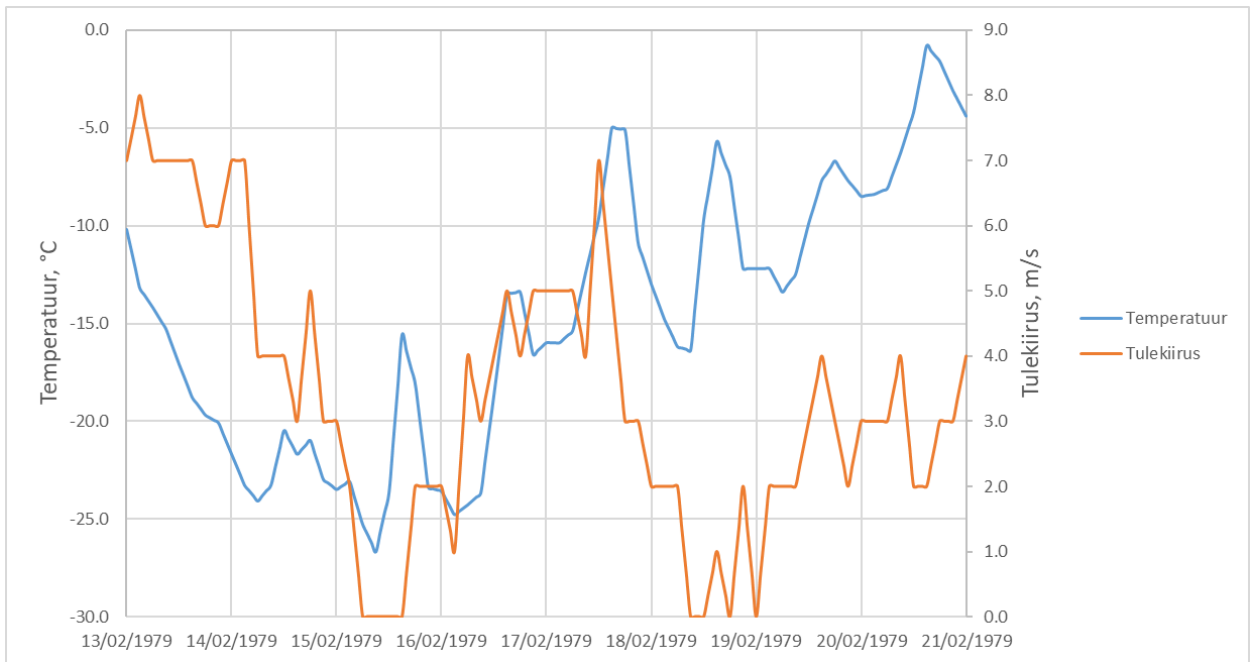


Joonisel (vt Joonis 17) kuupäeval 20.02.1970 temperatuur langes lühiajaliselt kuni  $-26^{\circ}\text{C}$ , kuid kogu nädala temperatuur püsis keskmiselt  $-15^{\circ}\text{C}$ . Ainult nädala lõppus välisõhu temperatuur tõusis kuni  $-5^{\circ}\text{C}$  kraadini. Tulekiirus nädala ulatuses oli erinev:  $0\text{m/s}$  kuni  $6\text{m/s}$ . Päeval, millal esines küte tipukoormus, kiirus oli alla  $1\text{m/s}$ . Tipukoormus esines samuti tööpäeva lõppus, millal hooneel praktiliselt ei olnud vabasoojust päiksest.



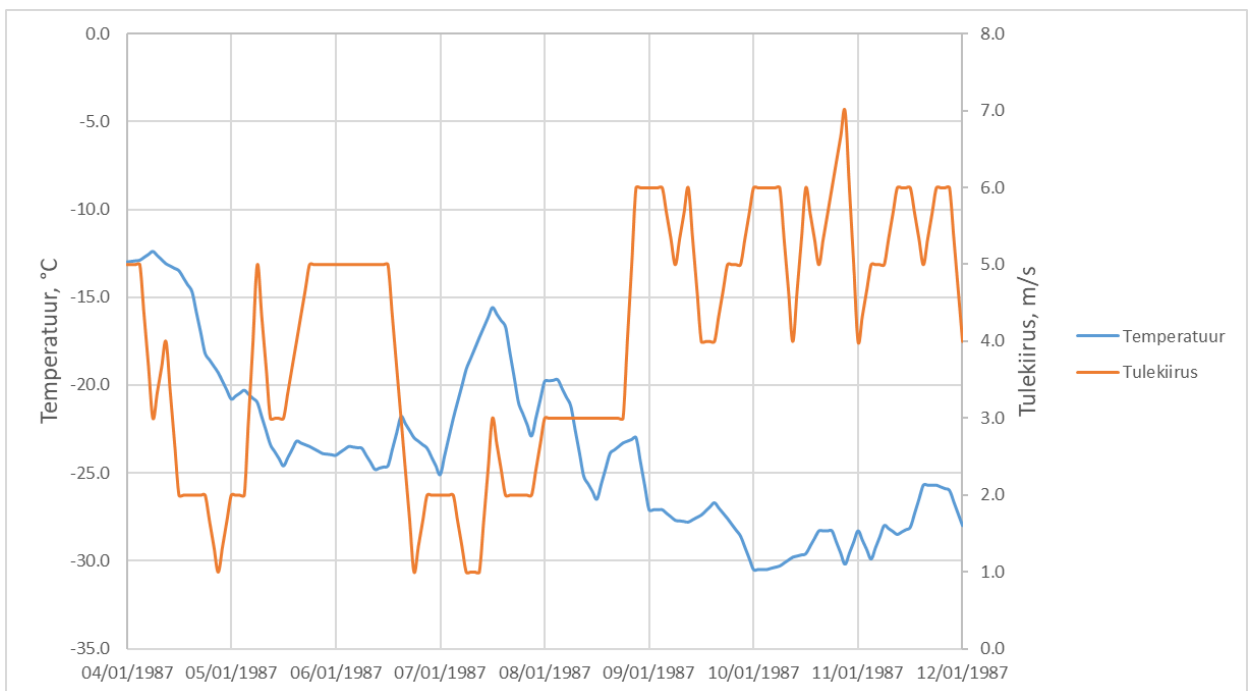
Joonis 17 17/02/1970-25/02/1970 kliima analüüs

Joonisel (vt Joonis 18) on näha, et 16.02.1979 kuupäeval keskmine nädala temperatuur oli  $-10^{\circ}\text{C}$ , kuid lühiaegselt langes ta  $-26^{\circ}\text{C}$ , ega tipukoormus ilmnes vaid järgmisel päeval millal välisõhu temperatuur oli  $-25^{\circ}\text{C}$ , aga tulekiirus oli juba  $3-5\text{m/s}$  vahemikus.



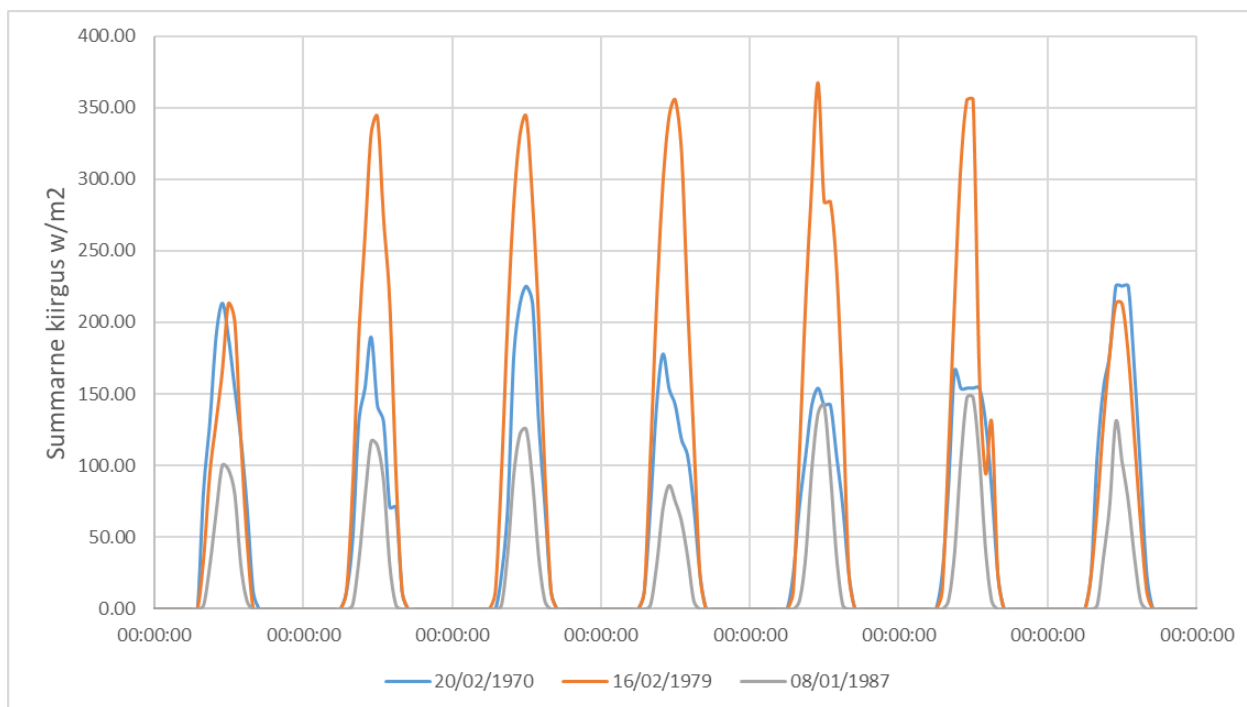
Joonis 18 13/02/1979-21/02/1979 kliima analüüs

Joonisel (vt Joonis 19) on näha, et kuupäeval 08.01.1987 on ilmnenud kütte tipukoormus ega graafiku vaadates ei olnud see kõige külmem ega tuulisem kuupäev, aga joonise (vt Joonis 20) summaarse kiirguse vaadates (vt Joonis 20) vahemikus 04/01/1987-12/01/1987 on näha, et sellel perioodil kiirgus ei tõusnud enam kui  $150 \text{ w/m}^2$ , mis võrreldes teiste tipukoormuste esinenud päevadel peaaegu poole võrra väiksem. Mis tähendab, et sellel nädalal ilm oli pilvine ja vabasoojus päiksest praktiliselt ei esinenud.



