



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**BIM TEHNOLOOGIA RAKENDAMINE
SMARTENCITY PROJEKTI RAAMES TIIGI 8
KORTERELAMU REKONSTRUEERIMISEL**

IMPLEMENTATION OF BIM TECHNOLOGY IN RECONSTRUCTION OF TIIGI 8
APARTMENT BUILDING IN THE CONTEXT OF SMARTENCITY PROJECT

Magistritöö

Juhendaja/õppejõud: Ants Soon

Erkki Seinre, PhD

Üliõpilane Siim Raudsepp

122553EAEI

Üliõpilase meiliaadress siimraudseppx@gmail.com

Õppekava nimetus Tööstus- ja tsiviilehitus

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

.....
(töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: 122553EAEI

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

.....
(juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud

.....
(kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees

.....
(allkiri)

ABSTRACT

Raudsepp, S. Master's thesis: „Implementation of BIM technology in reconstruction of Tiigi 8 apartment building in the context of SmartEnCity project“. Tartu, 2017. Thesis is written in Estonian and consists of 96 pages, 26 figures, 3 tables 47 references and 4 appendixes.

The primary objective of the present Master's thesis is to create a Building information model of Tiigi 8 apartment building in Tartu and to use the created model to assemble table for material volumes, visualize the building's intended appearance after reconstruction and run energy simulations. The model is created based on a reconstruction project issued in 2016 by Eesti Soojustusprojekt OÜ. The aforementioned energy simulations are of particular importance because the Tiigi 8 apartment building takes part in SmartEnCity project that helps funding reconstruction projects that meet the requirements set by them. One of those requirements is to achieve energy performance lower than 90 kWh/m² which is tough to achieve with a building built in 1961.

Building was modeled using Autodesk Revit 2017 software; thesis includes also an overview of used source materials and a description of modeling process. Energy simulations were made using Autodesk Green Building Studio and Integrated Environmental Solutions Virtual Environment (IES-VE). To transfer model created in Revit to IES-VE it has to be exported to gbXML file format, which is created specifically to allow BIM and analysis software to share information with each other. Required processes, complications and peculiarities regarding the exporting process will be described in this thesis in detail. Based on simulation results, improvements to boundary elements will be made, energy efficiency and required amount of solar panels will be calculated and possible solutions for placement proposed.

Practical applications for the thesis present are following. First the included model can be used as a database for the building that can be altered and/or improved. It is possible to create new draftings and visualizations of all the parts of the building and even run additional simulations.

Keywords: BIM, SmartEnCity, Revit, IES-VE, energy efficiency, reconstruction project, energy simulation, visualization, material estimation.

SISUKORD

ABSTRACT.....	3
SISUKORD.....	4
JOONISTE LOETELU	6
TABELITE LOETELU	7
MÕISTED, TÄHISED JA LÜHENDID	8
SISSEJUHATUS.....	9
1 METOODIKA	12
2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	13
2.1 KAS REKONSTRUEERIDA	13
2.2 MIKS REKONSTRUEERIDA	13
2.3 KUIDAS REKONSTRUEERIDA	14
2.3.1 Küttesüsteem.....	15
2.3.2 Välispiirete täiendav soojustamine.....	15
2.3.3 Ventilatsioon.....	16
2.3.4 Vesi, kanalisatsioon ja elekter	16
2.3.5 Rahastus	16
2.4 BIM-I KASUTUS	17
2.4.1 Teoreetiline kasutus.....	17
2.4.2 Praktiline kasutus	19
3 TIIGI 8 KORTERELAMU ÜLEVAADE.....	21
3.1 OLEMASOLEV OLUKORD.....	21
3.2 REKONSTRUEERIMISPROJEKTI KIRJELDUS	25
3.2.1 Välispiirded	26
3.2.2 Katuslagi	26
3.2.3 Aknad.....	27
3.2.4 Küttesüsteem.....	27
3.2.5 Ventilatsioon.....	27
4 TIIGI 8 KORTERELAMU EHITUSINFO MODELLEERIMISPROTSESS	28
4.1 LÄHTEANDMED.....	28
4.2 FAILIDE JA ANDMEBAASI ÜLESEHITUS.....	29
4.3 MODELLEERIMISE ETAPID.....	31
4.4 ESINENUD TÕRKED	37

4.5	VASTUOLUD LÄHTEANDMETES	37
5	VÄLJAVÕTTED KOOSTATUD MUDELIST	40
5.1	VISUALISATSIOONID.....	40
5.2	MAHUTABELID	41
5.3	ENERGIASIMULATSIOONID.....	42
5.3.1	<i>Töövoo kirjeldus mudeli viimisel IES-VE keskkonda</i>	<i>43</i>
5.3.2	<i>Green Building Studio keskkonna eripärad</i>	<i>44</i>
5.4	PÄIKESEPANEELIDE VAJADUS JA PAIGUTUS.....	49
6	TULEMUSED.....	53
	KOKKUVÕTE	54
	KIRJANDUS	55
	LISAD	
	LISA 1 PIIRETE U-ARVUDE ARVUTUSTABELID	
	LISA 2 MAHUTABELID	
	LISA 3 ENERGIAARVUTUSTE TABELID	
	LISA 4 PÄIKESEPANEELIDE SÜSTEEMIDE VÕIMSUSED	

