

TARTU ÜLIKOOLI VILJANDI KULTUURIAKADEEMIA

Rahvusliku käsitöö osakond

Rahvusliku ehituse õppekava

Ivar Smolin

# Hoonete energiaarvutused tarkvara EnergyPlus abil

Lõputöö

Juhendajad: MA Rene Valner  
MSc Priit-Kalev Parts

Viljandi 2013

# Sisukord

<b>1</b>	<b>Sissejuhatus</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Uurimuse eesmärk, hüpoteesid ja metoodika</b>	<b>4</b>
2.1	Eesmärk . . . . .	4
2.2	Hüpoteesid . . . . .	4
2.3	Metoodika . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Hoonete energiatõhususe arvutamine</b>	<b>5</b>
3.1	Energiaarvutuste tarkvara . . . . .	5
3.2	Seaduses esitatud nõuded energiaarvutuste tarkvarale . . . . .	6
3.3	Eesti energiaarvutuse baasaasta . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Tarkvarapakett EnergyPlus</b>	<b>9</b>
4.1	EnergyPlusi puudused . . . . .	9
4.2	EnergyPlusi graafilised kasutajaliidesed . . . . .	9
4.3	EnergyPlusi kasutamine hoone energiaarvutusteks . . . . .	10
4.3.1	Tarkvarapaketi hankimine . . . . .	10
4.3.2	Tarkvarapaketi sisu . . . . .	11
4.3.3	Kliimaandmete kasutamine . . . . .	11
4.3.4	Esmase andmefaili loomine . . . . .	11
4.3.5	Energiaarvutuste andmete sisestamine . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Tulemused</b>	<b>14</b>
5.1	Tarkvara EnergyPlus vastavus seaduses esitatud nõuetele . . . . .	14
5.2	Kliimaandmed . . . . .	14
5.3	Hoone simulatsioon . . . . .	19
<b>6</b>	<b>Arutelu</b>	<b>24</b>
6.1	Kliimaandmed . . . . .	24
6.2	Hoone simulatsioon . . . . .	24
<b>7</b>	<b>Kokkuvõte</b>	<b>26</b>

# 1 Sissejuhatus

Hoonete energiatõhusus on energiaressursside jätkuva kiire vähenemise ja kallinemise tõttu järjest enam aktuaalne. Samas moodustab hoonete energiakulu kogu Eestis kasutatavast energiast 40%. Hoonete energiatõhususe tagamiseks rakendatavad meetmed on seetõttu loomulikult järjest enam riiklikult reguleeritud. Eesti liitumine Euroopa Liiduga tõi kaasa kohustuse võtta üle EL-i energiatõhusust käsitlevad õigusaktid tagamaks energia efektiivsema kasutuse olemasolevates ja ehitatavates hoonetes. 2009. aasta 1. juulil jõustus Eesti Vabariigis uute või oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususe eesmärkide saavutamisele suunatud Vabariigi Valitsuse määrus nr 258 (vastu võetud 20.12.2007) „Energiatõhususe miinimumnõuded“. 2013. aasta alguses kehtima hakanud ehitusseadus kohustab üle 500m<sup>2</sup> pinnaga hoone puhul tähistama hoonet energiamärgisega, samuti on energiamärgise andmete esitamine hoone müümise või rentimise üheks tingimuseks. Aastaks 2025 on majandus- ja kommunikatsiooniministerium seadnud eesmärgiks kõigi olemasolevate hoonete energiatõhususe olulise parandamise.

Juba olemasolevate hoonete rekonstrueerimisel ja uute projekteerimisel ja ehitamisel on energiatõhususe arvutusteks lubatud kasutada kõiki tarkvarasid, mis vastavad seaduses sätestatud tingimustele. Riik on panustanud ka eestikeelse tarkvara väljatöötamisse ning hankinud energiaarvutuste tarkvara BV<sup>2</sup> eestikeelse versiooni ja levitab seda tasuta. Samas pole BV<sup>2</sup> ainus tasuta kasutatav hoone energiaarvutuste programm, peale selle on saadaval ka avatud lähtekoodiga tarkvarapakett EnergyPlus.

Käesolev töö püüab leida vastust küsimusele, kas tarkvara EnergyPlus on sobilik hoonete energiaarvutuste läbiviimiseks seaduses sätestatud viisil. Selleks hinnatakse tarkvara EnergyPlus vastavust seaduses esitatud nõuetele, luuakse selle jaoks hoone mudel, mille aluseks võetakse 2010. aastal Tallinna Tehnikaülikoolis valminud uuringus “Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise ja selle kontrolli võimekuse tõstmine” kasutatud büroohoone andmed, ja võrreldakse selle mudeli põhjal tehtud energiaarvutuste tulemust eelnimetatud uuringus kasutatud teiste tarkvarade tulemustega.

## **2 Uurimuse eesmärk, hüpoteesid ja metoodika**

### **2.1 Eesmärk**

Käesoleva uurimuse eesmärk on välja selgitada, kas tarkvara EnergyPlus on sobilik hoone energiaarvutuste tegemiseks vastavalt Eesti Vabariigi seadusega sätestatud tingimustele. Selleks viiakse tarkvaraga EnergyPlus läbi uuringus “Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise ja selle kontrolli võimekuse tõstmine” kasutatud büroohoone energiatarbe simulatsioonid ja võrreldakse saadud kütte- ja jahutusenergia vajadust samas uuringus kasutatud teiste tarkvarade kasutamisel saadud tulemustega.

### **2.2 Hüpoteesid**

EnergyPlusi arvutusmeetodid vastavad seaduses sätestatud nõuetele ja EnergyPlusi tarkvaral on omadused, mis on energiaarvutuseks kasutatava arvutustarkvara kohta seaduses ette nähtud, samuti on EnergyPlusiga saadud arvutuste tulemused võrreldavad teiste programmide tulemustega.

### **2.3 Metoodika**

Hinnatakse EnergyPlusi vastavust seaduses esitatud nõuetele ja tehakse programmiga hoone kütte- ja jahutusvajaduste kontrollarvutused, mille tulemusi võrreldakse teiste energiaarvutuse tarkvarade arvutustulemustega. Arvutustes kasutatava Eesti energiaarvutuse baasaasta andmed tehakse EnergyPlusi jaoks kasutatavaks ja selle käigus tekkiva andmefaili usaldusväärsuse kontrollimiseks viiakse läbi testarvutused Eesti ja kliimaatiliselt sarnaste asukohtade vahel ja võrreldakse saadud tulemusi.

### 3 Hoonete energiatõhususe arvutamine

Hoonete energiatõhususe arvutamine on Eestis reguleeritud alates 2007. aastast. Praegu reguleerivad neid arvutusi ehitusseadus ja määrused „Energiatõhususe miinimumnõuded“ ja „Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika“.

Seaduse järgi tuleb sisekliima tagamisega hoone projekteerida nii, et oleks võimalik täita energiatõhususe miinimumnõudeid. Eraldi määrustega on kehtestatud sisekliima tagamisega hoone energiatõhususe miinimumnõuded ja arvväärtused ning hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika, tehnosüsteemidele esitatavad nõuded ning hoonetes taastuenergia kasutuselevõtu tingimused (Ehitusseadus, § 3).

2010. aasta uuringus leiti, et energiatõhususe miinimumnõuete töölerakendumine on äärmiselt komplitseeritud. „Analüüsitud tööde põhjal võib teha üldistuse, et Vabariigi Valitsuse määruse nr 258 20.12.2007. a. „Energiatõhususe miinimumnõuded“ tööle rakendumisel on märkimisväärseid puudusi ning määrusega seatud eesmärgid on sisuliselt täitmata. Osaliselt on need tingitud määruse keerukusest, kuid samuti probleemidest määruse järgi aktsepteeritava arvutustarkvara kasutamisel. Eesti Vabariigis ei ole olnud institutsiooni(e), kes oleks välja õpetanud vajalikul hulgal määruses aktsepteeritava arvutustarkvara spetsialiste. Arvutusteks aktsepteeritav tarkvara on saadaval vaid võõrkeelsena ning kasutamine äärmiselt keeruline ja eeldab kõrgeid erialaseid teadmisi ning suurt töökogemust. Sageli pole arvutuskäigud ja -tulemused läbipaistvad, mistõttu on energiaarvutuste adekvaatsuse kontroll komplitseeritud“ ( Voll, Tark, Seinre, Maivel, Kuusk, Raide, Loorits, Loit, Eichler, Sergejeva, Laas, Saksakulm, Kurg, Tuuling, Ruzitš, Loo, lk 143).

#### 3.1 Energiaarvutuste tarkvara

Hoone energiaarvutuste tegemiseks on lubatud kasutada kõiki tarkvarasid, mis vastavad seaduses sätestatud tingimustele. Seaduse kohaselt on valideeritud tarkvara sisekliima ja energiaarvutuse tarkvara, mille valideerimiseks on tehtud võrdlusarvutus vastava standardi või metoodika järgi (Energiatõhususe miinimumnõuded, § 2 lg 1).

Seaduse täitmise hõlbustamiseks on riik panustanud eestikeelse tarkvara väljatöötamisse ning hankinud energiaarvutuste programmi BV<sup>2</sup> eestikeelse versiooni ja levitab seda tasuta. Praktikas kasutatakse arvutusteks ka teisi programme (Riuska, IDA-ICE jpt).

BV<sup>2</sup> on elamute energiavajaduse arvutamiseks ja energiatõhususe tõendamiseks mõeldud arvutustarkvara ja selle on välja töötanud Rootsi ettevõtte CIT Energy Management AB. Programm on valideeritud IEA BESTEST metoodika järgi. BV<sup>2</sup> koos kasutusjuhendi ja arvutusnäidistega saab vabalt alla laadida majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi kodulehelt <http://www.mkm.ee/hoonete-mn>. BV<sup>2</sup> tarkvara on omanduslik (*proprietary*) tarkvara, mille kasutajad ei tohi seda muuta ega levitada.

Teised saadaolevad energiaarvutuste programmid on valdavalt suletud lähtekoodiga, kuid

on ka avatud lähtekoodiga tarkvara, näiteks ESP-r ja EnergyPlus. Avatud lähtekoodiga programmide eeliseks on see, et nende tööpõhimõtete verifitseerimine on võimalik detailisel tasandil. Programmi lähtekood on olemuselt kõige täpsem dokumentatsioon, mis programmi kohta olemas on.

### 3.2 Seaduses esitatud nõuded energiaarvutuste tarkvarale

Ehitise energiaarvutuste nõue ja meetodika on kehtestatud ehitusseadusega (kehtib alates 09.01.2013):

#### § 2. Terminid

(12) Energiatõhususe miinimumnõuded on olemasolevate või ehitatavate hoonete summaarse energiatarbimise piirmäärad, lähtudes hoonete kasutamise otstarbest ja arvestades tehnilisi näitajaid, olulise energiatarbega tehnosüsteemidele esitatavaid nõudeid või tingimusi taastuenergia kasutuselevõtuks hoonetes. Energiatõhususe miinimumnõuded võivad hõlmata ka teistele tehnosüsteemidele esitatavaid nõudeid, kui süsteemide talitluse tõttu suureneb hoone energiavajadus olulisel määral.