Joonis 19 04/01/1987-12/01/1987 kliima analüüs

Joonisel (vt Joonis 20) on võrreldud päiksest tingitud summaarsed kiirgused. Summaarne kiirgus koosneb otsekiirgusest ja hajuskiirgusest.



Joonis 20 summaarsed kiirgused erinevatel kuupäevadel

### 2.1.2 Kütte summaarsed erivõimsused

Kasutades määruse ventilatsiooni ja küttesüsteemide kasutusprofiile viisin läbi simulatsioonid, et analüüsida erinevatel kuupäevadel esinenud tipukoormused ja stacionaarolukorras ( välisõhu temperatuuril  $-21^{\circ}\text{C}$ ). Stacionaarolukorras kasutatud välisõhu temperatuur on vastavalt EVS:844:2016, sellel juhul simulatsioon ei arvesta päiksest tingitud vabasoojusega, tule suunaga ja tule kiirusega, ning kogu päeva ulatuses välisõhu temperatuur on stacionaarne.

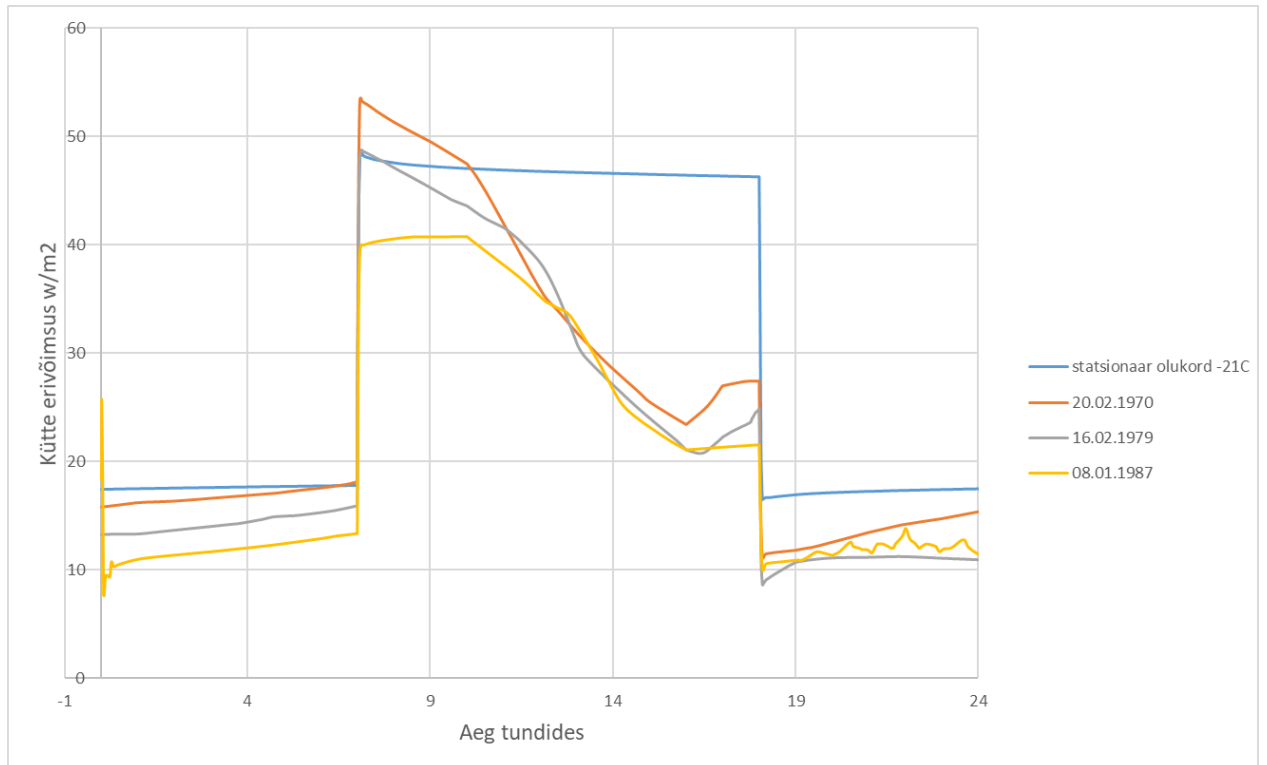
Dünaamilises simulatsioonis näidatud kuupäevadel (20.02.1970, 16.02.1979 ja 08.01.1987) on arvestatud kliimafailis oleva kliimaga.

Simulatsioonid on tehtud erineva õhulekke arvuga (1,0, 1,5, 2,5 ja 4,0) ja massiivsusega (kerg- ja raskekonstruktsioonidega). Nende andmete põhjal on koostatud summaarne joonis (vt Joonis 21), kus saab vaadata päeva ulatuses muutuvad küttesüsteemi erivõimsused. Tipukoormus kell 07:00, täpselt millal lülitab ennast ventilatsiooniagregaat. Sellel hetkel hakkab jõudma ruumi külmem õhk ( $+18^{\circ}\text{C}$ ), kui ruumi seadetemperatuur ( $+21^{\circ}\text{C}$ ). Samuti soojusvaheti ei jõudnud oma „töötemperatuurile“. Need parameetrid tekitavad kütte-, ja ventilatsioonisüsteemide koormuse hetkelist tõusu.

Joonisele (vt Joonis 21) vaadates on näha, et stacionaarolukorras arvatud kütte summaarne erivõimsus jääb võrreldes teiste tulemustega keskel. Mis tähendab, et EVS-is toodud välisõhu

parametrid võrdlevad kõige külmema ja tuulisema kliimaga, mis on juhtunud Tallinnas 40 aastate jooksul.

Dimensioneerides kogu küttesüsteemi seaded ja torusid VAT  $-21^{\circ}\text{C}$  järgi, saab tagada nõutud sisemist temperatuuri, isegi ekstreemolukorras. Aga kui tihti sellised olukorrad ilmuvad? Joonisele (vt Joonis 16) vaadates, sellised tipud on vaid 30% talvel, ning on ühepäevased, mis võimaldab kasutada hoone massiivsust.



Joonis 21 Kütte summaarsed erivõimsused erinevatel tingimustel

### 2.1.3 Massiivsuse mõju hoone tipukoormusele

Selles lõputöö osas analüüsisin massiivsuse mõju hoone summaarse kütte erivõimsusele. Kasutasin standartsed määrusest võetud kasutusprofiilid, ning simuleerisin erineva õhulekke arvuga (1.0, 1.5, 2.5 ja 4,0) ja massiivsusega (kerge- ja raskekonstruktsioonidega). Esimene joonis (vt Joonis 22) illustreerib sisemiste ja välimiste vabasoojustega tulemused, teine joonis (vt Joonis 23) vaid ainult päksest tingitud vabasoojusega.

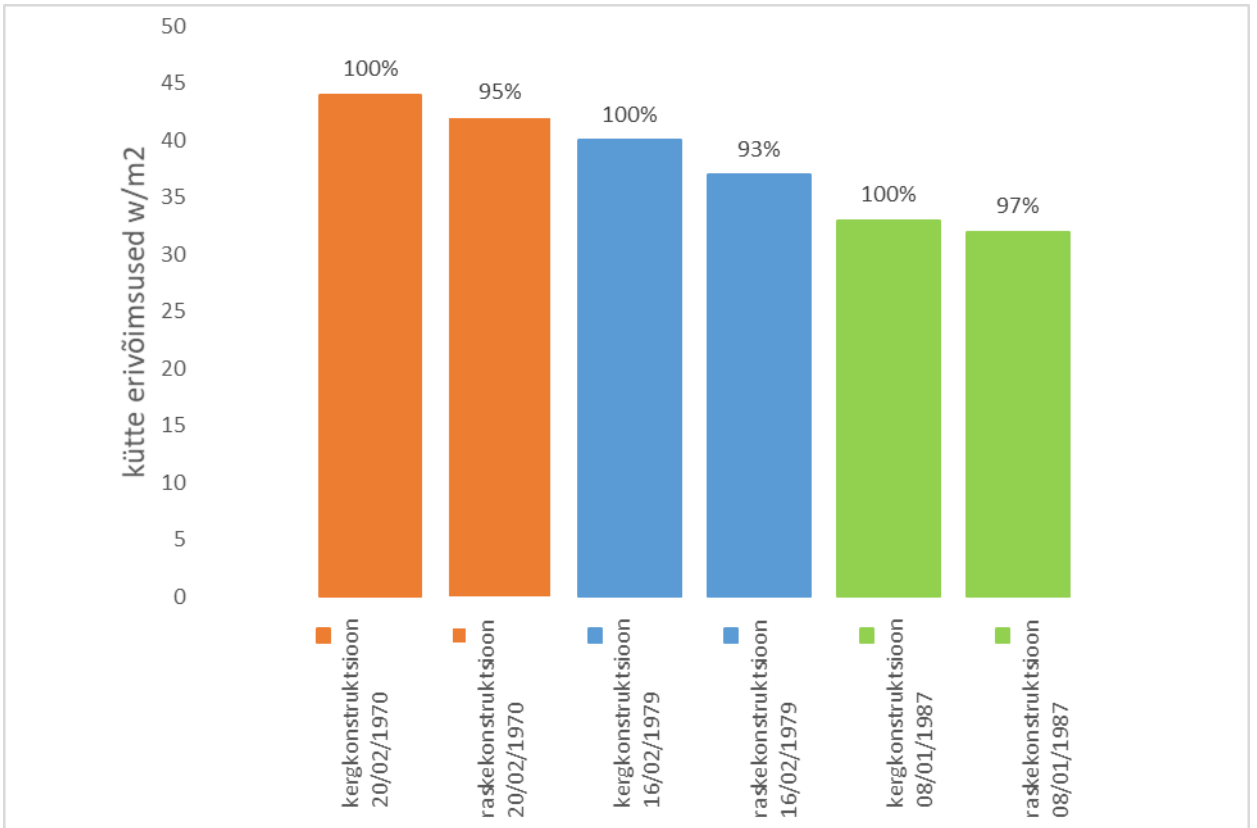
Paiksest ja sisenemist vabasoojusest tingitud kütte erivõimsused olid  $32\text{w/m}^2$  kuni  $44\text{ w/m}^2$  vahemikkus.