Jooniste loetelu

Joonis 2.1. Uute tehnoloogiate mõju ja tõenäosuse diagramm [22].....	18
Joonis 2.2 Telia büroohoone koondmudel ja selle moodustavad osad (kuvatõmmis Alan Väli esitlusest)	19
Joonis 2.3 Näide 4D ehitusgraafikust (kuvatõmmis Alan Väli esitlusest)	19
Joonis 2.4 Näide BIM-i 5D võimalustest (kuvatõmmis Alan Väli esitlusest).....	20
Joonis 2.5 Näide BIM-i kasutusest ehitusplatsil.....	20
Joonis 3.1 Hoone paiknemine maastikul [25]	21
Joonis 3.2 Vaade olemasolevale hoonele põhjast (autori foto)	22
Joonis 3.3 Vaade olemasolevale hoonele läänest (autori foto).....	22
Joonis 3.4 Vaade olemasoleva hoone lõunaküljele (autori foto).....	23
Joonis 3.5 Vahetamata keldriaken, lagunev sille.....	23
Joonis 3.6 Vahetamata korteriaken (autori foto)	24
Joonis 4.1 Külgnevate ruumide diagramm	33
Joonis 4.2 Ruumide kujutamine piiretest teisendatud tasapindadena.....	34
Joonis 4.3 Sisestatud vabasoojuste andmed	35
Joonis 4.4 Elamu inimeste kasutusprofiil	35
Joonis 4.5 Elamu valgustuse kasutusprofiil.....	36
Joonis 4.6 Elamu seadmete kasutusprofiil.....	36
Joonis 4.7 Ventilatsioonikanali asukoha vastuolu pööningu plaanil	38
Joonis 4.8 Ventilatsioonikanali asukoha vastuolu vaatel põhjast.....	38
Joonis 5.1 Hoone lõunakülje visualisatsioon (Reviti siseseelt).....	40
Joonis 5.2 Visualisatsioon hoonest põhjasuunast (Reviti pilveteenus)	41
Joonis 5.3 Väljavõtte seinte mahutabelist.....	42
Joonis 5.4 Ebakorrekse mudeli näidis IES-ist	43
Joonis 5.5 Korrektse analüütilise mudeli lõunakülje kujutis.....	44
Joonis 5.6 Eraldiseisvate paneelide paigutuse lõige	50
Joonis 5.7 Eraldiseisvate paneelide paigutuse plaan	51

Tabelite loetelu

Tabel 1 Piirete soojusjuhtivuse võrdlus.....	31
Tabel 2 Simulatsioonide sisendid ja tulemid.....	48
Tabel 3 Paneelide paigutamise variandid	50

MÕISTED, TÄHISED JA LÜHENDID

3D – kolmemõõtmeline ehk ruumiline

4D – 3D + aja mõõde, ajalise aspekti ühendamine ehitiseosade- ja ruumiobjektidega.

BIM – *Building information modeling* ehk ehitusinfo modelleerimine. Protsess, mis hõlmab ehitise füüsiliste ja funktsionaalsete omadustega digitaalse kujutise loomist ja haldamist

CAD – *Computer-aided design* ehk raalprojekteerimine, arvutisüsteemide abil toodete, hoonete, masinate või seadmete kujundamine.

gbXML – *Green Building XML* on failiformaat, loodud hõlbustamiseks BIM mudelites oleva info üleviimist analüüsimitarkvaradesse.

Hoone energiasimulatsioon – tarkvara abil hoone tulevase energiakulu ja sisekliima võimalikult tõelähedane kujutamine, võimaldab optimeerida hoone energiavajadust.

IFC - *Industry Foundation Classes*. Rahvusvaheline infovahetusstandard ehituse ja kinnisvarahalduse alaste tarkvarade ühiseks infovahetuseks ja koos kasutamiseks.

Mudelprojekteerimine – Projekteerimine, mida teostatakse ehitusinfo modelleerimise tehnoloogia abil. Lühendatud terminina kasutatakse ka modelleerimist.

Osamudel – Mudeli osa või terviku vaade, mis moodustatakse kindlatel eesmärkidel (tegevusala vms seisukoha ülesannetest või vajadustest lähtuvalt).

RKAS – Riigi Kinnisvara AS

Simuleerimine – protsessi või versiooni paikapidavuse kontrollimine mudeli baasil, kui reaalsus eksperimenteerimist ei võimalda, on lubamatu või liiga kulukas.