#### § 3. Ehitisele esitatavad nõuded

(7) Ehitise välispiirded ning olulise energiatarbega tehnosüsteemid peavad tagama ehitises tarbitava energiahulga vastavuse ehitise asukoha kliimaatilistele tingimustele ning ehitise kasutamise otstarbele. Sisekliima tagamisega hoone välispiirded ning olulise energiatarbega tehnosüsteemid peavad olema projekteeritud ja ehitatud selliselt, et nende koostoimel oleks võimalik tagada energiatõhususe miinimumnõuete täitmine.

(7<sup>2</sup>) Käesoleva seaduse § 2 lõikes 12 sätestatud energiatõhususe miinimumnõuded ja arväärtused sisekliima tagamisega uutele ja oluliselt rekonstrueeritavatele hoonetele kehtestab Vabariigi Valitsus määrusega.

(7<sup>3</sup>) Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika, tehnosüsteemidele esitatavad nõuded ning hoonetes taastuenergia kasutuselevõtu tingimused kehtestab majandus- ja kommunikatsiooniminister määrusega.

Uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususe miinimumnõuded ja arväärtused on kehtestatud Vabariigi Valitsuse 30.08.2012. a. määrusega nr 68 „Energiatõhususe miinimumnõuded“. Nõuded arvutusteks kasutatavale tarkvarale on määratud järgmiselt:

#### § 2. Terminid

14) valideeritud tarkvara – sisekliima ja energiaarvutuse tarkvara, mille valideerimiseks on tehtud võrdlusarvutus vastava standardi või meetodika

järgi. Käesoleva määruse mõistes aktsepteeritakse valideerimiseks vastavaid Euroopa (EVS-EN), ISO, ASHRAE ja CIBSE standardeid ning IEA BESTEST metoodikat või nendega samaväärseid üldtunnustatud metoodikaid;

#### § 17. Arvutustarkvara

(1) Energiaarvutuseks kasutataval arvutustarkvaral on järgmised omadused:

- 1) hoone soojuslevi dünaamiline arvutus;
- 2) kliimaprotsessor, millesse on võimalik lugeda Eesti energiaarvutuse baasaastat selle originaaldetailsusega ja mis arvutab tundide lõikes päikesekiirguse pindadele ja varju jäävad alad;
- 3) ventilatsioonisüsteemi soojustagastuse modelleerimise võimalikkus;
- 4) tõeliste ruumitemperatuuride kasutamine arvutuses;
- 5) võimalus sisestada energiaarvutuse lähteandmeid vastavalt ehitusseaduse § 3 lõike 7<sup>3</sup> alusel vastu võetud hoonete energiatõhususe arvutamise metoodikale;
- 6) arvutustarkvara peab olema valideeritud vastavalt asjakohasele standardile või metoodikale.

(2) Energiaarvutuseks võib kasutada kõiki eelnevatele nõuetele vastavaid arvutustarkvarasid.

(3) Jahutussüsteemita elamute energiaarvutuse võib teha ka lihtsustatud, kuude kaupa või kraadpäevade järgi arvutava tarkvaraga.

Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika on kehtestatud majandus- ja kommunikatsiooniministri 08.10.2012. a määrusega nr 63 „Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika“, mis sätestab lisaks metoodikale ka arvutuste aluseks olevad lähteandmed, määrab hoone standardkasutuste parameetrid (kasutusaste, vabasoojused, õhupidavus jms), energiaarvutuse põhimõtted ja tehnosüsteemide energiakasutuse arvutusreeglid ning energiaarvutuse tulemuste esitamise nõuded. Olulisemad määruuses sätestatud nõuded on järgmised:

#### § 3. Energiaarvutus

(1) Hoone energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse kontrolliks sooritatakse energiaarvutus hoone standardkasutusel, käesolevas määruuses toodud välis- ja sisekliima, hoone ja tehnosüsteemide kasutus- ja käiduaegade, vabasoojuse ning hoone õhupidavuse lähteandmetega. Muud arvutuseks vajalikud lähteandmed võetakse hoone ehitusprojektist.

(2) Energiaarvutuses ei eeldata hoonete detailset tsoonideks jagamist. Väikeelamuid ja ühe kasutusotstarbega hooned võib arvutamisel käsitleda

ühe tsoonina. Suuremad hooned jagatakse vastavalt kasutusotstarbele ja kasutusaegadele vajalikuks hulgaks tsoonideks.

(3) Käesolevas määruses kasutatakse ehituseaduse § 3 lõike 7<sup>2</sup> alusel kehtestatud määruses „Energiatõhususe miinimumnõuded” välja toodud hoonete kasutusotstarbeid.

#### § 4. Väliskliima

Energiaarvutus ja suvise ruumitemperatuuri kontroll sooritatakse sõltumata hoone asukohast Eesti energiaarvutuse baasaastaga. Baasaasta esindab kolme dekaadi (1970–2000) tüüpilist väliskliimat ega ole selle tõttu kasutatav küttevõimsuse vajaduse arvutamisel. Kui baasaastat kasutatakse jahutusvõimsuse vajaduse arvutamisel, siis tuleb arvestada, et tulemused ei kajasta tüüpilisest soojema suve jahutusvõimsusi.

#### § 5. Sisekliima

(1) Energiaarvutuses kasutatakse ehituseaduse § 3 lõike 7<sup>2</sup> alusel kehtestatud määruses „Energiatõhususe miinimumnõuded” ära toodud ruumitemperatuuride seadeid ja ventilatsiooni õhuvooluhulkasid.

Ehituseadus koos määrustega „Energiatõhususe miinimumnõuded“ ja „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ sätestavad nõuded hoonete energiatõhususe arvutusmeetoditele ja arvutusteks kasutatavale tarkvarale.

### **3.3 Eesti energiaarvutuse baasaasta**

Vastavalt seadusele tuleb energiaarvutus ja suvise ruumitemperatuuri kontroll sooritada Eesti energiaarvutuse baasaasta andmetega (Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika, § 4). Energiaarvutuse baasaasta on sisekliima- ja energiaarvutuseks koostatud väliskliimaandmete kogum, mis põhineb üle-eestistel kliimaandmetel ajavahemikus 1970–2000 (Ibid, § 2 lg 2). See sisaldab kuivtermomeetriga mõõdetud õhutemperatuuri, suhtelise õhuniiskuse ning tuule kiiruse keskmisi ja otsese päikesekiirguse ning rõhtpinnale langeva hajuskiirguse summaarseid väärtusi kuude kaupa.



## 4 Tarkvarapakett EnergyPlus

EnergyPlus on arhitektidele, inseneridele ja teadustöö tegijatele mõeldud tarkvarapakett hoone terviklikuks energiasimulatsiooniks. Programmi abil on võimalik mudeldada kütet, jahutust, valgustust, ventilatsiooni ja muid energiavooge, samuti veekasutust. EnergyPlusi simulatsioon sisaldab palju moodsat võimekust: arvutuste sammud ajateljel on tihedamalt kui ühetunnise vahega, tehnosüsteemide integreerimine soojustasakaalul põhineva tsoonisimulatsiooniga, mitmetsooniline õhuvool, soojuslik mugavus, veekasutus, loomulik ventilatsioon ja päikesekollektorsüsteemid.

EnergyPlusi väljatöötajaks on USA Riikliku Taastuvenergia Laboratoorium (National Renewable Energy Laboratory ehk NREL). EnergyPlusi programmi eelkäijad BLAST ja DOE-2 loodi 1970-ndate lõpul ja 1980-ndate algul. EnergyPlusi esimene versiooni valmis nende kahe programmi põhjal 2001. aastal.

Alates 2011. aasta novembris välja lastud EnergyPlusi versioonist 7.0 on tarkvarapaketti litsentseeritud teiste hulgas ka avatud lähtekoodi litsentsi alusel (EnergyPlus Licensing). Avatud lähtekoodi litsents (*Open source license*) võimaldab tarkvara lähtekoodi muuta ja muudetud koodi samadel litsentsitingimustel levitada. See litsents on loodud Mozilla Public Licence'i (MPL) eeskujul. MPL on maailmas üks tuntumaid avatud lähtekoodiga tarkvara litsentse, sellega litsentseeritakse näiteks Firefox'i veebisirviijat ja LibreOffice'i kontoritarkvara paketti.

### 4.1 EnergyPlusi puudused

EnergyPlusi kasutajaliides on andmeväljade sisestamise keskne ja sarnaneb ülesehituselt tabelarvutusprogrammidega. Programm ei toeta kasutajat hoone andmete visualiseerimisega. Kasutuse hõlbustamiseks loodud eraldiseisev tarkvara OpenStudio on alles katsestaadiumis.

EnergyPlus on programmeeritud Fortran keeles, mis loodi 1950-ndatel aastatel teaduslike ja tehniliste arvutuste tarbeks. Fortran keele osakaal teiste kasutuses olevate keelte hulgas on marginaalne 0,407% (TIOBE Programming Community Index) ja sellest tulenevalt on ka vastavat oskusteavet omavaid tarkvaraarendajaid vähe. See on tõenäoliselt ka üks põhjus, miks EnergyPlusi jaoks pole tekkinud sõltumatut globaalset kogukonda.

### 4.2 EnergyPlusi graafilised kasutajaliidesed

EnergyPlusi avatud arhitektuur võimaldab luua programmile eraldiseisvaid kasutajaliideseid. Kommertsiaalselt levitatavat programmi DesignBuilder tutvustatakse kui täisväärtuslikku graafilist EnergyPlusi kasutajaliidest, mis võimaldab hoone geometriat kirjeldada kolmemõõtmelise mudeli abil ja esitada raporteid visualiseeritud kujul. Veebipõhiselt pakutav tasuline teenus SmartEnergy on suunatud ventilatsioonisüsteemide inseneridele ja

see kasutab arvutuste tegemiseks EnergyPlusi tarkvara.

Kommertstarkvara kõrval on loodud ka avatud lähtekoodiga programme. Üks selline on EPlusInterface , mis graafilise kasutajaliidese kõrval lisab EnergyPlusile veel materjalide teegi, CAD-programmide liidese jms. Kuna EPlusInterface'i tarkvara pole testfaasist kaugemale jõudnud ja selle viimane versioon väljastati 2007. aastal, tuleb seda praegu pidada seisvaks projektiks.

Praegusajal on aktiivses arenduses avatud lähtekoodiga tarkvarapakett OpenStudio, mille koosseisu kuuluvad graafilise kasutajaliideseiga programmid kogu ehitise energiamudeli koostamiseks. Paketis on OpenStudio rakendusprogramm, CAD-programmi liides ning simulatsioonide läbiviimise korraldamise, tulemuste esitamise ja analüüsi abivahendid. OpenStudio kasutab energiaarvutusteks EnergyPlusi tarkvara.