1970 aastal läbiviidud simulatsioonis ilmnis suurem kütte erivõimsus kergkonstruktsiooni puhul mis on  $44\text{ w/m}^2$ , samal kuupäeval aga raskekonstruktsiooni puhul küttesüsteemi erivõimsus oli  $42\text{ w/m}^2$ , mis on 5% võrra väiksem.

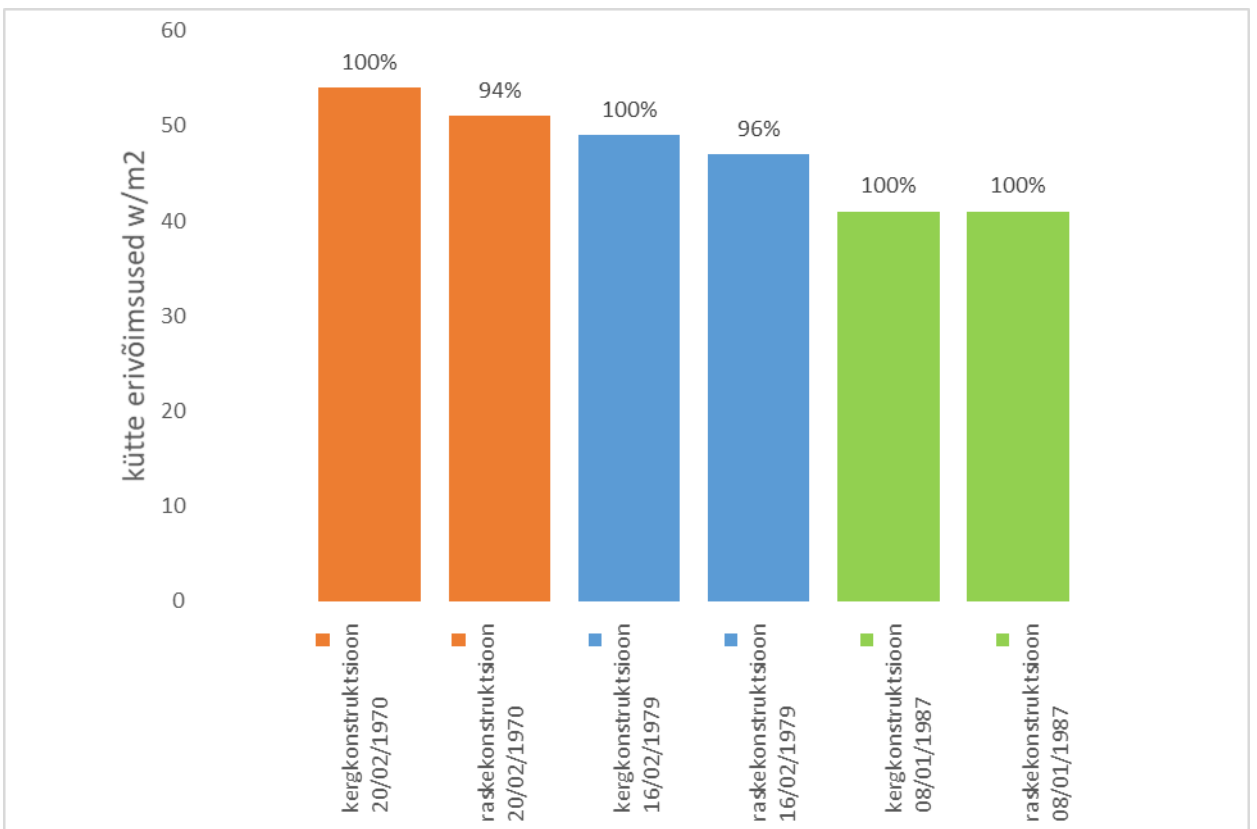
1979 aastal läbiviidud simulatsioonis kütte erivõimsus kergkonstruktsiooni puhul on  $40\text{ w/m}^2$ , samal kuupäeval aga raskekonstruktsiooni puhul erivõimsus oli  $37\text{ w/m}^2$  mis on 7% võrra väiksem.

1987 aastal läbiviidud simulatsioonis esines väiksem kütte erivõimsus võrreldes teiste kuupäevadega mis on  $33\text{ w/m}^2$ , samal kuupäeval aga raskekonstruktsiooni puhul erivõimsus oli  $32\text{ w/m}^2$  mis on 3% võrra väiksem.

Kogu uuritava perioodi puhul kergkonstruktsiooni summaarne kütte erivõimsus oli keskmiselt 5% võrra suurem, mis on tingitud betooni omadusest akumuleerida soojust konstruktsioonides rohkem kui kergkonstruktsioon.



Joonis 22 Päiksest ja sisenemise vabasoojusega tingitud kütte erivõimsused



Joonis 23 Päiksest tingitud kütte erivõimsused

Ainult paikest tingitud vabasoojusega (vt Joonis 23) läbiviidud simulatsioonides kütte erivõimsused oli vahemikus  $41\text{w/m}^2$  kuni  $54\text{ w/m}^2$  .

1970 aastal läbiviidud simulatsioonis ilmnes suurem kütte erivõimsus kergkonstruktsiooni puhul mis on  $54\text{ w/m}^2$ , samal kuupäeval aga raskekonstruktsiooni puhul erivõimsus oli  $51\text{ w/m}^2$  mis on 6% võrra väiksem.

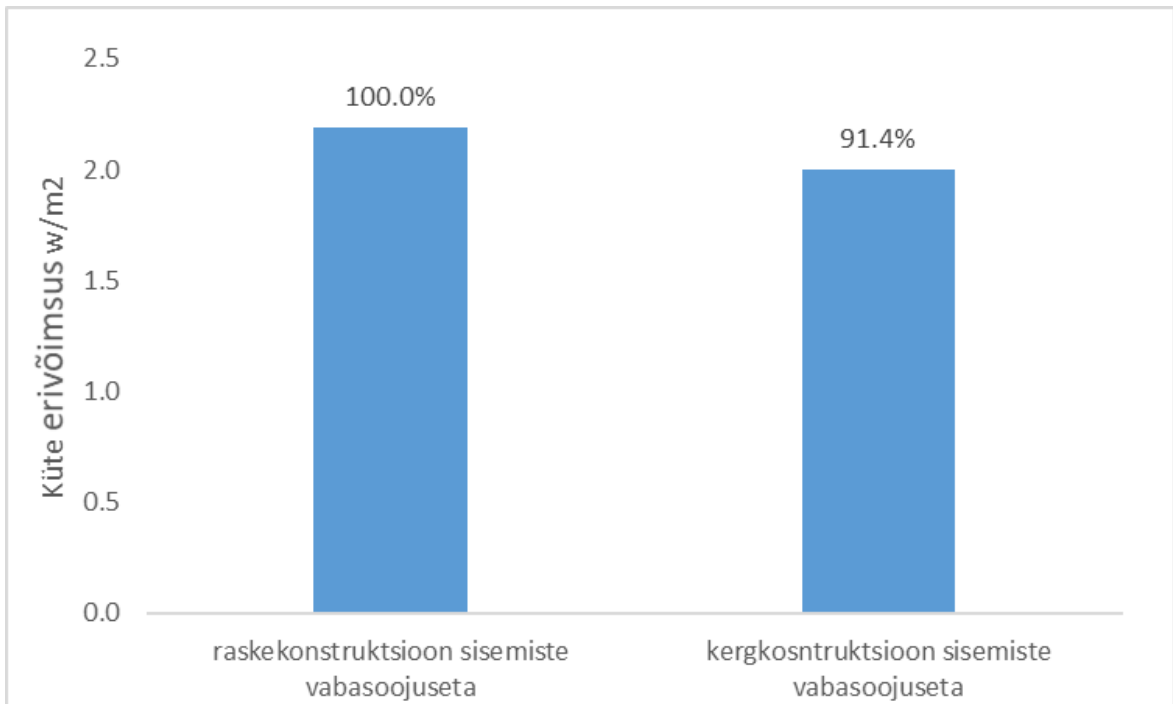
1979 aastal läbiviidud simulatsioonis kütte erivõimsus kergkonstruktsiooni puhul on  $49\text{ w/m}^2$ , samal kuupäeval aga raskekonstruktsiooni puhul erivõimsus oli  $47\text{ w/m}^2$  mis on 4% võrra väiksem.

1987 aastal läbiviidud simulatsioonis esines väiksem kütte erivõimsus võrreldes teiste kuupäevadega mis on  $41\text{ w/m}^2$ . Huvitav on see, et kergkonstruktsioonil ilmnes sama kütte erivõimsus kui ka raskekonstruktsioonil, mis on tingitud minimaalse summarse kiirgusega sellel päeval.

Kogu uuritava perioodi puhul kergkonstruktsiooni summaarne kütte erivõimsus oli keskmiselt 4% võrra suurem, mis on tingitud samuti betooni omadusest, mis olid juba kirjeldatud selle töö raames. Vabasoojusega arvestades summaarsed kütte erivõimsused on keskmiselt 19% võrra väiksem.