Visualiseerimine – Projektlahenduste esitamine visuaalsel kujul (joonised, 3D graafika)

SISSEJUHATUS

Tänapäeva Euroopa kõige väärtuslikumaks varaks on linnad. EUROSTAT'i andmetel elas aastal 2012 71,7% Euroopa Liidu rahvastikust tiheasustusega ja keskmise asustustihedusega aladel. On selge, et need demograafilised muutused on tugevalt seotud faktiga, et linnad juhivad Euroopa majandust: 67% Euroopa SKP-st luuakse suurlinnades, mille rahvastik moodustab ainult 59% Euroopa kogu rahvastikust [1], [2].

Üks peamisi katsumusi, mis Euroopa linnasid tulevikus ees ootab, on ümberkohanemine, et mahutada endas jätkusuutlikum ja kaasavam keskkond, mis suudab olla elukvaliteedi, töökohtade ja jõukuse poolest atraktiivne oskustöölistele, ettevõtetele, tudengitele ja turistidele. Samas tuleb silmas pidada ka mõju keskkonnale. Linnapiirkonnad vastutavad olulise osa CO₂ heidete eest, eriti ehitiste ja transpordiga seotud valdkondades. Hinnanguliselt 70% CO₂ heidetest ja energiatarbest põhjustavad linnad, seetõttu on just oluline parandada linnade mõju keskkonnale, sest seal toimivad energiatarbimise ja CO₂ heidete vähendamise meetmed kõige efektiivsemalt ning tulusamalt. Just see ongi üks SmartEnCity (edaspidi SEC) projekti peamisi eesmärke, mis kujutab endas innovatsiooni ja teadusuuringute raamprogrammi Horisont 2020 poolt rahastatavat rahvusvahelist koostööprojekti. Sama eesmärki täidab ka Euroopa Parlamendi poolt kehtestatud hoonete energiatarbimise direktiiv, mille kohaselt peavad aastast 2021 olema kõik ehitatavad uued hooned A-klassi energiamärgisega ehk liginullenergiamaajad. Nende eesmärkide täitmiseks on SEC poolt seatud nõuded hoonete renoveerimisel. Näiteks hoone karbi renoveerimisel tuleb jälgida, et välisseinte kaalutud keskmine soojusläbivus oleks $U \leq 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ ning katuste $U \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Akende korral nõutakse kolmekordset klaaspaketti komplekse soojusläbivusega $U \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja soojustuse tasapinda paigaldamist või aknapalede lisasoojustamist. Küttesüsteemide puhul nõutakse kahetorusüsteemi kasutusele võttu, ruumipõhist reguleerimist ja termostaatventiilide paigaldust. Ventilatsioonilahenduses on ette nähtud soojustagastusega süsteemi kasutamine ning välisõhu eelsoojendamine ja filtreerimine. Sisekliima kvaliteedi normiks on seatud EVS-EN 15251 standardi II klassi nõuded. Lisaks nõutakse eelduste loomist nutikodu süsteemide paigaldamiseks ja päikesepaneelide kasutamist. [1], [3], [4].

Käesolevas lõputöös uuritav Tartus Tiigi tänaval asuv korterelamu jääb SEC projekti pilootalasse ning korteriühistu on otsustanud projektiga liituda. Varasemalt on tellitud ehitusprojekt hoone rekonstrueerimiseks Eesti Soojustusprojekt OÜ-lt, kuid seda pole seni teostatud ning tuleb SEC projekti eelpool mainitud nõuete täitmiseks täiendada [5].

Kuna käesoleva töö peamiseks eesmärgiks on hoone energiatõhususe parandamine, mida traditsiooniliste projekteerimismeetoditega on keeruline tagada, siis on otsustatud kasutada ehitusinformatsiooni modelleerimist ehk *building information modeling* (edaspidi BIM). BIM kujutab endas vastava tarkvara abil hoone digitaalse andmetega rikastatud mudeli loomist ning võimalust hoone ehitamise ja eksploateerimise käigus tekkivate kulude analüüsi. Koostatud mudeli põhjal energiasimulatsioonide tegemise võimalus annab energiatõhususe eesmärgil rekonstrueerimisel suure eelise, kuna nii on võimalik kontrollida, kas tehtud valikud täidavad seatud ootused [6].

Mudelid võimaldavad parameetritega varieerides teostada erinevaid analüüse ilma hoone ehitustöödega alustamata, näiteks energia, keskkonna (LCA) ja elukaare (LCC) analüüsid. Samuti aitab mudelprojekteerimine tööd lihtsustada ja vältida vigade tekkimist. Koostatud mudeli põhjal saab kontrollida, kas püstitatud eesmärgid on saavutatud. Lisaks võimaldavad mudelid visualiseerimist stiliseeritud või võimalikult realistlikul kujul, et lõpptulemus oleks ka erialaste teadmisteta isikutele üheselt mõistetav. Samuti raskendab hetkel kasutusel olev järjestikuline projekteerimine energiatõhususalaste eesmärkide saavutamist.