Paketis olev SketchUpi pistikprogramm (*plug-in*) lisab 3D-joonestustarkvarale SketchUpi lisafunktsionaalsuse, millega saab joonestatava hoone osadele määrata energiaarvutuste seisukohalt olulisi parameetreid ning genereerida loodud mudeli kohta andmefaili EnergyPlusi simulatsioonide läbiviimiseks (OpenStudio ja EnergyPlusi andmefailid). SketchUpi ja pistikprogrammi abil kirjeldatakse hoone geometriat ja konstruktsioonimaterjale. Loodud mudeli andmete täiendamiseks kasutatakse graafilise kasutajaliideseiga OpenStudio rakendusprogrammi, mille abil on võimalik mudeli jaoks kirjeldada hoone tehnosüsteeme ja sisestada teisi andmeid, samuti simulatsiooni käivitada ning tulemuste kokkuvõtet vaadata. Simulatsioonide korraldamise abivahend RunManager võimaldab ressursinõudlikke simulatsioone läbi viia rööbiti mitmel arvutil. Tulemuste esitamiseks ja analüüsiks mõeldud ResultsViewer laseb EnergyPlusi raporteid esitada graafilisel kujul. Parameetiline analüüsivahend lubab hoone mudeli põhjal kirjeldada alternatiivseid lahendusi, viia hõlpsasti läbi kõik vajalikud simulatsioonid ja kõrvutada eri lahendustega saadud tulemusi. OpenStudio töötab nii Windowsi, Maci kui Linuxi operatsioonisüsteemiga, on avatud lähtekoodiga ja seda levitatakse LGPL (*Lesser General Public License*) tingimuste alusel.

## **4.3 EnergyPlusi kasutamine hoone energiaarvutusteks**

### **4.3.1 Tarkvarapaketi hankimine**

Programmi hankimiseks tuleb EnergyPlusi kodulehel luua omale kasutajakonto ja laadida programmipakett alla. Allalaadimiseks pakutakse 32- ja 64-bitist versiooni Windowsi ja Linuxi platvormile ning 64-bitist versiooni Macintoshi platvormile. Töö käigus kasutati 32- ja 64-bitisel Windows XP platvormil töötavaid versioone 7.2.0 ja 8.0.0. Programmi paigaldamiseks tuleb allalaaditud fail käivitada. Paigaldamisel tuleb sisestada ka parool, mis saadetakse programmi allalaadimisel kasutaja e-posti aadressile.

### 4.3.2 Tarkvarapaketi sisu

Tarkvarapaketi paigaldamise järel on EnergyPlusi programmimenuis järgnevad programmid:

- IDF Editor - IDF-failide redaktor;
- EP-Launch - simulatsioonide käivitaja ja kokkuvõtete näitaja;
- EPDrawGUI - IDF-failidest AutoCad DXF-joonisfailide looja;
- EP-Compare - aruannete võrdleja;
- IDFVersionUpdater - IDF-failide versiooniuuendaja;
- Weather Statistics and Conversions - ilmastikuandmete failide teisendaja.

### 4.3.3 Kliimaandmete kasutamine

Energiaarvutus ja suvise ruumitemperatuuri kontroll sooritatakse Eesti energiaarvutuse baasaastaga. Baasaasta esindab kolme dekaadi (1970–2000) tüüpilist väliskliimat (Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika, § 4) . Vastavad andmed on kogutud uuringu „Estonian test reference year for energy calculations“ käigus.

EnergyPlusi kodulehelt ([http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm)) saab alla laadida kliimaandmeid rohkem kui 2100 asukoha kohta, millest ligi pooled asuvad Ameerika Ühendriikides ja ülejäänud eri paigus üle maakera. Eestile kõige lähemad kliimaandmed on saadaval Soome (Helsingi, Tampere), Rootsi (Stockholm), Vene Föderatsiooni (Peterburi) ja Leedu (Kaunas) kohta. Eesti energiaarvutusteks sobiliku baasaasta andmeid seal ei ole.

EnergyPlus kasutab kliimaandmeteks spetsiaalses vormingus faili (Crawley, Hand, 1999). Käesoleva töö käigus teisendati uuringuga „Estonian test reference year for energy calculations“ kogutud Eesti kliimaandmed EnergyPlusi jaoks sobilikku vormingusse. Simulatsioonide läbiviimiseks nõuab EnergyPlus ka õhurõhu andmete kasutamist, kuid viidatud uuringus õhurõhu andmed puuduvad. Nendeks andmeteks on kasutatud Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi Harku jaama 2012. aasta kuu keskmise õhurõhu andmeid (Õhurõhud, 2012).

### 4.3.4 Esmase andmefaili loomine

Andmefaili loomiseks on lihtsaim viis kasutada veebipõhist EnergyPlusi näidisfaili genereerimise teenust (<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/inputs/>). Selle abil kirjeldatakse ehitise andmeid ja nende andmete põhjal genereeritud EnergyPlusi andmefailid saadetakse kasutaja määratud e-posti aadressile.

Andmete sisestamiseks on kaks meetodit: lihtne ja üksikasjaline. Lihtsa mudeli korral kirjeldatakse hoone asukoht, kasutusotstarve (korterelamu, büroohoone, haridusasutus jne),

korruselisus, geomeetria, välispiirete materjalid ning hoone kasutuskoozumused. Üksikasjalise mudeli korral saab täpsustada ehitise geomeetria (kirjeldada risküliku-, L-, H-, T- ja U-kujulisi hooned ning siseõuega riskülikukujulist hoonet), määrata hoones olevate tsoonide arvu, korruste kõrgusi, valgustuse kasutuskoozumi, akende geomeetria, klaaskatte osa seinapindalast, katuseaknaid, päevavalguse andmeid, hoones kasutatavat kütte-, ventilatsiooni- ning õhu konditsioneerimissüsteemi, hoone õhuvajadust, infiltratsiooni, tarbevee vajadust ja selle soojendamise seadmete andmeid ning päikesepatareide kasutamise andmeid.

Andmete sisestamisel tuleb määrata tingimused, millele genereeritav lahendus vastama peab. Valida saab Ameerika kütte- ja ventilatsiooniinseneride liidu ASHRAE standardi 90.1 redaktsioonide (2007, 2004, 2001 ja 1999), väiksemate büroohoonete 30%-se energiasäästu meetmete mudeli ja madalenergiaga lahenduse (*Low Energy Case*) vahel. ASHRAE standard 90.1 on ehitiste, välja arvatud kuni kolmekordsete eluhoonete energiasstandard (ASHRAE 90.1, 2007). Standard kirjeldab sarnaselt määrusega „Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika“ energiatõhususe arvutamise viisid ja tulemuste esitamise vormid. Madalenergia lahendus tähendab näidislahendust, millega proovitakse parimate praktikate abil (sobilikud räästalahendused, energiasüsteemi tõhususe lahendused, valgusvõimsuse vähendamine jms) luua võimalikult madala energiatarbega hoonet. 30%-se energiasäästu meetmete mudel on ASHRAE osalusel välja töötatud juhendmaterjal energiasäästlike kaubandushoonete ehitamiseks.

Kuna teenus on Ameerika Ühendriikide keskne, on hoone asukoha andmeteks võimalik valida vaid Ühendriikides asuvaid asukohti. Kasutusel olevad ühikud on võimalik sisestada SI-süsteemis.

Andmete sisestamise lõppedes loob generaator simulatsiooni andmefaili ja viib selle põhjal läbi ka esmase simulatsiooni. Kõigi nende tegevuste tulemusena valminud failid saadetakse kasutajale e-postiga, saadetakse failid on järgnevad:

- Simulatsiooni andmefail (IDF-fail);
- Hoone kolmemõõtmeline joonis AutoCAD DXF-vormingus;
- Kasutaja poolt generaatori andmevormile sisestatud andmed tekstifailina, faili laiend on .eefg;
- Generaatori poolt läbi viidud simulatsiooni veafail, laiend .err;
- Generaatori poolt läbi viidud simulatsiooni raportid Exceli tabelina ning HTML- ja XML-vormingus.

#### **4.3.5 Energiaarvutuste andmete sisestamine**

Andmete sisestamine toimub IDF-failide redaktori abil. IDF-fail on struktureeritud tekstifail, mis koosneb simulatsioonis kasutatavate objektide ning objektiparameetrite nimekirjast ja

kommentaaridest. Objektiparameetrite nimekiri ja vorming on defineeritud objektiklasside poolt.

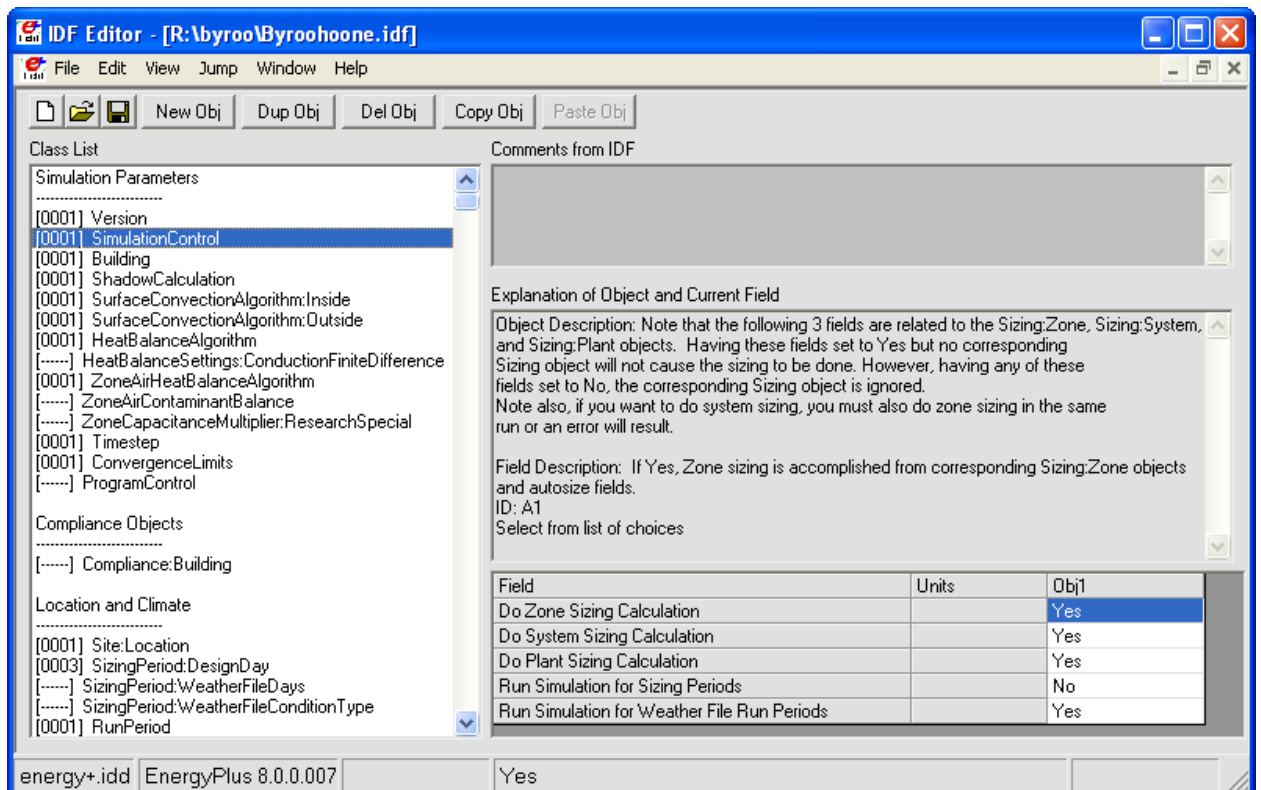
```

Output:Table:Monthly,
Source Energy Use Summary,  !- Name
4,                          !- Digits After Decimal
Source:Facility,           !- Variable or Meter 1 Name
SumOrAverage;             !- Aggregation Type for Variable or Meter 1

```

Näide: IDF-faili vorming. Lähteenergia kasutamise väljundi kirjeldamise objekt, mis lisab väljundisse lähteenergia kasutuse kokkuvõtte kuude lõikes. Hüüumärgist alates kuni rea lõpuni on tegemist kommentaariga, mis hõlbustab faili lugemist ja/või muutmist tekstiredaktori abil.