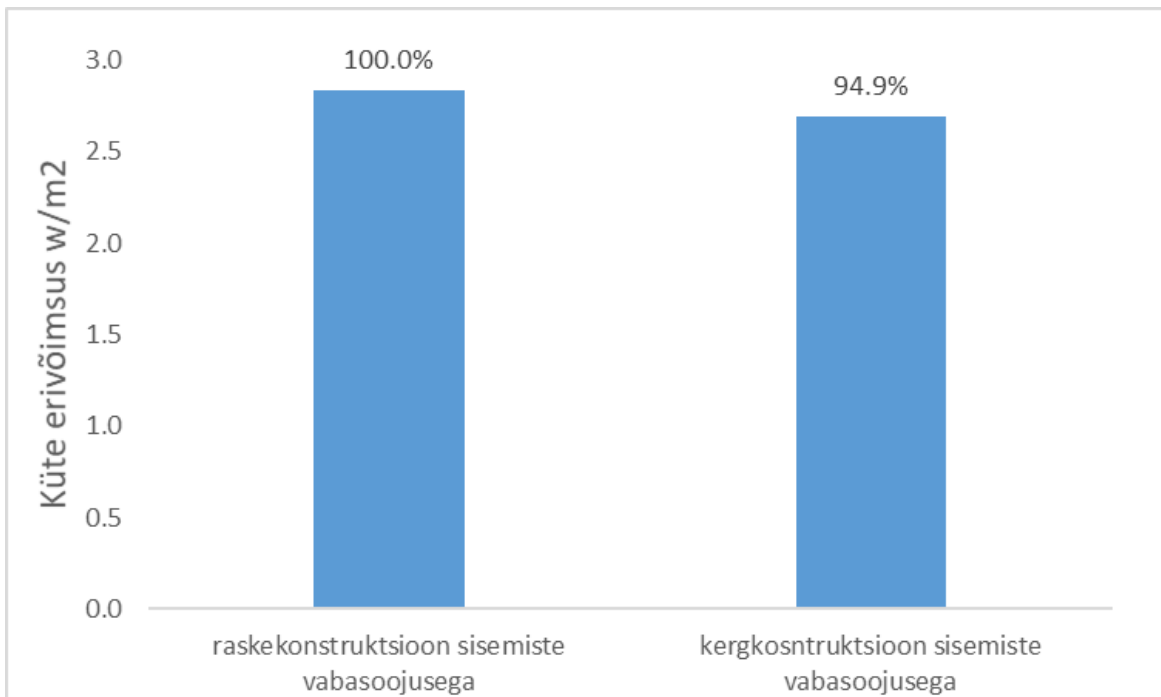
Joonistel (vt Joonis 24, Joonis 25) võrdlesin kuidas erinevad konstruktsioonitüübid akumulatsioonid soojust. Simulatsioonid on tehtud erineva õhulekke arvuga (1.0, 1.5, 2.5 ja 4,0), arvestades sisemiste vabasoojusega ja ilma, ning on tehtud summaarne diagramm võrdlemiseks.

Sisemiste vabasoojusega simulatsioonis (vt Joonis 25) raskekonstruktsiooniga hoone akumulatsioonid päeva ulatuses maksimaalselt  $2.2\text{w/m}^2$ , kergkonstruktsiooniga hoone akumulatsioonid päeva ulatuses maksimaalselt  $2.0\text{w/m}^2$ , mis on 8,6% võrra väiksem. Kui võrrelda kogu hoone võimsusega siis see moodustab 4,3% raskekonstruktsiooni puhul ja 3,7% kergkonstruktsiooni puhul.



Joonis 24 Hoone vabasoojuseta massivsuse mõju kütte erivõimsusele

Sisemiste vabasoojusega simulatsioonis (vt Joonis 26) raskekonstruktsiooniga hoone akumulereis päeva ulatuses maksimaalselt  $2.8w/m^2$ , kergkonstruktsiooniga hoone akumulereis päeva ulatuses maksimaalselt  $2.7w/m^2$ , mis on 5,1% võrra väiksem. Kui võrrelda kogu hoone võimsusega siis see moodustab 6,7% raskekonstruktsiooni puhul ja 6,4% kergkonstruktsiooni puhul.



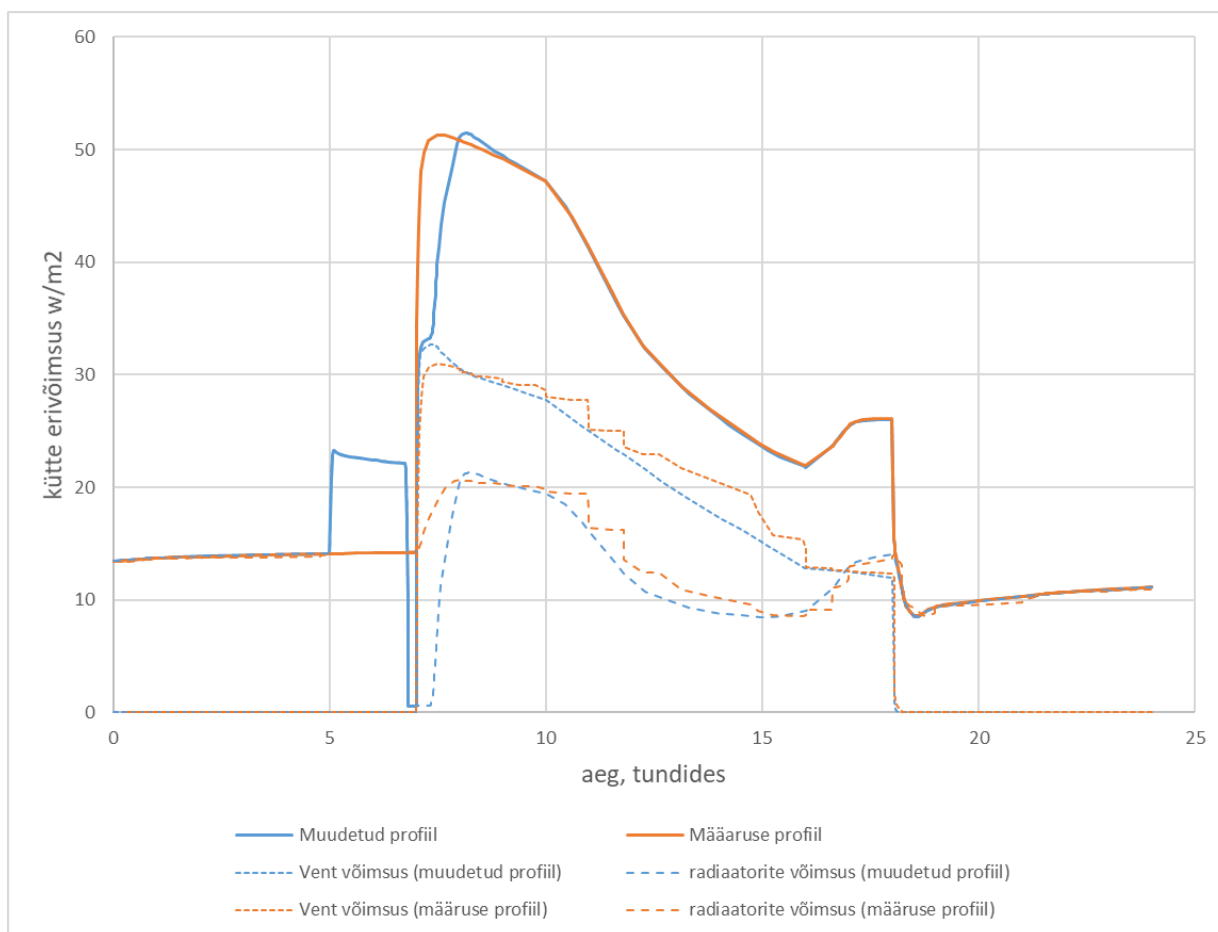
Joonis 25 Hoone vabasoojusega massivsuse mõju kütte erivõimsusele



## 2.1.4 Kasutusprofiilide analüüs

Joonistel (vt Joonis 26, Joonis 27, Joonis 28) on toodud ühe päeva näide millal esines tipukoormus. Selle päeva ulatuses on katsetatud kaks küttesüsteemi kasutusprofiili ja üks ventilatsiooniprofiil.