Ehitise infomudeli baasil projekteerimine tähendab suuremaid kulusi hoone projekteerimisfaasis, kuid põhjalikum projekti virtuaalne läbitöötamine tähendab vigade vältimist ehitusfaasis, vähem vajadusi muudatusteks ning ühtlasi kiiremat ehitusprotsessi ja madalamat summaarset lõppkulu [7],[8].

Energiasimulatsioone teostavaid ettevõtteid leidub Eestis väheseid ja enamasti koostatakse simulatsioonide tegemiseks eraldi lihtsustatud energiamudel. Sellisel juhul on miinusteks lisanduvad kulud, kuna eraldi mudeli koostamine võib sõltuvalt hoonest üsna ajamahukaks osutada ja ebatäpsus, kuna mudel ei pruugi kajastada hoone tegelikke

piirdeid. Arhitektuurse mudeli kasutamine energiasimulatsioonide tegemisel on hakanud ehitusettevõtetele huvi pakkuma ning tõenäoliselt võetakse selline teguviis tarkvarade ühtlustumise järel lähitulevikus kasutusse.

Käesoleva töö **eesmärgiks** on välja pakkuda SEC nõuetele vastav lahendus Tiigi 8 korterelamu rekonstrueerimiseks.

Töö ülesanneteks on:

- lähteolukorra modelleerimine nüüdisaegseid BIM-tehnoloogiaid rakendades.
- loodud mudeli täiustamine rekonstrueerimisprojekti põhjal.
- lihtsustatud lisamudeli loomine gbXML formaati eksportimiseks.
- koostatud mudelist väljavõtete tegemine:
 - visualiseeringud.
 - energiasimulatsioonid.
 - mahutabelid.

Esimeses peatükis kirjeldatakse töö metoodikat. Teises peatükis on toodud välja kirjanduse ülevaade, kus on lähemalt räägitud nõukogudeaegsete korterelamute lahendustest ning rekonstrueerimisest ja BIM-i kasutustest tänapäeva ehitusmaastikul. Töö kolmas peatükk hõlmab endas olemasoleva olukorra kirjeldust ning lähtematerjaliks oleva rekonstrueerimisprojekti ülevaadet. Neljas peatükk on modelleerimisprotsessi kirjeldus ja selle käigus tekkinud tõrgete ja vastuolude loetelu. Töö viiendas peatükis antakse ülevaade tehtud simulatsioonide tulemustest. Kuues peatükk sisaldab kokkuvõtvalt töö tulemusi.

1 METOODIKA

Käesolev töö põhineb energiasimulatsioonidel ja nende võrdlusel, selleks on vajalik analüüsitava hoone kujutamine digitaalse mudelina. Samuti on oluline erinevad programmid omavahel ühildada. Digitaalse mudeli koostamiseks ehk modelleerimiseks on loodud erinevaid tarkvarasid. Käesolevas töös on kasutusel Autodeski välja töötatud Revit ja Green Building Studio (edaspidi GBS). Võrdluseks kasutatava Integrated Environmental Solutions-i (edaspidi IES) poolt loodud tarkvara IES Virtual Environment (edaspidi IES-VE) taretamiseks kasutati BESTEST Base Case 600 juhendit [9].

Töö metoodiliseks aluseks modelleerimisel lähtuti „Mudelprojekteerimise üldjuhendid 2012“ juhendisarjast, mis koostati arendusprojekti COBIM tulemusel, ning AS Riigi Kinnisvara mudelprojekteerimise juhendist ja selle lisadest. Tarkvarade iseärasustest põhjustatud probleemide ja küsimuste lahendamiseks pöörduiti tootjate ja koolitusfirmade poolt väljastatud juhendmaterjalide poole.

Käesoleva töö ja selle lähtematerjalide koostamiseks ja töötlemiseks kasutati järgnevaid programme ja tarkvara kasutusjuhendeid:

- Autodesk® AutoCAD® 2015 [10]
- Autodesk® Revit® 2017 [11]
 - Flakt Woods MagiCAD plugin for Revit
- Autodesk® Green Building Studio [12]
 - Cortona3D (plug-in) [13]
- IES-VE 2017 [14]
- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Adobe Acrobat

2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

2.1 Kas rekonstrueerida

Nõukogude okupatsiooni ajal ehitatud korterelamute rekonstrueerimisest on räägitud kogu Eesti taasiseseisvuse vältel. Hoonete elueaks planeeritud 50 aastat täitus ligikaudu seitse aastat tagasi. Kohati on oldud arvamusel, et hoonete remont pole mõistlik ning optimaalsem oleks need lammutada. Teostatud uuringud näitavad aga vastupidist: konstruktsioonid pole sugugi nii halvas seisus kui näida võib või arvatakse. Lammutamist välistab ka asjaolu, et massilisteks uusehitusteks ei jagu ressursse [15].