IDF-redaktori peakna vaade koosneb objektide ja klasside nimekirjast (*Class List*), valitud objekti juurde kuuluvate kommentaaride kuvast (*Comments from IDF*), valitud objekti klassi lühidokumentatsioonist (*Explanation of Object and Current Field*) ja objekti andmete redigeerimispaneelist.



Joonis 1: IDF-failide redaktori peaken

## 5 Tulemused

### 5.1 Tarkvara EnergyPlus vastavus seaduses esitatud nõuetele

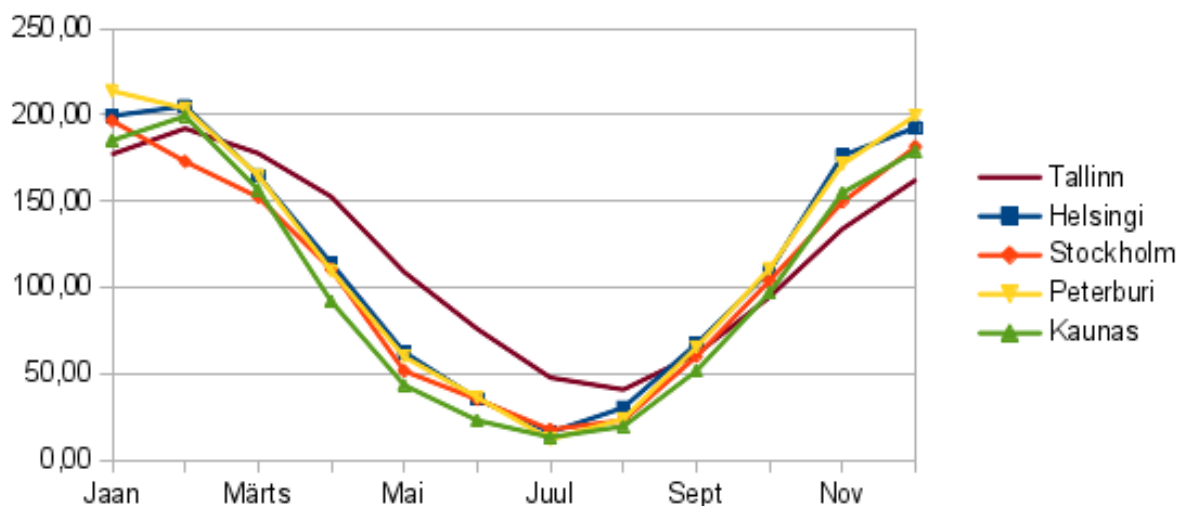
EnergyPlus on valideeritud vastavalt ASHRAE standardile 140-2011 „*Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*“ (Testing and Validation). Seaduse kohaselt on vastava ASHRAE standardi järgi valideeritud tarkvara energiaarvutuste tegemiseks sobilik (Energiaarvutuse miinimumnõuded, § 2 lg 2).

Programm vastab ka muude omaduste poolest seaduses esitatud nõuetele. Soojuslevi arvutatakse dünaamiliselt nii hoone sisemuse kui ka välispindade kohta ning EnergyPlus arvestab nii kiirguslikku kui konvektsionaalset soojuslevi (About EnergyPlus). Energiaarvutusi ja suvise ruumitemperatuuri kontrolli on võimalik sooritada Eesti energiaarvutuse baasaastaga. Kliimaprotsessor võimaldab lugeda Eesti energiaarvutuse baasaastat vajaliku detailsusega ning arvutada tundide lõikes päikesekiirguse pindadele ja varju jäävad alad (Energy Plus Input-Output Reference, lk 390). Ventilatsioonisüsteemi on võimalik modelleerida nii koos soojustagastusega kui ka ilma. Soojustagastuse modelleerimisel on kasutada risti- ja vastuvoolu plaatsoojusvahetid, rootorsoojusvahetid ja vahesoojuskanaljaga soojusvahetid (Energy Plus Input-Output Reference, lk 1539-1561) . Arvutustes kasutatakse tõelisi ruumitemperatuure. Programmi abil saab luua kasutusgraafikud, mida on võimalik ajastada minutilise täpsusega. Kasutusgraafikute abil saab minutipealt määrata hoone kasutusastet, vabasoojuseid, õhupidavust, tehnosüsteemide kasutus- ja käiduaegu ning välis- ja sisekliima andmeid (Energy Plus Input-Output Reference, lk 64-75) .

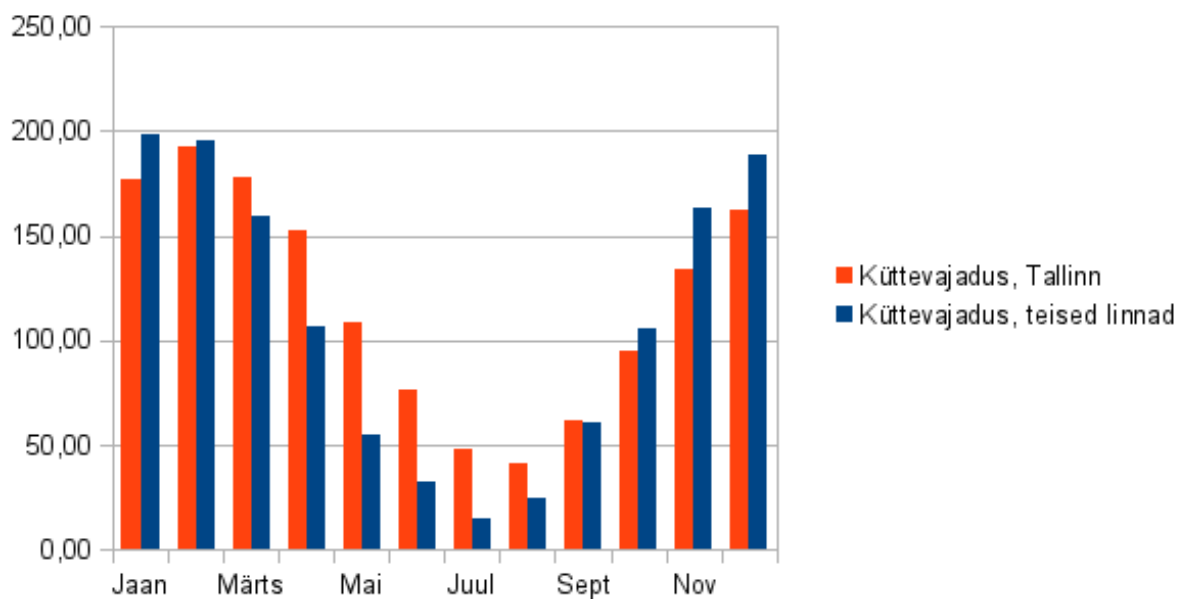
### 5.2 Kliimaandmed

Võrdlusandmetes kasutatavad lähimad asukohad valiti nii, et need asetseks Tallinna suhtes eri ilmakaartes ja samas oleksid võimalikult ligidal Tallinnale ning et nende kohta oleks kliimaandmed saadaval EnergyPlusi andmekogus.

Töö käigus teisendati Eesti energiaarvutuse baasaasta andmed EnergyPlusi kliimaandmete vormingusse. Andmetega tehtud kontrollarvutuste tulemused näitavad hoone küttevajaduste sarnasust lähimate ümberkaudsete asukohtadega: Helsingi, Stockholm, Peterburi ja Kaunas. Kütteperioodi (oktoobrist aprillini) ajal erineb Tallinna küttekulu teiste linnade keskmisest maksimaalselt aprillis (43%), ülejäänud kuudel jääb erinevus vahemikku 1,6-18%. Küttekulu erinevus maist septembrini kõigub oluliselt suuremates vahemikes, selle perioodi suurim erinevus on juulis (223%) ja väikseim septembris (0,4%).