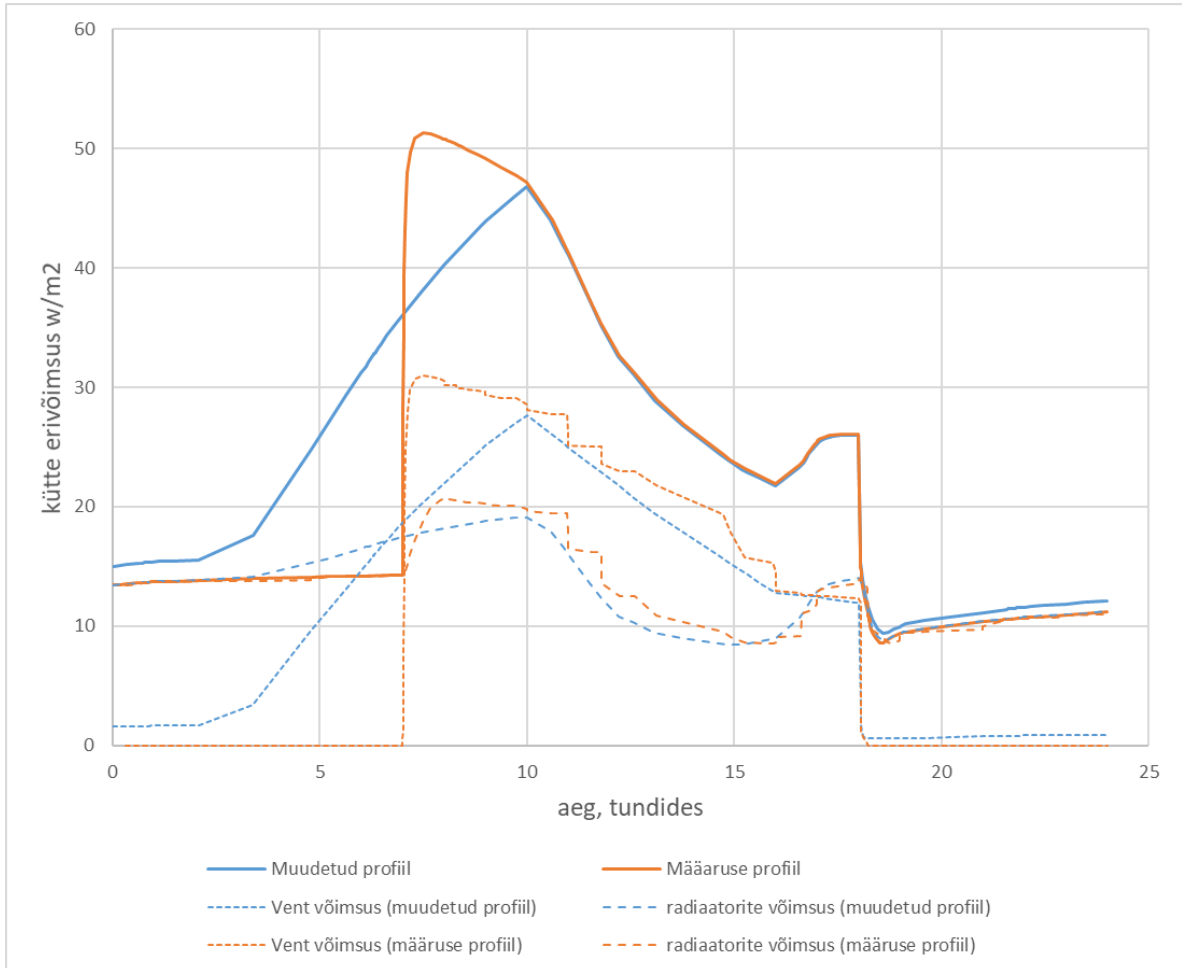
Joonisel (vt Joonis 26) küttesüsteemi profiili loomisel on kasutatud eelkütte põhimõtte, kus kellast 05:00 kuni kellani 06:45 ruumiseade temperatuur tõstetakse kuni 24°C kraadini, ning kellast 06:45 kuni 07:15 ruumiseade temperatuur langetakse kuni 18°C kraadini. Alates 07:15 kuni 08:00 tõstetakse ruumiseade temperatuur ettenähtud väärtuseni, ehk 21°C kraadini selleks, et ruumi temperatuur oleks tagatud ja ei ilmunud kaebusi. Joonise vaadates on nähta, et võrreldes määruse profiiliga tipukoormus kell 07:00 on 30% väiksem, aga alates 07:15 hakkab järsult tõusma, ning kell 08:00 on võrdne määruse omaga. Selle profiiliga võib tipukoormust nihutada, aga summaarne kütte erivõimsus jääb samaks.



Joonis 26 Muudetud kütte kasutusprofiil võrreldes määruse oma

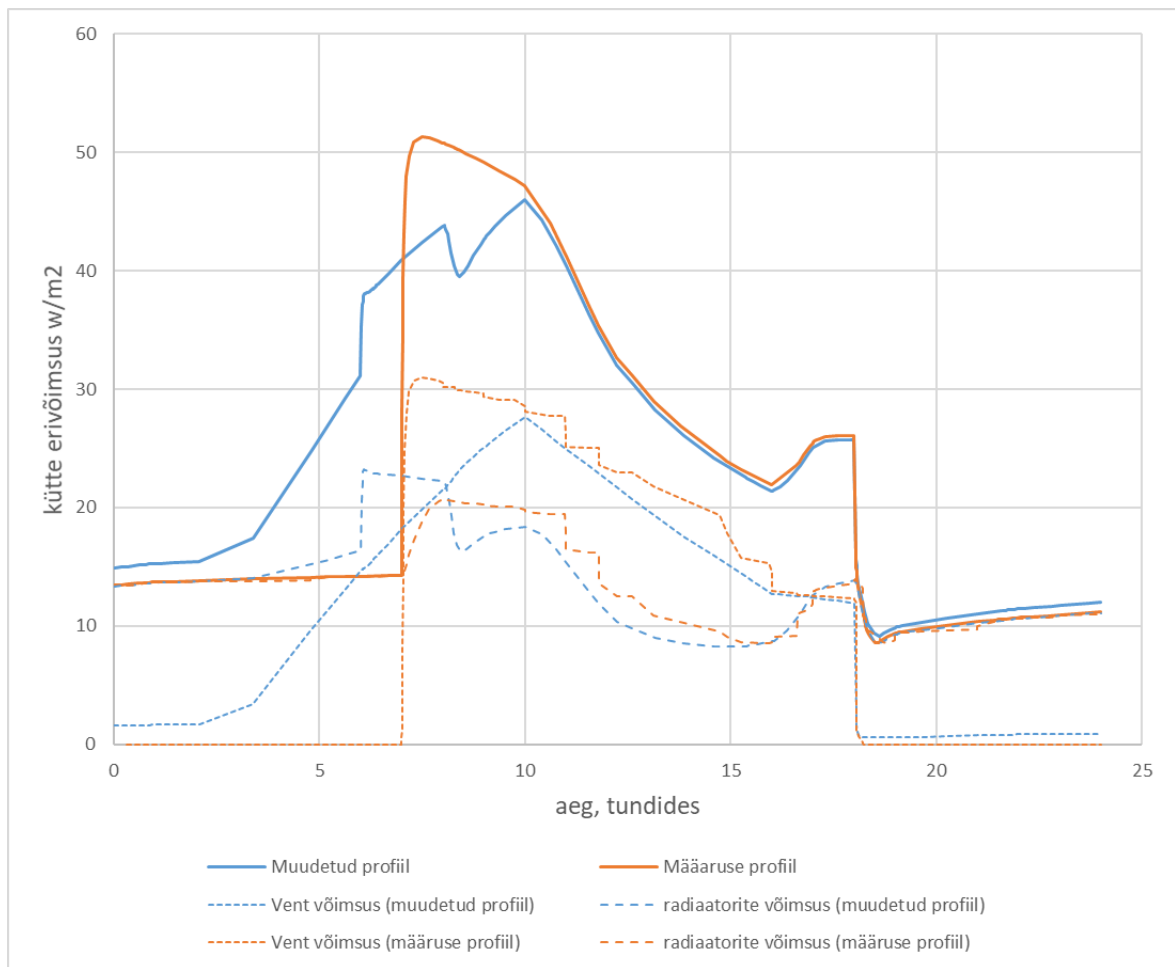
Jooniselt (vt Joonis 27) on nähtav, et ventilatsioonisüsteemi kasutusprofiili loomisel on kasutatud ventilatsiooni vooluhulgade sujuvalt tõusmine kellast 03:00 kuni 10:00, kus kell 10:00 ventilatsioon töötab maksimaalsel võimsusel. Võrreldes määruse kasutusprofiiliga tipukoormus esineb kell

10:00, sellel ajal samuti esineb ka ventilatsiooni ja kütte tipukoormused, aga kütte koormus on 3% võrra väiksem. Aga mõlemad profiilid kasvavad sujuvalt mis aitab lõpuks summaarne koormus 9,0% võrra



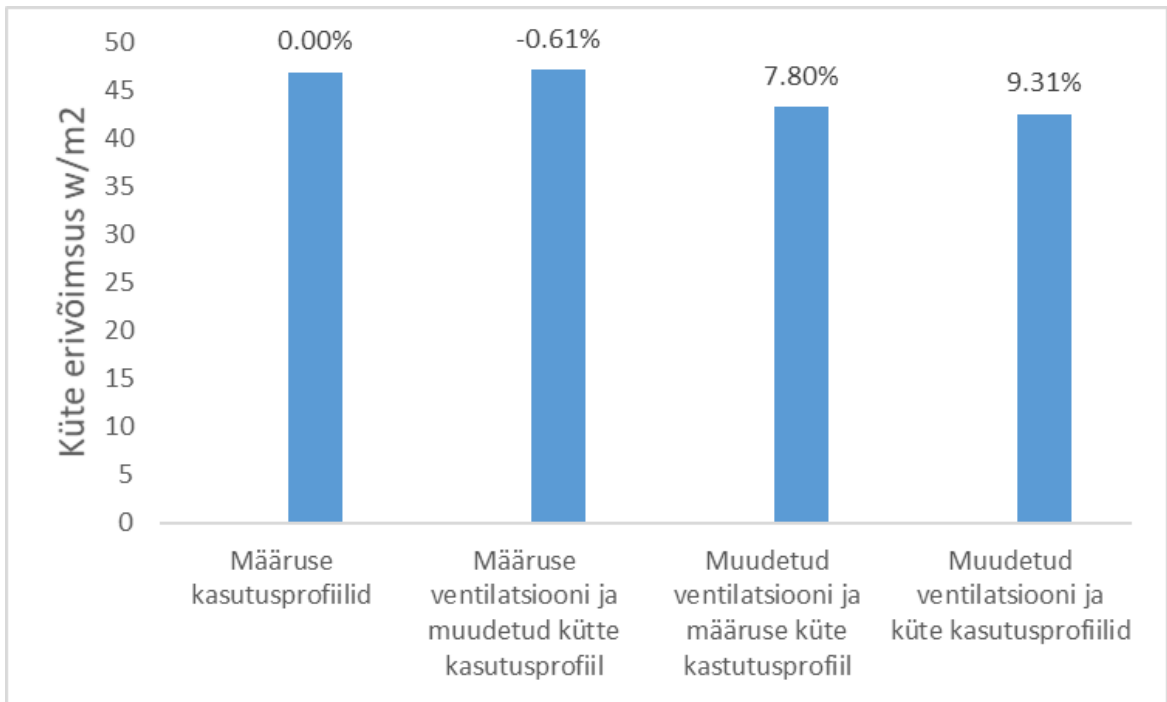
Joonis 27 Muudetud ventilatsiooni kasutusprofiil võrreldes määruse oma

Joonisel (vt Joonis 28) on kasutatud koos ventilatsiooni ja küttesüsteemide profiilid, aga kütte profiil võrreldes (vt Joonis 26) on modifitseeritud. Kell 06:00 ruumiseade temperatuur tõuseb 24°C kraadini ja püsib sellena kella 08:00-ni. Kell 08:00 langeb temperatuur kuni 21°C, selleks et ei esineks kaebusi, kuna ruumis on liiga palav. Sellise meetodiga saame kütte ja ventilatsiooni tipukoormused erinevatel ajadel, kütte kell 06:00 ja ventilatsiooni kell 10:00. Sellega ka saame summaarsed tipukoormused alla poole nihutada 10,2% võrra.