Alati ei pruugi rekonstrueerimise vajadus olla ilmne. Hoones võib esineda vigu, mida elanikud ilma asjasse pühendumata ja uurimata ei märka, näiteks, kui pole võrdlust soojuse erikulu kohta nn „parimate näidetega“, siis pole suuremad soojus- või veekulud märgatavad. Samuti aitab järjepidev hooldamine vältida suuremaid kulutusi erakorralisteks remonttöödeks, mille põhjuseks on pika aja vältel tekkinud amortiseerumine [15].

2.2 Miks rekonstrueerida

Leidub ilmselt vähe inimesi, kes ei tahaks raha kokku hoida ja kulusid vähendada. Samuti hoolib enamus inimkonnast teda ümbritsevast looduskeskkonnast ning veel rohkem teda ümbritseva eluruumi sisekliimast, sest umbes 90% ööpäevast veedavad inimesed siseruumides. Seega peaksid peaaegu kõik koduomanikud püüdlema energiatõhususe suunas, kuid ilma et peaks loobuma hubasest sisekliimast, mille säilitamiseks on vaja head soojusolukorda (püsiv meeldiv temperatuur ja õhu liikumine) ja õhu kvaliteeti (puhas õhk, mõõdukas õhuniiskus). Samuti ei taheta loovutada raha, sest pikk tasuvusaeg ei kutsu alginvesteeringut tegema ja korteriühistute puhul lisanduvad takistavate teguritena naabritevahelised suhted, konsensuse leidmine ja jagatud finantskoormus. Majanduslikust vaatevinklist on rekonstrueeritud hoone kasumlikum lisaks energiatõhususele ka kõrgema turuväärtuse ja kergemini müüdavuse poolest. Veel tuleks ära mainida korrektselt rekonstrueeritud hoone paranenud sisekliima olulisus. Sisekliima

mõjutab ruumis viibijate enesetunnet, tervist ja töövõimet. Näiteks võib niiskunud tapeet või tuuletõmbus põhjustada lisaks ebamugavusele ka terviseriske, mis omakorda põhjustab töölt puudumist, mis võib osutada kõigile osapooltele ja riigile majanduslikult kalliks. Allergia mittetoimiva niiskusrežiimi või ventilatsiooni tõttu tekkinud hallituse suhtes võib viia püsiva töövõimetuseeni. Kütmine tagab hoone kasutamiseks vajaliku soojusolukorra ja ventilatsioon on vajalik hoone siseõhu hea kvaliteedi säilitamiseks ning rekonstrueerimisel tuleb seda silmaspidada [15],[16].

2.3 Kuidas rekonstrueerida

Rekonstrueerimisprojekti koostamiseks selgitatakse välja vajalikud parandus- ja täiendustööd ning kuidas ja millal neid teostatakse. Koostatakse kuluprognos, mis saab korteriühistu korterelamu rekonstrueerimisotsuste aluseks. Kuluprognosi põhjal on võimalik kaaluda ka rahastusvõimalusi. Järgneb projekteerimise etapp, mille käigus koostatakse projekteerijate poolt rekonstrueerimisprojekt. Kui korteriühistus on projektid heaks kiidetud, algavad ehitamise ettevalmistamine ja ehitustööd. Rahastusvõimalustest levinumaks on KredEx-i poolt pakutavad toetused, mille 40% toetuse kasutamist nõuab ka SEC projekt. Nimetatud toetuse saamiseks on KredEx rekonstrueerimise tulemuseks seadnud järgmised tingimused [17]:

- energiatõhususarvu klass vähemalt C ($ETA \leq 150 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$).
- keskküttesüsteem vähemalt korteripõhiselt reguleeritav.
- radiaatoritel piirajatega termostaatventiilid, reguleeritav vahemikus 18 - 23°C.
- välisseinte kaalutud keskmine soojuslähivus tasemega $U \leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- kolmekordse klaaspaketiga energiasäästlikud aknad, mille kompleksne soojuslähivus $U \leq 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, paigaldatud soojustuse tasapinda või aknapaled lisasoojustatud. Välisseina ja akna liitekoha arvutuslik joonsoojuslähivus $\leq 0,05 \text{ W}/(\text{mK})$.
- katuse soojuslähivuse tase $U \leq 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- soojustagastusega ventilatsioonisüsteem, mis on varustatud välisõhu eelsoojendamise ja filtreerimise seadmetega nagu värsked õhu radiaatorid.

- ventilatsioon vastavalt sisekliima standardi II klassi nõuetele või määruse „Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused“ § 13 lõike 9 nõuete täitmine.