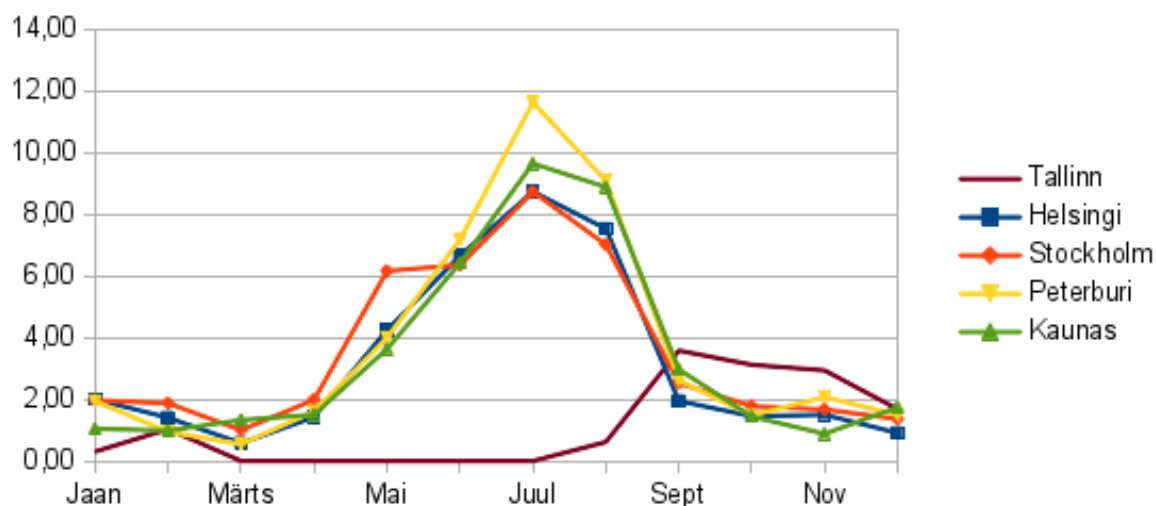


Joonis 2: Hoone küttevajaduste võrdlus Tallinna ja teiste linnade vahel, kWh

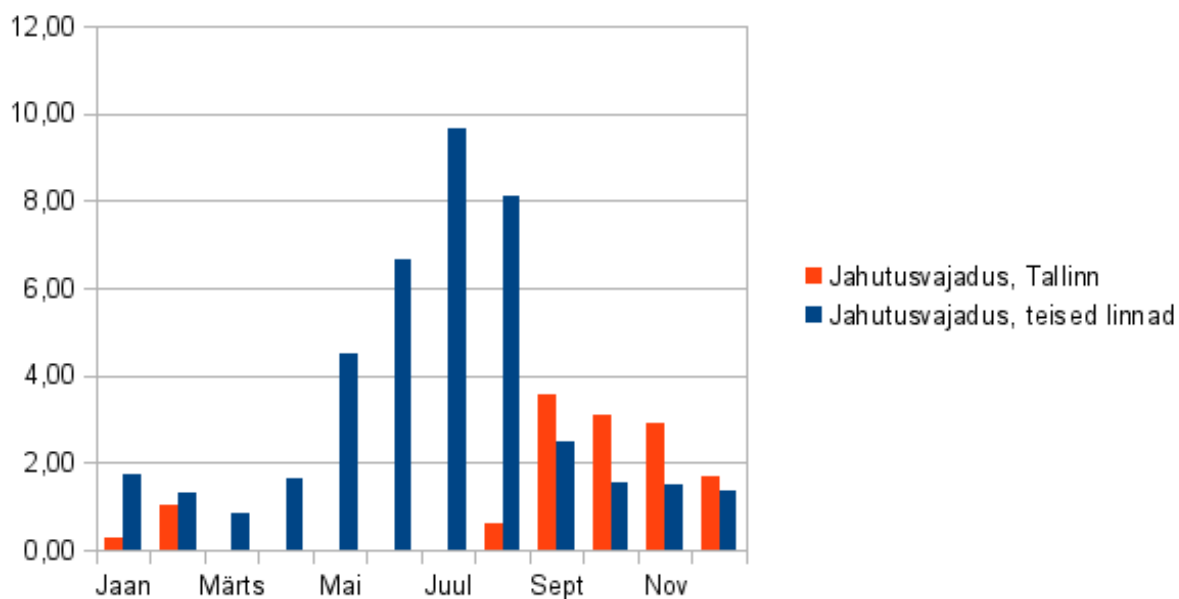


Joonis 3: Hoone küttevajaduste võrdlus Tallinna ja teiste linnade keskmise vahel, kWh

Jahutusvajaduse osas erineb Tallinna energiakulu oluliselt teiste linnade kohta saadud tulemustest. Märtsist juulini ei ole programm Tallinna jahutusvajaduse energiakulu tuvastanud, teiste linnade puhul on ootuspäraselt kõige suurema jahutusvajadusega kuud maist kuni augustini.



Joonis 4: Hoone jahutusvajaduste võrdlus Tallinna ja teiste linnade vahel, kWh

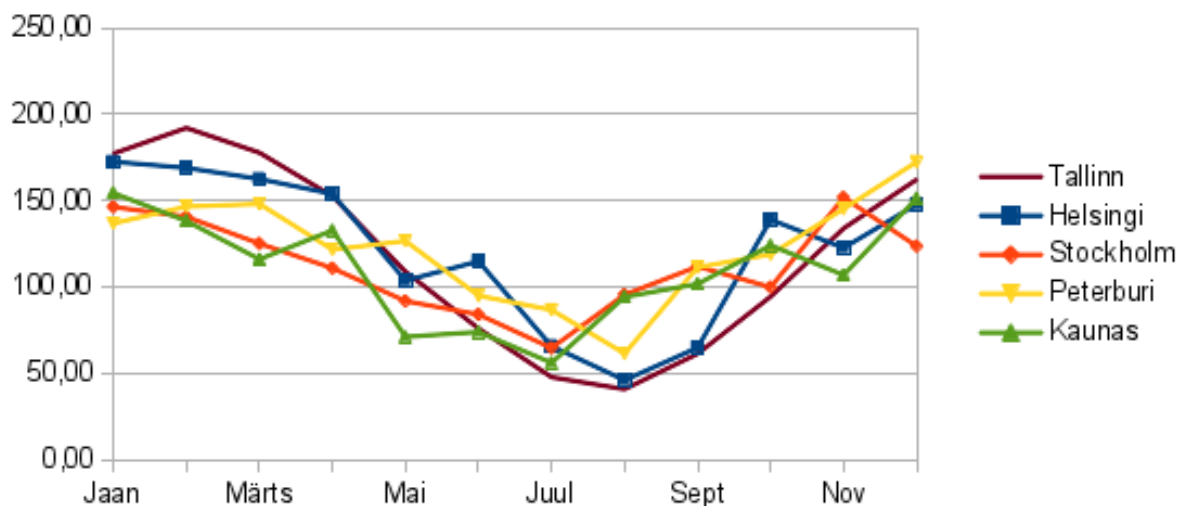


Joonis 5: Hoone jahutusvajaduste võrdlus Tallinna ja teiste linnade keskmise vahel, kWh

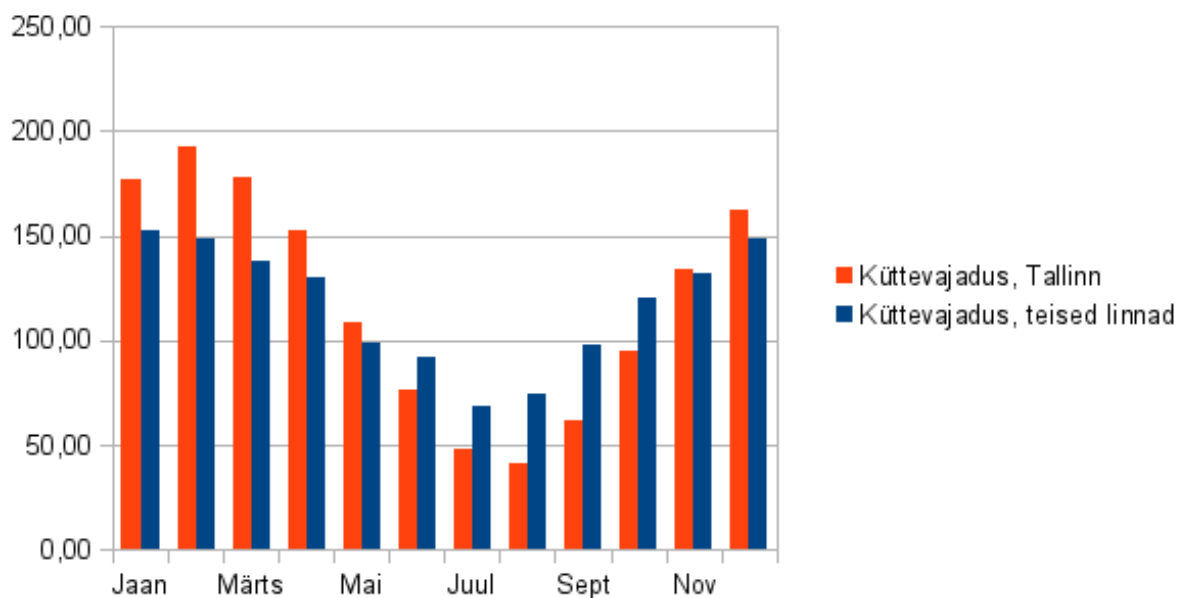
Kuna Eesti energiaarvutuse baasaasta andmed on määratud kuu keskmistena ja teiste linnade kohta kasutada olevad andmed on tunniajase täpsusega, siis tehti kontrollarvutused läbi ka ühtlustatud täpsusastmega kliimaandmetega. Eesti energiaarvutuste baasaasta täpsusaste on seadusega kindlaks määratud ja andmete ühtlustamise ainus võimalik meetod on teiste linnade kliimaandmete väärtuste asemel kasutada nende põhjal arvutatud kuu aritmeetilisi keskmisi.



Ühtlustatud andmetega tehtud arvutuste põhjal erineb Tallinna küttekulu kütteperioodi (oktoobrist aprillini) ajal teiste linnade keskmisest kõige rohkem veebruaris ja märtsis (29%), ülejäänud kuudel jääb erinevus vahemikku 1,8-21%. Küttekulu erinevus maist septembrini on vahemikus 11-45%.



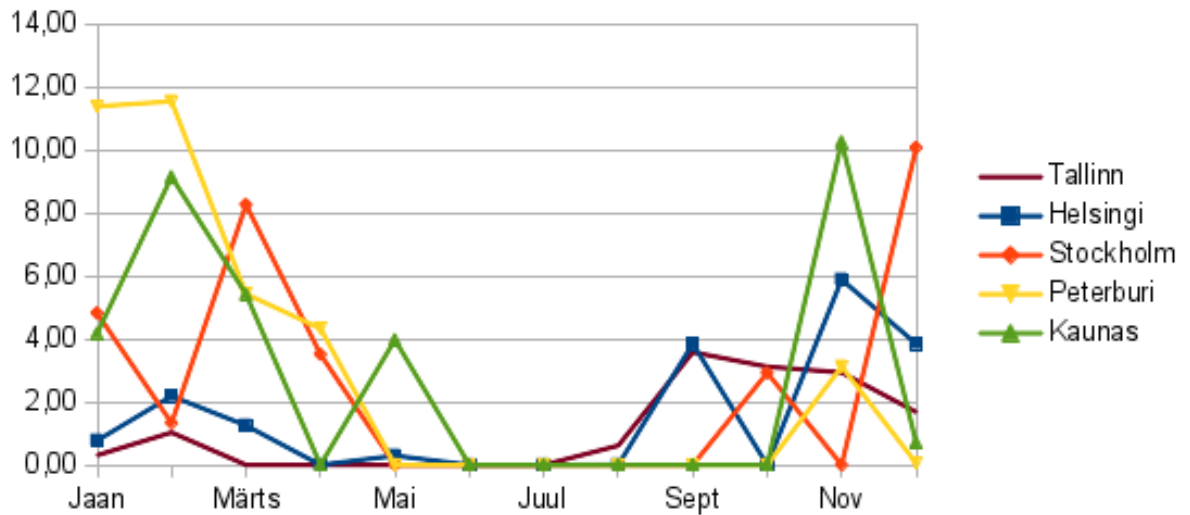
Joonis 6: Ühtlustatud kliimaandmetega tehtud hoone küttevajaduste võrdlus Tallinna ja teiste linnade vahel, kWh