Joonis 28 Muudetud kütte ja ventilatsiooni kasutusprofiilid võrreldes määruste oma

Kasutades erinevaid kasutusprofiile, ning simuleerides erinevate õhulekke arvudega (1,0, 1,5, 2,5 ja 4,0) ja massiivsusega (kerge- ja raskekonstruktsioonidega), sain keskmised tulemused kajastatud tabelis (vt Tabel 8). Lõpptulemusena võib eraldada seda, et kui kasutada ainult kütte kasutusprofiili siis tipukoormus suureneb 0,61% võrra, kui kasutada ainult ventilatsiooni kasutusprofiili, siis tipukoormus väheneb 7,80% võrra aga kui kajastada nii kütte kui ka ventilatsiooni kasutusprofiilid, siis saab tipukoormused allapoole viia 9,31% võrra.



Tabel 8 Summaarsed kütte erivõimsused simuleeritud erinevate meetoditega

### 2.1.5 Inimesest tekitava vabasoojuse analüüs

Selleks, et analüüsida sisemiste vabasoojuste mõju kontorihoone näitel olen teinud simulatsiooni tipukoormuse esinenud kuupäevadel (vt Joonis 29) arvatud inimeste kasutus profiiliga ja määruse inimeste kasutusprofiiliga vahel. Lisasin võrdluse ka ventilatsiooni kasutusprofiili, et hinnata selle mõju kütte erivõimsusele. Tulemused nätaksin päeva keskmise väärtusena.

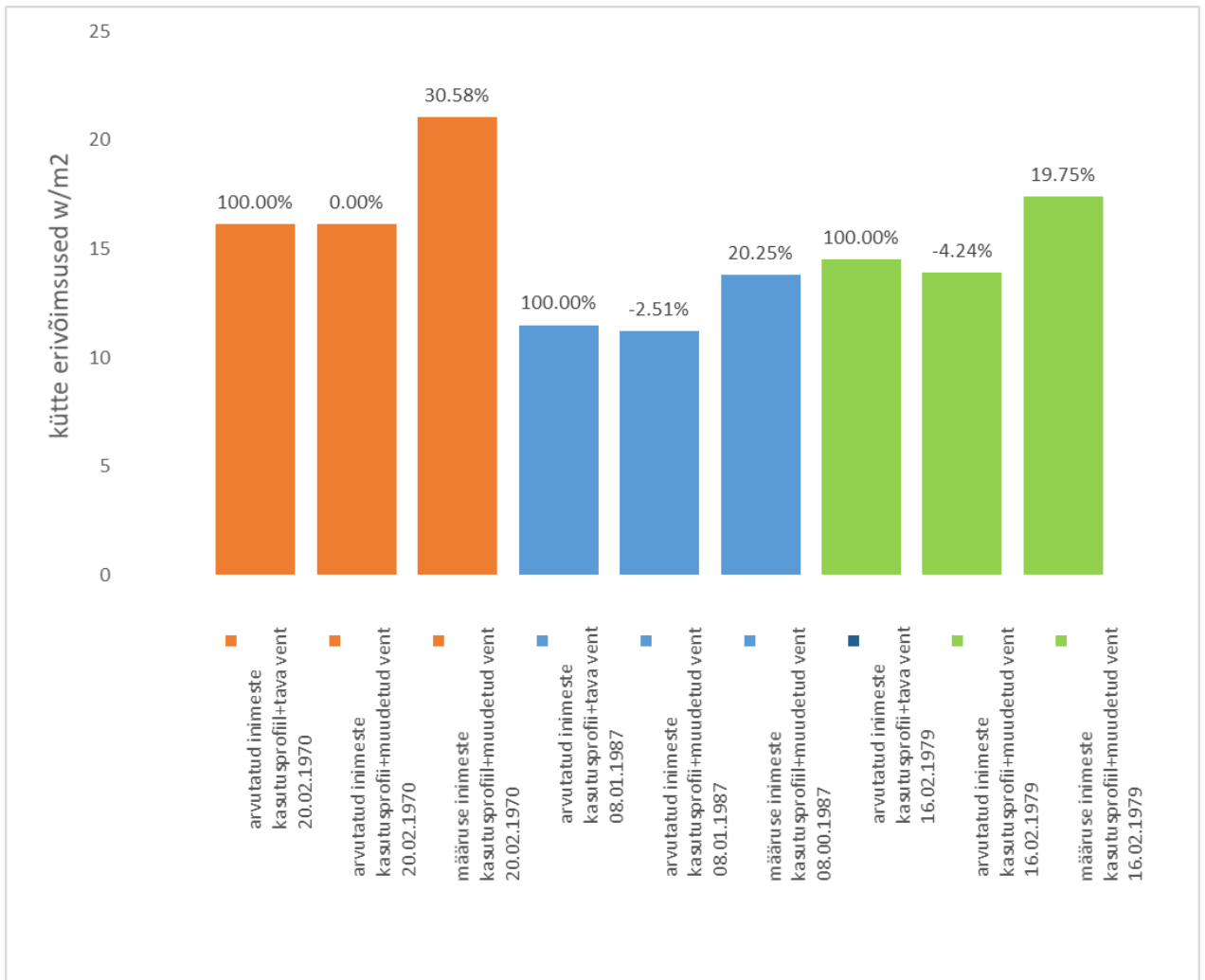
20.02.1970 kuupäeval määruse profiiliga keskmine kütte erivõimsus oli 30.58% kõrgem kui samal päeval aga arvatud kasutusprofiiliga. Kui võrrelda ventilatsiooni kasutusprofiili mõju siis sellel päeval kütte erivõimsus oli võrdne tava ventilatsiooni kasutusprofiiliga

08.01.1987 kuupäeval määruse profiiliga keskmine kütte erivõimsus oli 20.25% kõrgem kui samal päeval aga arvatud kasutusprofiiliga. Kui võrrelda ventilatsiooni kasutusprofiili mõju siis keskmine kütte erivõimsus sellel päeval oli 2.51% väiksem võrreldes tava ventilatsiooni kasutusprofiiliga

16.02.1979 kuupäeval määruse profiiliga keskmine kütte erivõimsus oli 19.75% kõrgem kui samal päeval aga arvatud kasutusprofiiliga. Kui võrrelda ventilatsiooni kasutusprofiili mõju siis keskmine kütte erivõimsus sellel päeval oli 4.24% väiksem võrreldes tava ventilatsiooni kasutusprofiiliga

Tulemuste analüüsides on näha, et kasutades määruse kasutusprofiili keskmine kütte erivõimsus on 23.25% suurem võrreldes realne (arvatud) kasutusprofiiliga, see on tingitud tegeliku hoone kasutamise intensiivsusest. Seda mõjutab ilmselt arvutid, monitorid, printerid, laadijad, muu kontoritehnika, mis ei nõua igapäevast väljalülitamist ja teatud juhtudel võib või peab olema sisse lülitatud, samuti inimesed et töötada alati 08:00 kuni 18:00, vaid keskmiselt vedavad nad tööl rohkem aega.

Analüüsides ventilatsiooni kasutusprofiili saab öelda, et selle mõju ei olnud suur, ainult 2.3% kuna ta töötab juhul kui ilmnevad kütte summaarsed tipukoormused, aga kui võtta terve päeva ulatuses siis sellist juhtumid on vaid üks.



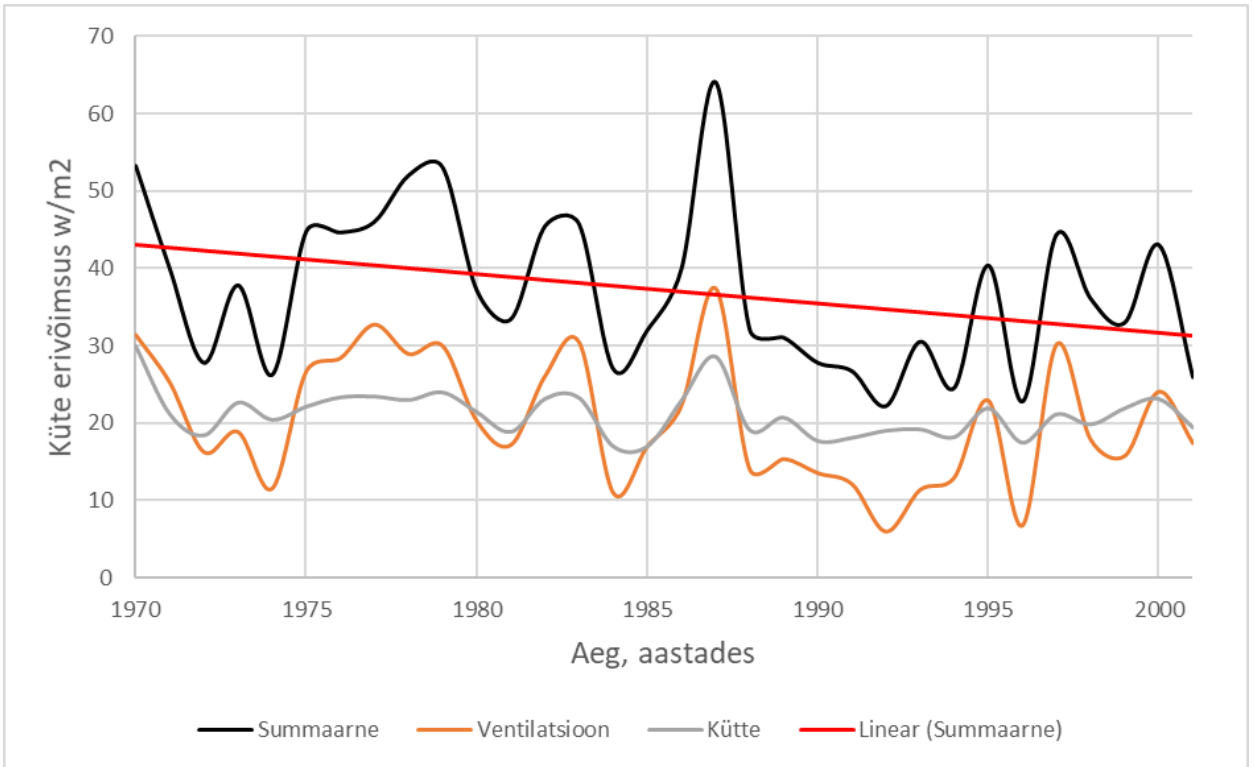
Joonis 29 Inimesest tekitava vabasoojuse analüüs