2.3.1 Küttesüsteem

Ligikaudu 80% korterelamutest Eestis on ühendatud kaugküttesüsteemi. Üheksa ja vähema korrusega hoonetes on maja küttesüsteemis nn ejektörühendusõlm, mille nõrgaks küljeks on halb reguleeritavus. Parema reguleeritavuse ja energiakokkuhoiu tagab ejektorsõlme vahetamine soojusvaheti vastu, mis muudab ka võrgu suletuks. Järgmine oluline kokkuhoiuvõimalus on traditsionaalse ühetorusüsteemi põhimõttel ehitatud torustike vahetamine kahetorusüsteemseks. Kahetorusüsteem ühtlustab soojusenergia jõudmist korteritesse ning annab võimaluse reguleerida radiaatoreid läbiva vee hulga radiaatoripõhiselt. Reguleerimisvõimaluse lisandumine tähendab ka püstikute ja radiaatori ventiilide väljavahetamist. Siinkohal on võimalus kaaluda termostaatsete ventiilide kasutuselevõttu. Peale süsteemi uuendamist on oluline küttesüsteemis tasakaalustada vooluhulgad, mis toob kaasa energiakulu vähenemise. Kütmata ruumides paiknevad torud peab isoleerima.

2.3.2 Välispiirete täiendav soojustamine

Kõige lihtsam ja odavam on lisasoojustust paigaldada avadeta seinale. Soovitatav on paigaldada lisasoojustus välispinnale, kuna vastasel juhul võib sein nullpunkt liikuda ristlõikes välispinnalt sissepoole, mis tähendab, et temperatuur jõuab 0°C seina sees, sest sooja siseõhu liikumine seina ristlõikes on takistatud. Lisaks hoiab väljastpoolt soojustamine ära konstruktsioonide soojusjuhtivusest tulenevat külmasildade teket vahelagedes ja -seintes ning kaitseb kulunud seinu välistingimuste eest [15],[18].

Täiendava soojustuse mõju energiakulule sõltuvalt lähteolukorrast ja teostatavusest võib olla 5-20%, kui lähtuda 1996. aastal Espoos koostatud uuringust. Tuginedes tüüpilise Eesti kortermaja soojustamise uuringule aastal 2000, vähenes soojustatud hoonetes aastane kaugkütte tarbimine umbes 20% [15].

2.3.3 Ventilatsioon

Üldjuhul on vähem kui kümne korrusega kortermajades loomulik õhuvahetus ja vahetuv õhuhulk sõltub konstruktsioonide õhutihedusest, hoone paiknemiskõrgusest, tuulest ning sise- ja välistemperatuuride vahest. Renoveerimata vanad hooned on enamasti ebatihedad ning õhuvahetus on ebaühtlane ja raskesti reguleeritav. Talvel ja tuuliste ilmadega on seetõttu korterid külmad ja kulutavad palju soojusenergiat. Sellest tulenevalt on paljud korteriomanikud vahetanud välja korterite aknad õhutihedamate ja energiasäästlikumate vastu. Liigne hermeetilisus pärsib aga õhuvahetust, seega tuleb paigaldada välisseintele reguleeritavad õhuklapid ning tulemuseks on kohati sarnane olukord akende vahetusele eelnenuga. Alternatiiviks on mehaaniline sissepuhe, mis nõuab ventilatsioonisüsteemi ja -kanalite paigaldamist ning vajadusel saab sissepuhutavat õhku elektriliselt või soojustagasti abil eelsoojendada. Rekonstrueerimisel on parim variant ventilatsioonikanalite paigutamiseks lisasoojustuse sisse, sest nii puudub vajadus sisetöödeks korterites. Väljatõmme on Eesti kortermajades lahendatud köögi ja WC/vannitoa kohal asetsevate kanalite kaudu, mis suunduvad katusele, kus need õhuvahetuskorstnaga lõppevad. Soojustagastiga süsteemi kasuks otsustades saab kanalite otsa, õhuvahetuskorstna asemele, paigutada kollektori, mis juhib väljuva sooja õhu soojustagastisse, kus väljuva õhu soojusenergia kantakse üle sissepuhkele. Lisasoojustamise, mehaanilise õhuvahetuse ja kütte reguleerimise kombineerimine pakub olulist kulude kokkuhoidu, sest kui kütmine on reguleeritud, pole vajadust akende avamise kaudu soojust raisata ning toimiv ventilatsioon tagab õhu kvaliteedi. Kui rahastus ja teostus takistuseks ei saa on võimalik saavutada lisakokkuhoid soojustagasti paigaldamisega [15], [16].

2.3.4 Vesi, kanalisatsioon ja elekter

Vee ja kanalisatsiooni osa käesolev töö ei kajasta, kuna puudub otsene mõju energiatõhususele. Samuti ei käsitleta elektriosade rekonstrueerimist, kuna kaabli- ja elektriseadmete uuendamiseks pole vajadust [15].