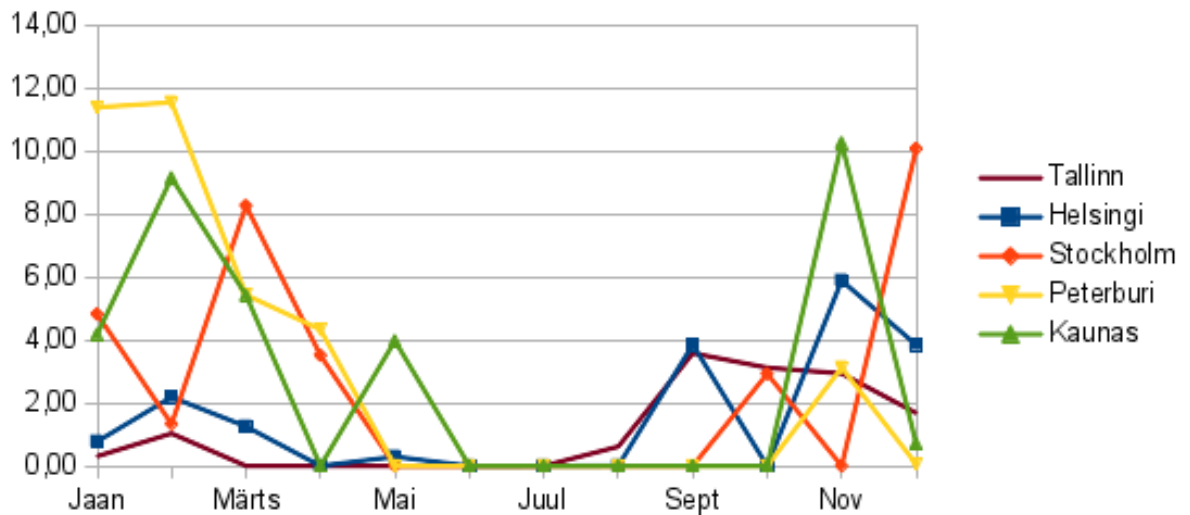
Joonis 7: Ühtlustatud kliimaandmetega tehtud hoone küttevajaduste võrdlus Tallinna ja teiste linnade keskmise vahel, kWh

Ühtlustatud andmete alusel arvutatud jahutusvajadus kõigub kõigis linnades oluliselt rohkem kui ühtlustamata andmete korral ja näitab jahutusvajaduse suurenemist jahedamatel

kuudel ning jahutusvajaduse vähenemist või puudumist soojematel kuudel. Ühtlustamine avaldab vähem mõju küttevajaduse tulemustele, mille puhul säilib tendents, et jahedama ilmaga kuudel on küttevajadus suurem.



Joonis 8: Ühtlustatud kliimaandmetega tehtud hoone jahutusvajaduste võrdlus Tallinna ja teiste linnade vahel, kWh



Joonis 9: Ühtlustatud kliimaandmetega tehtud hoone jahutusvajaduste võrdlus Tallinna ja teiste linnade vahel, kWh

### 5.3 Hoone simulatsioon

Käesoleva töö käigus läbi viidud simulatsioonides kasutatud hoone parameetrid on võetud uuringust "Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise ja selle kontrolli võimekuse tõstmine". Samast uuringust on võetud ka programmidega BV<sup>2</sup>, IDA-ICE, Riuska, Bsim ja VIP E tehtud arvutuste tulemused.

Arvutuste aluseks võetud raskekonstruktsioonist hoone on viiekordne, orientatsiooniga põhja-lõuna suunal (suurem fassaad ida ja lääne suunal). Hoone muud andmed on toodud juuresolevates tabelites.

Korruseid	5
Klaasfassaadi osakaal fassadist	30%
Klaasi päikseläbivus tegur	0,30
Akna raami osakaal	10%
Tsoonide arv	1
Sisepindala	3503 m <sup>2</sup>
Infiltratsioon	0,056 l/s, m <sup>2</sup>

Tabel 1: Büroohoone üldandmed

Madalaim lubatud ruumiõhu temperatuur	21 °C
Kõrgeim lubatud ruumiõhu temperatuur	25 °C

Tabel 2: Hoone temperatuurid

Sissepuhkeõhu temperatuur	+18°C
Ventilatsiooni soojustagasti temperatuuri suhtarv	80%
Ventilatsiooni tööaeg	Ventilatsioon töötab 1 tund enne ja pärast ruumi kasutusaega ehk kella 06:00 – 19:00; 5 päeva nädalas tööpäevadel. Ülejäänud ajal ventilaatorid seisavad.
Ventilatsiooni õhuvooluhulgad	2 l/s·m <sup>2</sup> (7006 l/s)

Tabel 3: Hoone ventilatsioon

Kasutusaeg	07:00-18:00; 5 päeva nädalas
Keskmine kasutusaste	0,55
Valgustus	15 W/m <sup>2</sup>
Seadmed	18 W/m <sup>2</sup>
Inimesed	5 W/m <sup>2</sup>
Pind mille alusel vabasoojused määratakse	hoone kõetav pind

Tabel 4: Vabasoojused

Välissein	0,22 W/K·m <sup>2</sup>
Katuslagi	0,17 W/K·m <sup>2</sup>
Põrand pinnasel (Maapinna temperatuur on +7°C, 1 m pinnast põranda konstruktsiooni all)	0,15 W/K·m <sup>2</sup>
Aken (kaalutud keskmine koos raamiga)	1,70 W/K·m <sup>2</sup>

Tabel 5: Hoone piirete U-arvud

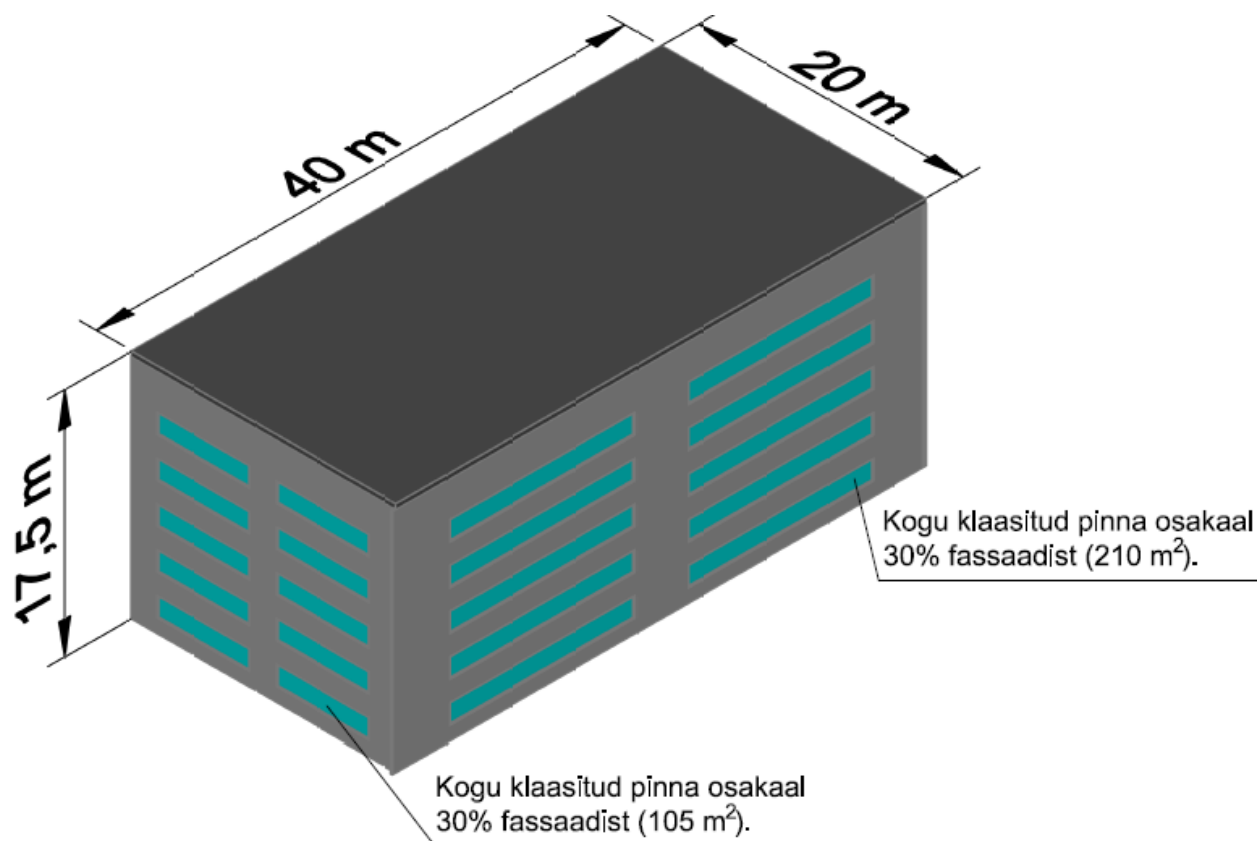
Välissein- põrand	0,09 W/K·m
Välissein- katuslagi	0,07 W/K·m
Akna perimeeter	0,07 W/K·m

Tabel 6: Külmasillad

EnergyPlusi poolt arvatud küttevajadus erineb suurel määral teiste programmide keskmisest tulemusest. Erinevus jääb vahemikku 44-68%. Madalam küttevajadus on ootuspärane, kuna EnergyPlusi mudelil pole kirjeldatud külmasildasid ja selles kasutatav kütte- ja ventilatsioonisüsteemi kirjeldus erineb võrreldavate programmide omast.

Päikeseläbivuse tegur	Akna osakaal, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP E	<b>EnergyPlus</b>
SF=0,3	30	95	126	133	132	92	59
	50	136	176	177	189	141	68
SF=0,5	30	85	112	115	120	80	44
	50	117	153	150	166	120	50

Tabel 7: Küttevajaduste absoluutväärtused,  $\frac{MWh}{a}$



Joonis 10: Büroohoone joonis

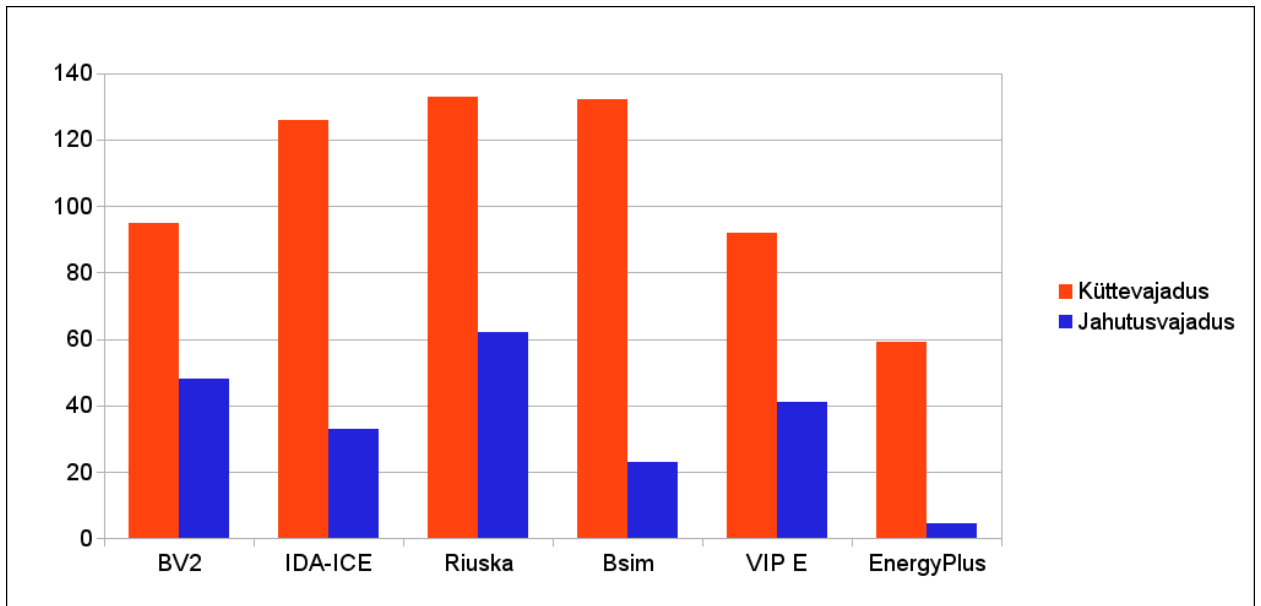
Päikeseläbivuse tegur	Akna osakaal, %	Teiste programmide keskmine, $\frac{MWh}{a}$	EnergyPlys, $\frac{MWh}{a}$	erinevus, %
SF=0,3	30	116	59	49
	50	164	68	59
SF=0,5	30	102	44	57
	50	141	50	65