### 2.1.6 Tipukoormused läbi aastate

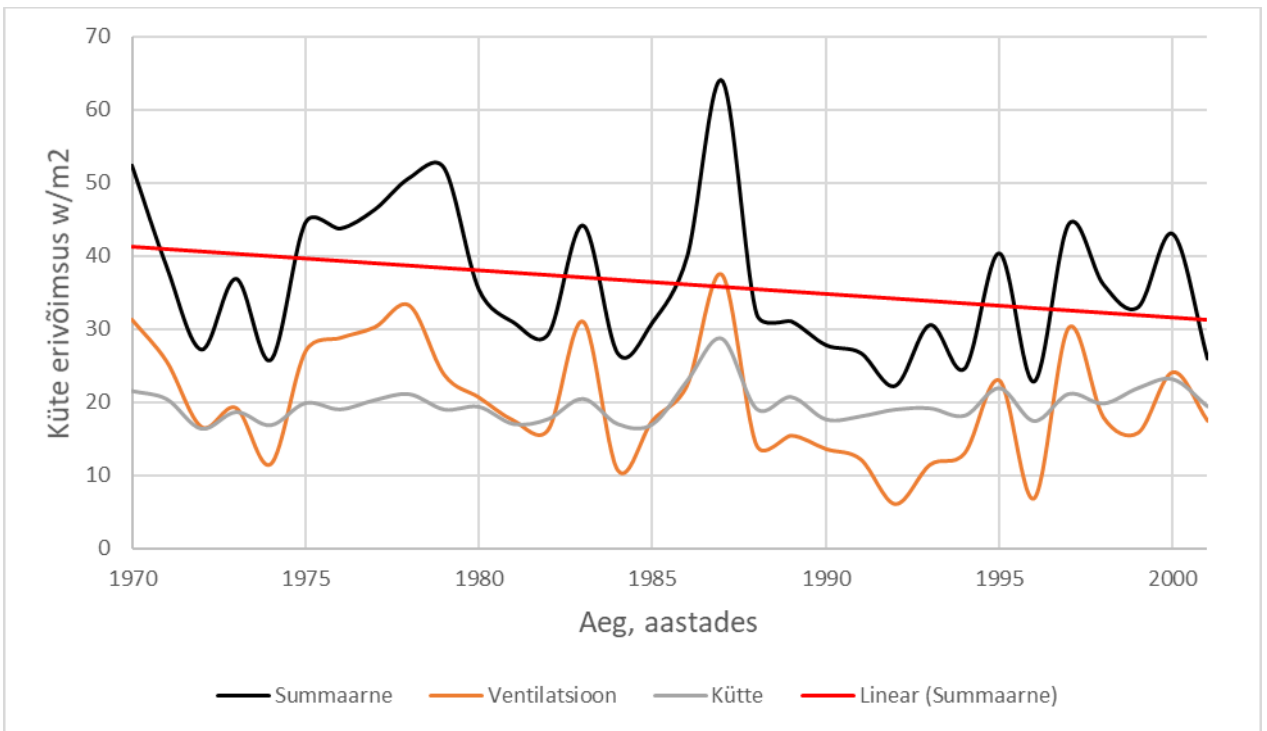
Selleks, et anda ülevaatus kuidas on muutunud kütte tipukoormused läbi aastate tegin 40a. simulatsioonid kerg- ja raskekonstruktsiooniga  $2,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  õhulekke arvuga ja vabasoojuseta kus tõin iga aasta puhul kütte, ventilatsiooni ja summaarsed kütte erivõimsused. Joonisel (vt Joonis 30) on näidatud tulemused kergkonstruktsiooni puhul kus punane joon on mediaan joont summaarsest tipukoormusest, mis näitab paremini keskmist kütte erivõimsuse väärtust. Mediaan väärtus on langenud  $43 \text{ w/m}^2$  1970 aastal kuni  $31 \text{ w/m}^2$  2001 aastal, mis tähendab 28% langust kütte tipuvõimsusele läbi aastate. Vastavalt tabelile (vt Tabel 9) keskmine väärtus kütte erivõimsuse puhul on  $21 \text{ w/m}^2$ , ventilatsiooni erivõimsuse puhul on  $20 \text{ w/m}^2$  ja summaarse keskmise erivõimsuse puhul on  $37 \text{ w/m}^2$ .

Joonisel (vt Joonis 30 Joonis 31) on näidatud tulemused raskekonstruktsiooni puhul. Mediaan väärtus on langenud  $41 \text{ w/m}^2$  1970 aastal kuni  $31 \text{ w/m}^2$  2001 aastal, mis tähendab 24% langust kütte tipuvõimsusele. Vastavalt (vt Tabel 10) keskmine väärtus kütte erivõimsuse puhul on  $20 \text{ w/m}^2$ , ventilatsiooni erivõimsuse puhul on  $20 \text{ w/m}^2$  ja summaarse keskmise erivõimsuse puhul on  $36 \text{ w/m}^2$ .

Kui võrrelda tabelites (vt Tabel 10 ja Tabel 9) erivõimsusi aastade kaupa, on näha, et summaarne erivõimsus on väiksem kui kütte ja ventilatsiooni summa, see on tingitud sellest, et tipud ei ilmne samal ajal.



Joonis 30 Esinenud kergkonstruktsiooni puhul tipukoormused läbi aastate



Joonis 31 Esinenud raskekonstruktsiooni puhul tipukoormused läbi aastate



Tabel 9 Esinenud kergkonstruktsiooni puhul tipukoormused läbi aastate

Aasta	ventilatsiooni erivõimsus w/m <sup>2</sup>	küte erivõimsus w/m <sup>2</sup>	summaarne erivõimsus w/m <sup>2</sup>
1970	31	22	52
1971	26	20	38
1972	17	16	27
1973	19	19	37
1974	11	17	26
1975	27	20	45
1976	29	19	44
1977	30	20	46
1978	33	21	51
1979	24	19	52
1980	21	19	35
1981	17	17	31
1982	16	18	29
1983	31	20	44
1984	11	17	27
1985	17	17	31
1986	22	23	40
1987	37	29	64
1988	14	19	32
1989	15	21	31
1990	14	18	28
1991	12	18	27
1992	6	19	22
1993	11	19	31
1994	13	18	25
1995	23	22	40
1996	7	17	23
1997	30	21	44
1998	18	20	36
1999	16	22	33
2000	24	23	43
2001	17	19	26

Tabel 10 Esinenud raskekonstruktsiooni puhul tipukoormused läbi aastate

Aasta	ventilatsiooni erivõimsus w/m <sup>2</sup>	küte erivõimsus w/m <sup>2</sup>	summaarne erivõimsus w/m <sup>2</sup>
1970	31	30	53
1971	25	21	40
1972	16	18	28
1973	19	23	38
1974	12	20	26
1975	27	22	45
1976	28	23	45
1977	33	23	46
1978	29	23	52
1979	30	24	53
1980	20	21	37
1981	17	19	33
1982	26	23	45
1983	30	23	46
1984	11	17	27
1985	17	17	32
1986	22	23	40
1987	37	29	64
1988	14	19	32
1989	15	21	31
1990	14	18	28
1991	12	18	27
1992	6	19	22
1993	11	19	31
1994	13	18	25
1995	23	22	40
1996	7	17	23
1997	30	21	44
1998	18	20	36
1999	16	22	33
2000	24	23	43
2001	17	19	26

## KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuriti büroohoone soojusvarustuse tipukoormused ning võimalused nende vähendamiseks tehnosüsteemide juhtimise abil. Tipukoormuse uurimiseks kasutati 40 aastase kliimafaili, kus on defineeritud 1 tunni sammuga temperatuur, tule suund, tulekiirus ja kiirgus. Simulatsioonid on modelleeritud kasutades IDA-ICE tarkvara. Arvutusmudel on koostatud Ülemiste City's paikneva maja projekti järgi. Maja aadressiks on Valukoja tn 8 // Sepise tn 9, Lasnamäe LO, Tallinn ja nimetuseks on Öpiku Ärihoone A. Simulatsioonid on teostatud erineva õhulekke arvuga (1.0, 1.5, 2.5 ja 4,0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>\*h) ja massiivsusega (kerge- ja raskekonstruktsioonidega), ning arvestades kas ainult päiksest tekitatud vabasoojusega või koos sisemisega vabasoojusega. Koostatud erinevad kütte ja ventilatsiooni kastusprofiilid, mis on võrreldud MTM määruse nr 58 kasutusprofiiliga. Kasutusprofiilide loomiseks on arvestatud süsihappegaasi ja lenduva organilise ühenduse kontsentratsioonidega, et nad ei ületaks ettenähtud piirväärtusi. Saadud tulemusi võrreldi kütte erivõimsusi w/m<sup>2</sup> järgi.