2.3.5 Rahastus

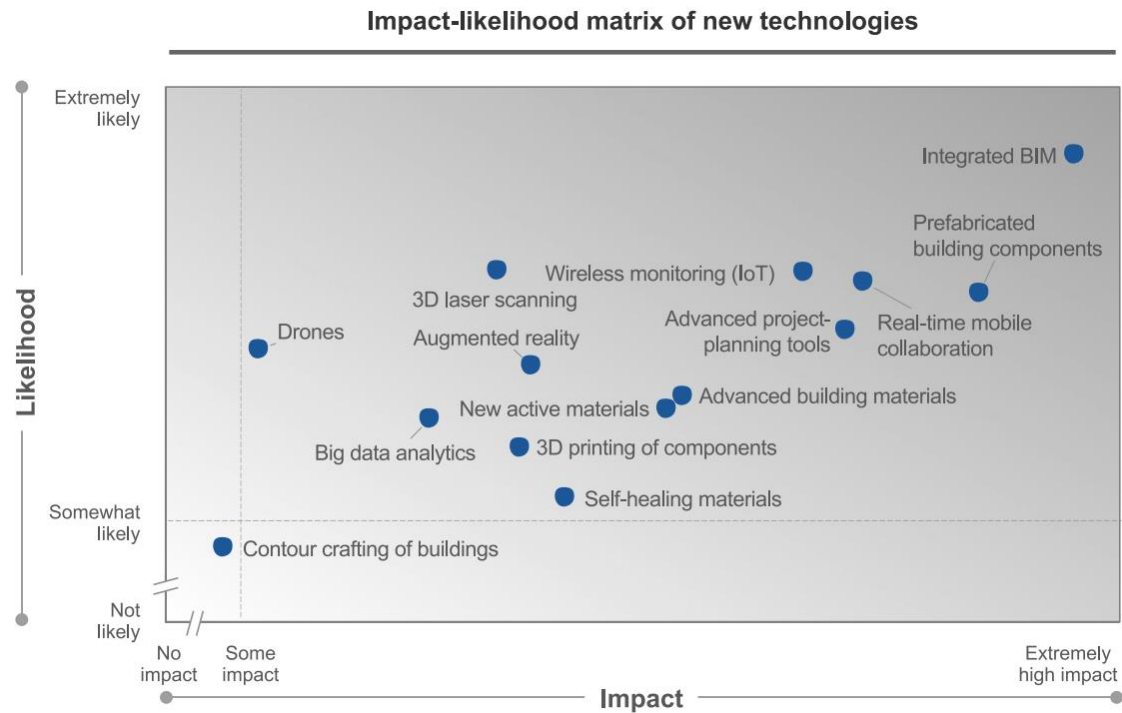
Terviklik renoveerimine maksab hinnanguliselt 250-300 €/m², millest 100€ on võimalik tasuda SEC projektist saadavate vahenditega, lisaks on võimalik kasutada KredEx-i poolt pakutavaid võimalusi. Uue maja ehitusmaksumus on hinnanguliselt üle 1000 €/m². TTÜ professor Targo Kalamees leiab, et kuna praegune hetk on soodne aeg ehituseks, sest

rahastus erinevate fondide poolt on võimalik, siis oleks optimaalseim lahendus kohealt terve hoone soojustamine [19], [20].

2.4 BIM-i kasutus

2.4.1 Teoreetiline kasutus

BIM on ehitusmaastikul kõneainet pakkunud aastaid, globaalsel tasandil juba aastakümneid. Eestis on jäänud suhtumine BIM-i viimase ajani külmaks. Põhjuseid on toodud mitmeid (kulud ja riskid näivad suuremad kui tulud, kogemuste puudumine, nõudluse puudumine), kuid teadvustustöö on toimunud ning paljud ettevõtted on alustanud BIM võimaluste rakendamist. 2016. aastal välja antud uuringus peetakse BIM-i uute ehitustehnoloogiate seas kõige tõenäolisemalt mõjutavaimaks (Joonis 2.1). Uuringutest selgus, et uuendustega lähevad tellijatest meelsamini kaasa inseneri- ja ehitusettevõtted, kellest 61% kasutab enamusel projektidest BIM-i. Ettevõtetest on kõige aktiivsemad uuendajad keskmise suurusega ettevõtted, kes näevad tehnoloogias potentsiaali konkurentide ees edu saavutamiseks. Taaskord tuleb tõdeda, et ehitusmahtude kasvamise ja keerulisemaks muutumisega koos kasvavad ka kaasnevad riskid, mille minimaliseerimiseks on vajalik kasutusele võtta kaasaegsed tehnoloogiad [21].