Tabel 8: EnergyPlusi küttevajaduste erinevus teiste programmide keskmisest

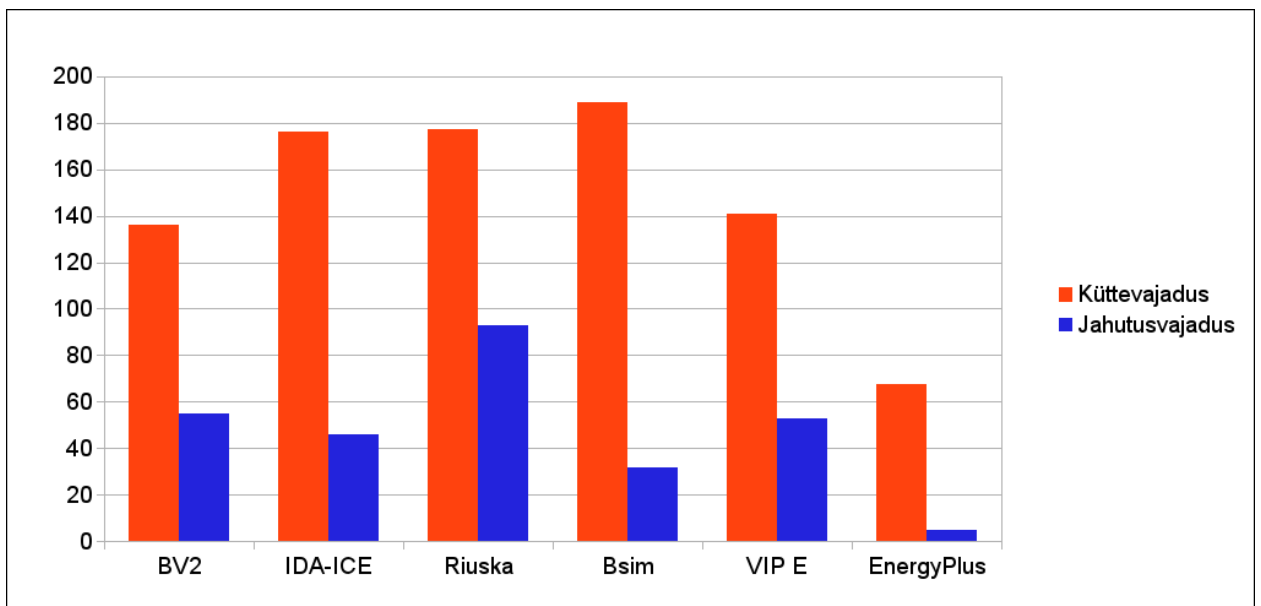
Jahutusenergia vajaduse kohta annab EnergyPlus kõigil juhtudel väga madalaid tulemusi ja need erinevad teiste programmide keskmisest rohkem kui 74%.

Päikeseläbivuse tegur	Akna osakaal, %	BV2	IDA-ICE	Riuska	Bsim	VIP E	EnergyPlys
SF=0,3	30	48	33	62	23	41	4
	50	55	46	93	32	53	5
SF=0,5	30	74	59	101	42	66	5
	50	123	99	159	72	97	8

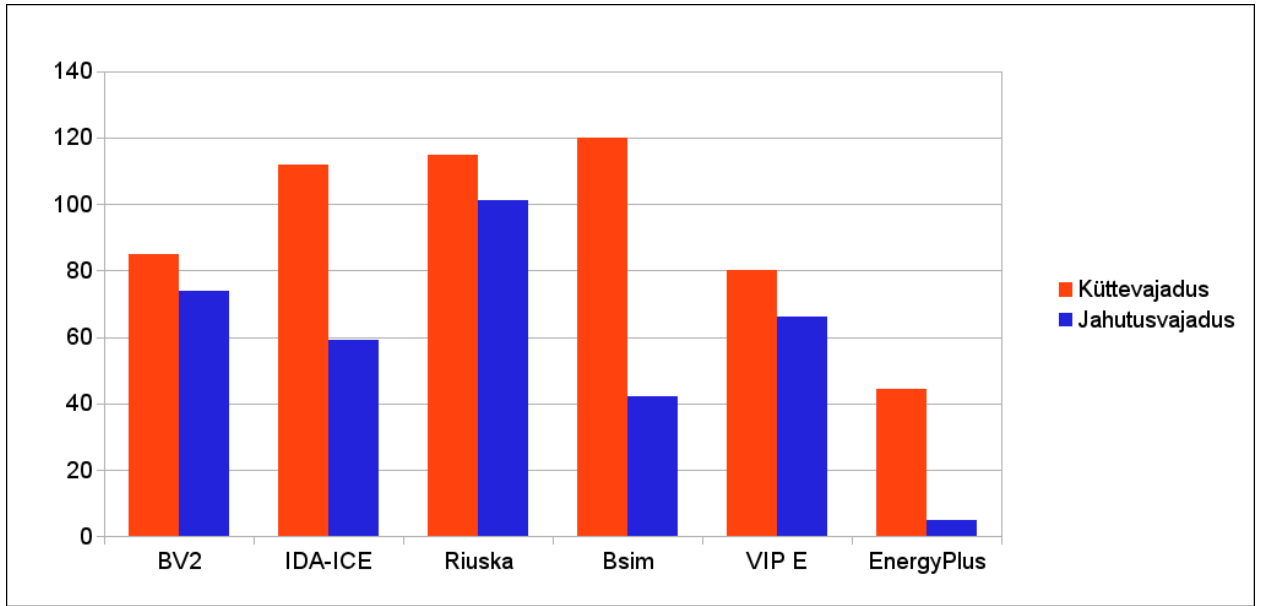
Tabel 9: Jahutusvajaduste absoluutväärtused,  $\frac{MWh}{a}$



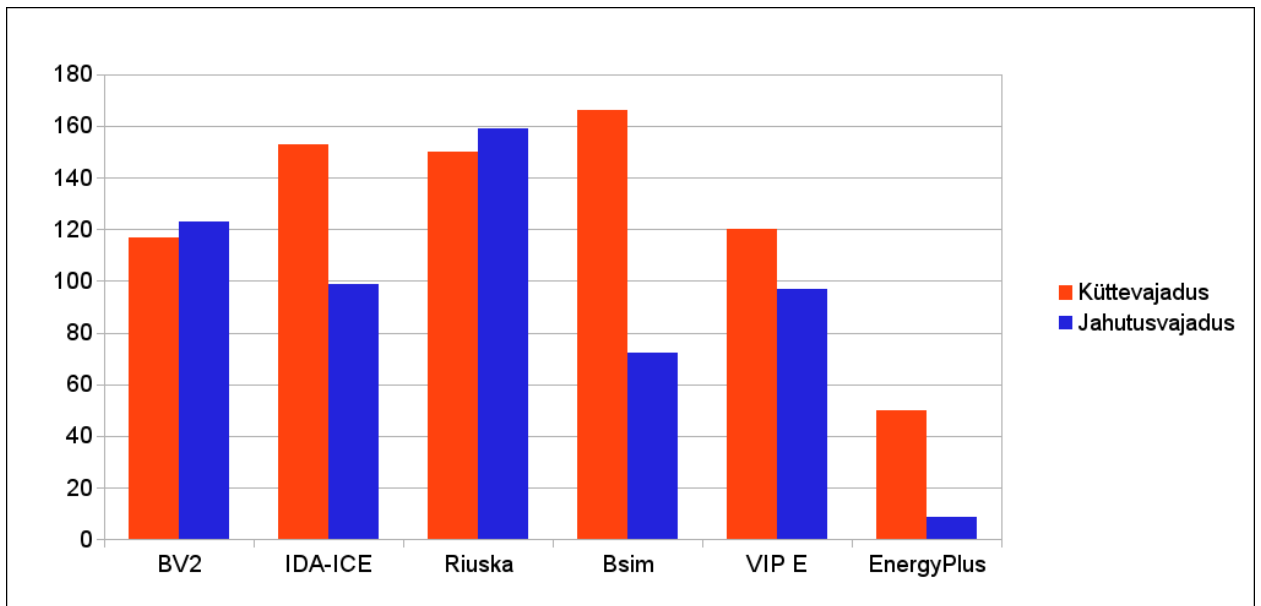
Joonis 11: Kütte- ja jahutusvajaduste absoluutväärtuste võrdluse tulpdiaagramm,  $\frac{MWh}{a}$ . SF=0,3, akna osakaal 30%



Joonis 12: Kütte- ja jahutusvajaduste absoluutväärtuste võrdluse tulpdiaagramm,  $\frac{MWh}{a}$ . SF=0,3, akna osakaal 50%



Joonis 13: Kütte- ja jahutusvajaduste absoluutväärtuste võrdluse tulpdiaagramm,  $\frac{MWh}{a}$ . SF=0,5, akna osakaal 30%



Joonis 14: Kütte- ja jahutusvajaduste absoluutväärtuste võrdluse tulpdiaagramm,  $\frac{MWh}{a}$ . SF=0,5, akna osakaal 50%

## 6 Arutelu

### 6.1 Kliimaandmed

Andmete kontrolli käigus tehtud kütte- ja jahutusvajaduste arvutustulemuste võrdlemisel selgus, et tulemused sõltuvad suurel määral kliimafailide täpsusastmest. Eesti energiaarvutuse baasaasta annab andmete täpsuseks kuu keskmised väärtused, EnergyPlusi kliimaandmete vormingus on kohustuslik andmete esitamine tunniajase täpsusega. Seetõttu jaotati temperatuuri, õhuniiskuse ja tuule kiiruse andmed ja päikesekiirguse andmetest arvutatud keskmised väärtused kuu lõikes ühtlaselt iga tunni kohta.