Esialgelt on tuvastatud suurema tipukoormusega päevad kasutades erinevad meetodid kogu perioodi ulatuses. Tipukoormused erinesid omavahel vähel määral, ning kriitiliseks kuupäevadeks on 20.02.1970, 16.02.1979 ja 08.01.1987. Analüüsides kliima nende päevadel tuvastasin, et 1970 ja 1979 aastatel oli külmem või tuulisem päevad, aga 1987 aastal temperatuur ei langenud nii madalamaks, vaid ilm oli pilvane ja kiirgus päiksest oli minimaalne. Järgmisena võrdlesin kasutafes määruse kasutusprofiili kõige kriitilisem kuupäevad millal esinesid tipukoormused standartolukorraga arvatud simulatsiooniga (-21°C VAT puhul). Stasionaarolukorras arvatud kütte summaarne erivõimsus jääb võrreldes teiste tulemustega keskel. Mis tähendab, et EVS-is toodud välisõhu parameetrid võrdlevad kõige külmem ja tuulisema kliimaga, mis on juhtunud Tallinnas 40 aastate jooksul.

Edasi võrdlesin kuidas hoonete massiivsus ja sisemine vabasoojus mõjub tipukoormusele. Kogu uuritava perioodi puhul sisemiste vabasoojuseta kergekonstruktsiooni summaarne kütte erivõimsus oli keskmiselt 5% võrra suurem, mis on tingitud betooni omadusest akumulierida soojust konstruktsioonides rohkem kui kergekonstruktsioon. Vabasoojusega arvestades erinevus on keskmiselt 4% võrra suurem. Vabasoojusega arvestades hoones summaarsed kütte erivõimsused on keskmiselt 19% võrra väiksem, kui vabasoojuseta simulatsioonides.

Arvutatud simulatsioonides erinevate kasutusprofiilidega sain tulemiseks võrreldes määruse profiiliga, et kui kasutada ainult kütte kasutusprofiili siis tipukoormus suureneb 0,61% võrra, kui kasutada ainult ventilatsiooni kasutusprofiili, siis tipukoormus väheneb 7,80% võrra aga kui kajastada nii kütte kui ka ventilatsiooni kasutusprofiilid, siis saab tipukoormused allapoole viia 9,31% võrra.

Analüüsid inimesest tekitava vabsoojuse mõju tingitud määruse- ja arvutatud kasutusprofiilidest tuln järeldusele, et kasutades määruse kasutusprofiili keskmine kütte erivõimsus on 23.25% suurem võrreldes realne (arvutatud) kasutusprofiiliga, mis on tingitud tegeliku hoone kasutamise intensiivsusest, mis mõjutavad omavahel arvutid, monitorid, printerid, laadijad, muu kontoritehnika, mis ei nõua igapäevast väljalülitamist ja teatud juhtudel võib või peab olema sisse lülitatud, samuti inimesed et töötada alati 08:00 kuni 18:00, vaid keskmiselt vedavad nad tööl rohkem aega.

Viimase lõputöö osas tegin tipukoormuse läbi aastate simulatsioonid kerg- ja raskekonstruktsiooniga  $2,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  õhulekke arvuga ja vabasoojuseta, kus tõin iga aasta puhul kütte, ventilatsiooni ja summaarsed kütte erivõimsused. Kergkonstruktsiooni puhul mediaan väärtus on langenud  $43 \text{ w/m}^2$  1970 aastal kuni  $31 \text{ w/m}^2$  2001 aastal, mis tähendab 28% langust kütte tipuvõimsusele läbi aastate. Raskekonstruktsiooni puhul mediaan väärtus on langenud  $41 \text{ w/m}^2$  1970 aastal kuni  $31 \text{ w/m}^2$  2001 aastal, mis tähendab 24% langust kütte tipuvõimsusele.

## Summary

In this work, the office building's heat supply has been examined and the possibilities for reducing them by the management of technical systems. For the peak load study, a 40-year climate file with a defined temperature of 1 hour, with the direction and speed of wind and the sun radiation is used. Simulations are modeled using the IDA-ICE software. The calculation model has been compiled by the project in Ülemiste City. The address of the house is Valukoja Street 8//Sepise Street 9, Lasnamäe LO, Tallinn and the name is „Õpiku Ärihoone A“. Simulations have been performed with a different number of air leaks (1.0, 1.5, 2.5 and 4.0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> \* h) and with an array (with light and heavy constructions), and taking into account whether the sun-induced heat or the interior with free- A variety of heating and ventilation dressing profiles have been drawn up, compared with the use profile of MTM Regulation No 58. For the creation of user profiles, carbon dioxide and volatile organical community consufations have been taken to ensure that they do not exceed the prescribed limit values. The results obtained were compared with the heating of special capacities w/m<sup>2</sup>.

First of all i detected criticals days with the biggest heating peak load usin 40 year simulation. The peak loads were not different from, and the critical dates are 20.02.1970, 16.02.1979 and 08.01.1987. In analyzing the climate these days I recognized that the 1970 and 1979 years were colder or more windier days, but 1987 temperature did not fall so low, but the weather was cloudy and the radiation from the sun was minimal. Next, I compared the government methodic profile to the most critical dates when peak loads occurred with a simulation of the standard situation ( outside temperature is-21 °c ). In the standartt situation, the calculated total heating capacity remains in the middle of the other results. Which means that the ambient air parametres in EVS are compared to the most colder and whirlwind climate that has happened in Tallinn in 40 years.

In further I compared how the buildings ' massivity and internal heat are affecting peak loads. For the whole period the total heating capacity of the non-built-in lightweight design was 5% higher, which is due to the characteristic of the concrete to accumulate heat in constructions more than light construction. The difference is at an average of 4% higher than that of the free-heat. On average, the total heat capacities in the building in the buildings are less than 19% smaller than non-free simulations.

In calculated simulations using different profiles, I got the result compared to the regulation profile that if used only for the heating usage profile then the peak load increases by 0.61% when using only the ventilation usage profile, then the peak load decreases by 7.80%, however, if using both the heating and the ventilating profiles then peak heating load can be reduced by 9.31%.

In the analysis of the regulation and calculated usage profiles due to the impact of the free heat generated by calculated and government methodic i came to conclusion that average heating capacity using government methodic profile is 23.25% higher compared to the calculated usage profile, which is affected by the intensity of actual building usage, such as computers, monitors, printers, chargers, other office equipment that does not require a daily shutdown and in some cases may or must be switched on, as well as people do not always work from 8:00 to 18:00, but on average, they spend more time at work.

In the last thesis section, I made a simulation of a peak load through the years using light and heavy construction with the number of air leaks of  $2.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  and with no free-heat, where I brought heating, ventilation and total heating capacity power of the each year. In the case of a lightweight construction, the median value has fallen to  $43 \text{ w/m}^2$  1970 in the year to  $31 \text{ w/m}^2$  2001 year, which means a 28% decline in heating capacity over the years. In the case of a heavy construction the median value has dropped  $41 \text{ w/m}^2$  1970 in the year to  $31 \text{ w/m}^2$  2001 year, which means a 24% decline in heating power capacity.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Vabariigi Valitsus, Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika, Riigiteataja, RT I, 18.01.2019, 12.
- [2] EVS-EN 12831-1:2017, Energy performance of buildings - Method for calculation of the design heat load - Part 1: Space heating load, Module M3-3, Eesti Standardikeskus, 2017.
- [3] Siseõhu saasteainete piirnormid erinevates Euroopa maades Töö autor: Mihkel Pindus Keskkonnatervise uuringute keskus 2015
- [4] EVS 844:2016, Hoonete kütte projekteerimine, Eesti Standardikeskus, 2016.
- [5] Vabariigi Valitsus, Hoone energiatõhususe miinimumnõuded, Riigiteataja, RT I, 13.12.2018, 124
- [6] EVS 829:2003, Hoone soojuskoormuse määramine, Eesti Standardikeskus, 2003.
- [7] EVS-EN 12831:2003, Hoonete küttesüsteemid. Arvutusliku küttekoormuse arvutusmeetodid (kehtetu), Eesti Standardikeskus, 2003. [14] J. Jokisalo, J. Kurnitski, M. Korpi, T. Kalamees ja J. Vinha,
- [8] Elektritarbimise analüüs kahe büroohoone näitel Tallinnas Ülemiste Citys Töö autor Andrei Engels, Martin Kiil
- [9] Infiltratsiooniga arvestamine eramute küttevõimsuste dimensioneerimisel eesti kliimas Töö autor Taaniel Rebane, Raimo Simson
- [10] Are typical radiators over-dimensioned? An analysis of radiator dimensions in 1645 Danish houses. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Brovej
- [11] Changes in heat load profile of typical Danish multi-storey buildings when energy-renovated and supplied with low-temperature district heating. Maria Harrestrup & Svend Svendsen
- [12] Hoonete sisekliima ventilatsioon, õhu kvaliteet ja tootlikkus Töö autor Martin Thalfeldt
- [13] Energy performance of buildings - Method for calculation of the design heat load - Part 2: Explanation and justification of EN 12831-1, Module M3-3. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels
- [14] Energy performance of buildings - Method for the calculation of the design heat load - Part 4: Explanation and justification of EN 12831-3, Module M8-2, M8-3. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

- [15] Energy performance of buildings - Method for calculation of the design heat load - Part 1: Space heating load, Module M3-3. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels
- [16] Energy performance of buildings - Method for calculation of the design heat load - Part 3: Domestic hot water systems heat load and characterisation of needs, Module M8-2, M8-3. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels
- [17] Energy performance of buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels
- [18] Theoretical overview of heating power and necessary heating supply temperatures in typical Danish single-family houses from the 1900s. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Brovej
- [19] Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings. Helena Järnström
- [20] Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine Juhend väikeelamute projekteerijale, ehitajale ja tellijale Töö autor Targo Kalamees, Teet Tark
- [21] Wikipedia artikkel „Soojusmass“
- [22] Perioodiline küte – temperatuuri langetamine külmas kliimas. Teadmispõhine ehitus 2018 Töö autor Tuule-Mall Kull, Raimo Simson, Jarek Kurnitski Tallinna Tehnikaülikool, nZEB uurimisrühm
- [23] Transparent wood can store and release heat. American Chemical Society. ScienceDaily
- [24] <https://deos.ee/tegevusalad/ventilatsioonisusteemid/>