Andmete kontrolli käigus tehtud kütte- ja jahutusvajaduste arvutuste võrdlemisel ilmnemise selged erinevused kuu keskmiste väärtuste ja tunniajase täpsusega andmete kasutamisel saadavate tulemuste vahel.

Üheks erinevuse põhjuseks on tõenäoliselt ühtlustatud andmete korral päikesekiirguse jaotumine ühtlaselt üle kogu ööpäeva. Päikesekiirguse aktiivsuse näitajaid on otstarbekas jaotada ööpäeva vahel vastavalt päeva pikkusele, kus pimedal ajal on kiirgusnäitajad nullis ja jaotuvad valgel ajal vastavalt päikesekiirguse tegelikule intensiivsusele. Selline andmete kasutus tõstaks nende usaldusväärsust ka jahutusvajaduse hindamisel, kuna tüüpilise hoone suvine jahutusvajadus langeb pea täielikult ajale, mil päikese aktiivsus on väga kõrge. Seaduses ei ole määratud, mismoodi tuleb energiaarvutuste baasaasta väärtuseid kasutada arvutusprogrammides, mis nõuavad täpsemat detailsusastet. See võimaldab andmeid kasutada mitut moodi ja võib vähendada arvutustulemuste usaldusväärsust.

### 6.2 Hoone simulatsioon

Hoone simulatsiooniks loodud mudel erineb mitme parameetri poolest mudelist, mida kasutati arvutustulemuste võrdlemiseks.

Hoone mudelis ventilatsioonisüsteemi kirjeldamiseks kasutatav EnergyPlusi HVAC-komponent *ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem* on mõeldud pruukimiseks olukordades, kus kasutaja soovib hoone energiaarvutusi teha ilma, et peaks kogu ventilatsiooni, kütte- ja jahutussüsteemi üksikasjaliselt valmis projekteerima. Antud lähteülesande lahendamiseks see aga täielikult ei sobinud, kuna ruumi sissepuhkeõhu konstantse temperatuuri (+18°C) asemel on õhuvoolu võimalik reguleerida soojendusõhu maksimum- ja jahutusõhu miinimumtemperatuuridega. Sellise ülesande täitmiseks tuleks projekteerida üksikasjalik lahendus, mis aga ületab käesoleva töö mahtu. Kasutatud lahendus tähendab lähteandmetega kirjeldatud ventilatsioonikütte optimeerimist, kuna kaob vajadus kompenseerida pidevalt ruumiõhu temperatuuri ja sissepuhutava õhu temperatuuride vahet. Ka ei võimalda mudelis kasutatud HVAC-komponent eraldi mõõta ventilatsiooniõhu soojendamiseks ja ruumide kütteks ning õhu ja ruumide jahutamiseks kasutatavat energiat, mistõttu tulemuste võrdlemisel on kasutatud hoone kogu kütte- ja jahutusvajadust.



Simulatsioonis kasutataval hoone mudelil on kirjeldamata ka külmasillad. Külmasildade konstrueerimine käib EnergyPlusil komposiitmaterjalide keerulise kirjeldamise teel ja külmasildu pole lihtsal viisil (sooju läbivuse väärtusena) võimalik määrata.

Vastavalt seadusele tuleb hoone pinnasesse minevate soojuskadude arvutamisel arvesse võtta ühemeetrine kiht soojust akumuleerivat pinnast, mille all on konstantne temperatuur  $+7^{\circ}\text{C}$  (Hoonete energiatõhususe arvutamise meetoodika, § 11 lg 4). Pinnaseks on võetud drenitud pinnas soojuserijuhtivusega  $1,4 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$  ja erisoojusega  $1,5 \frac{\text{MJ}}{\text{M}^3\cdot\text{K}}$ . Kuna maapinna temperatuure tuleb määrata meetripaksuse pinnase all ja selliseks andmete määramiseks puudub EnergyPlusil võimalus, siis arvestati pinnasekiht põrandamaterjali osaks ja kirjeldati seda hoone põrandakonstruktsiooni osana.

Ootuspäraselt annab optimeeritud ventilatsioonisüsteemi kasutamine ja külmasildade kirjeldamata jätmine EnergyPlusi puhul madalama küttevajaduse. Seejuures on tulemused ühtlaselt madalamad kui teistel programmidel. Eri hoonekonstruktsioonidega saadud tulemused kõiguvad EnergyPlusil 18%, teistel programmidel aga vahemikus 19-23%.

Hoone jahutusvajaduse andmeid pole võimalik pidada usaldusväärseks. Selle üheks põhjuseks on kliimaandmete teisendamise tekkivad küsitavused, kuid see ei pruugi olla ainus põhjus.

## 7 Kokkuvõte

Käesolevas töös leidis kinnitust energiaarvutuste tarkvarapaketi EnergyPlus arvutusmeetodite ja muude omaduste vastavus seaduses sätestatud nõuetele. Programmiga tehtud simulatsioonid näitasid hoone kohta arvutatud küttevajaduse sarnasust teiste energiaarvutusprogrammide tulemustega. Jahutusvajaduse tulemuste kontrolliks ei õnnestunud siiski luua sellist andmehulka, mis oleks võimaldanud usaldusväärset tulemust arvutada. Selle peamine põhjus on kliimaandmete teisendamisel kasutatud meetodi sobimatus. Sobiva meetodi väljatöötamine väljub käesoleva töö raamidest, kuid edaspidine uurimistegevus selles valdkonnas on kindlasti vajalik. Täiustatud meetodi väljatöötamine tõstaks nii EnergyPlusi kui ka teiste selliseid kliimaandmeid kasutavate arvutusprogrammide tulemuste usaldusväärsust.

Töös tuuakse välja küsitavused Eesti energiaarvutuse baasaasta kasutamisel arvutusprogrammides, mis nõuavad kliimaandmetelt suuremat täpsusastet kui üks kuu. Suurema täpsusastme saavutamiseks on andmeid võimalik mitmeti teisendada, kuid erineva teisendamismetoodika kasutamine annab ka ebasoovitavalt erinevad tulemused. Seetõttu oleks vaja vastav täiustatud metoodika välja töötada ning seaduse tasandil kohustuslikuks muuta või vähemalt juhendmaterjalide abil täpsustada. Töö käigus valminud ja Eesti energiaarvutuse baasaasta andmetel põhinev EnergyPlusi kliimaandmete fail tehakse vabalt kättesaadavaks ja kasutatavaks aadressil [https://bitbucket.org/okul/ep\\_eesti/](https://bitbucket.org/okul/ep_eesti/).

EnergyPlusi praktilist kasutamist piirab siiski eestikeelse programmikeskkonna ja juhendmaterjalide ning vastavate koolituste puudumine. Sisekliima tagamiseks kasutatavate tehnosüsteemide kirjeldamine on keerukas ja programm ei abista kasutajat süsteemidesse tekkivate vigade avastamisel piisavalt, seetõttu on programmi tundmaõppimine ajakulukas ja vaevanõudev. Samas lasevad EnergyPlusi avatud arhitektuur ja litsentseerimistingimused selle energiaarvutuste moodulit hõlpsasti teiste programmidega liidestada, mis on selle valdkonna programmide puhul ainulaadne ja seetõttu antud programmi üks suuri plusse. Lisaks on EnergyPlusi eeliseks teiste sarnaste programmide ees selle põhjalik dokumentatsioon ning kasutajasõbralikud litsentseerimistingimused.

## Summary

This paper confirmed the compliance of the calculation methods and other properties of the EnergyPlus energy simulation program with the requirement provided by the Estonian law. Simulations performed with the program indicated the similarity of heating demand calculated for a building to the results of other energy calculation programs. However, it was not possible to create a sufficient quantity of data for verifying the results of cooling demand that would have allowed calculating a reliable outcome. The primary reason for this is that the method used for converting climatic data is ineligible. Developing a proper method is outside the scope of this paper, but further research in the matter is without doubt necessary. Developing an improved method would increase the reliability of results received from both EnergyPlus and other calculation programs that use such climatic data.

The paper outlines doubts in using the base year of the Estonian energy calculation in calculation programs that require the climatic data to have a better degree of accuracy than one month. Data can be converted in multiple ways in order to achieve a better degree of accuracy, but using different conversion methods also gives different results. It is therefore necessary to develop an improved methodology and make it legally compulsory or at least specify it with the help of manuals. The EnergyPlus file created as part of the paper and based on the data of the base year of Estonian energy calculation is made freely available and ready-for-use at the address [https://bitbucket.org/okul/ep\\_eesti/](https://bitbucket.org/okul/ep_eesti/).

However, the practical use of EnergyPlus is restricted by the lack of Estonian language program interface and manuals and respective training. Describing technological systems used for ensuring indoor climate is difficult and the program does not sufficiently assist the user upon discovering errors in the system, which is why learning to use the program takes time and effort. At the same time, the open architecture and licensing conditions of EnergyPlus enable the energy calculation module to be interfaced with other programs, which is unique in programs of this field and therefore a large positive for the program. Additionally, EnergyPlus has an advantage in comparison to other similar programs in terms of its comprehensive documentation and user-friendly licensing conditions.

## Kasutatud kirjandus

*Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*, <https://www.ashrae.org/resources-publications/bookstore/standard-90-1>, 12. aprill 2013

H. Voll; T. Tark; E. Seinre; M. Maivel; K. Kuusk; I. Raide; A. Loorits; M. Loit; K. Eichler; M. Sergejeva; M. Laas; U. Saksakulm; J. Kurg; A. Tuuling; P. Ruzitš; O. Loo. 2010. *Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise ja selle kontrolli võimekuse tõstmine*. Tallinna Tehnikaülikool

D. Crawley, J. Hand, L. Lawrie. *Improving the Weather Information Available to Simulation Programs*, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/weatherdatainformation.pdf>, 20. aprill 2013

*Energy Plus Input-Output Reference*, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/inputoutputreference.pdf>, 18. aprill 2013

*EnergyPlus Licensing*, [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_licensing.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_licensing.cfm), 12. aprill 2013

*Testing and Validation*, [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_testing.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_testing.cfm), 12. aprill 2013

*About EnergyPlus*, [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm), 12. aprill 2013

*Ehitusseadus*, <https://www.riigiteataja.ee/akt/125052012022>, 20. aprill 2013

*Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika (majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus)*, <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001>, 20. aprill 2013

*Energiatõhususe miinimumnõuded (Vabariigi Valitsuse määrus)*, <https://www.riigiteataja.ee/akt/105092012004>, 20. aprill 2013

*Kliimaandmete kuu- ja aastakokkuvõtted*, <http://www.emhi.ee/?ide=6>, 12. aprill 2013

*TIOBE Programming Community Index for April 2013*, <http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>, 12. aprill 2013

# Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Ivar Smolin (sünnikuupäev: 12.08.1974),

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Hoonete energiaarvutused tarkvara EnergyPlus abil“, mille juhendajad on Rene Valner, Priit-Kalev Parts;

1.1 reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace´i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Viljandis, 22.05.2013