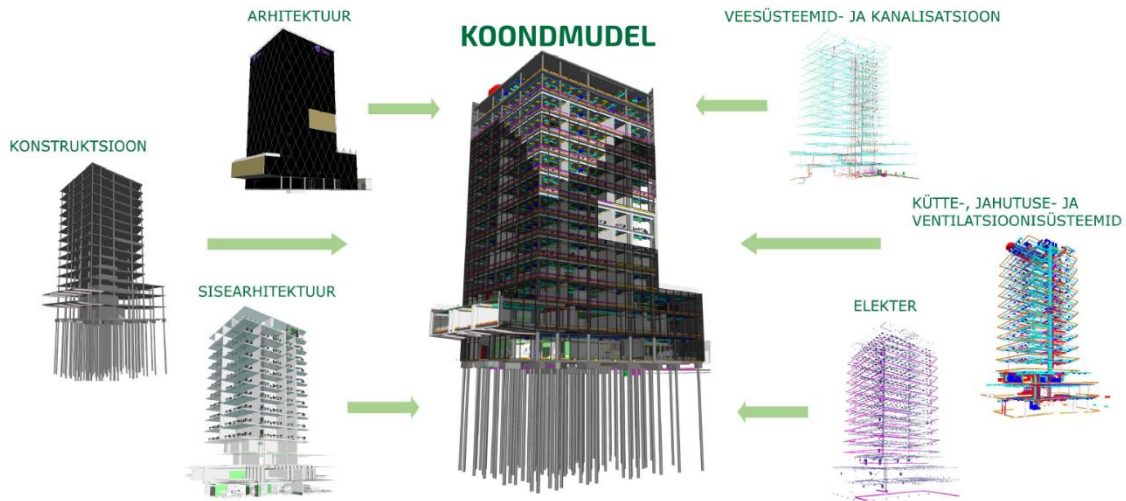


Joonis 2.1. Uute tehnoloogiate mõju ja tõenäosuse diagramm [22]

Riigi Kinnisvara AS on aastaid olnud üheks oluliseks panustajaks BIM-i edendamisel Eestis. Aastal 2009 ilmus nende poolt esimene soome keelest tõlgitud mudelprojekteerimise juhend, mille pilootprojektiks oli Narva Politsei- ja Päästeameti hoone. Alates 2015. aastast on sisse viidud nõue kõik nende poolt teostatavad projekteerimised teha mudelkujul. RKAS-i sõnul ei ole BIM nende jaoks eesmärk iseenesest, vaid kui töövahend, mille abil jõutakse suurema tõenäosusega projekti eesmärgini. Eelistena toovad nad välja projektdokumentatsiooni kvaliteeti, hoone madalamaid elukaare kulusid, eelarves ja ajagraafikus püsimist, automatiseeritud kvaliteedikontrolli, funktsionaalsemaid ehituslahendusi, tõhusamat koostööd (tänu visualisatsioonide kaudu tellijale ja ehitajale tõetruu tulemuse kujutamise), operatiivseid mahuarvutusi ja tervikliku kogumi moodustumist hoone digitaalsest vastest, tänu millele on kiire ja lihtne ligipääs vajalikele andmetele [23].

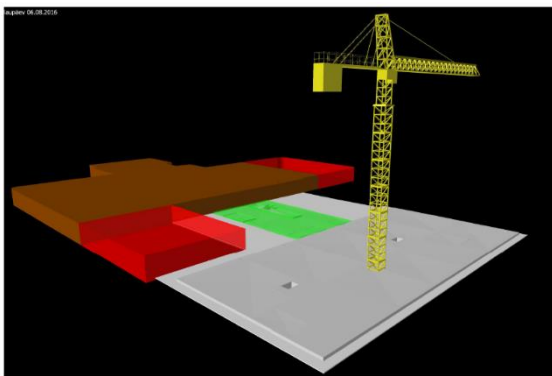
2.4.2 Praktiline kasutus

Kuna BIM tähendab kogu hoone osade põhjalikku kujutamist koos lisanduvate andmetega, siis tähendab BIM-i kasutamine hoone kaks korda läbi ehitamist (Joonis 2.2). Esimene kord tehakse kogu protsess läbi virtuaalselt digitaalse mudeliga, mille käigus on võimalik ilma olulist ressursi raiskamata viia sisse muudatusi ja korrekture. Seejärel,

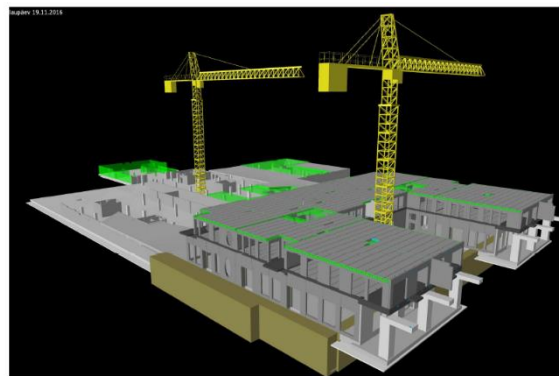


Joonis 2.2 Telia büroohoone koondmudel ja selle moodustavad osad (kuvatõmmis Alan Väli esitlusest)

kui digitaalne mudel on üles ehitatud, asutakse seda reaalsuses jäljendama. Kõigi eelduste kohaselt peaks jäljendamine paremini laabuma ning kui BIM-i koostamisel kasutati ka 4D ja 5D võimalusi, siis on jälgitav ehitusprotsessi ajalise ja rahalise kulgemise graafikus püsimine ja õigeaegne muudatusotsuste vastuvõtmine (Joonis 2.3).



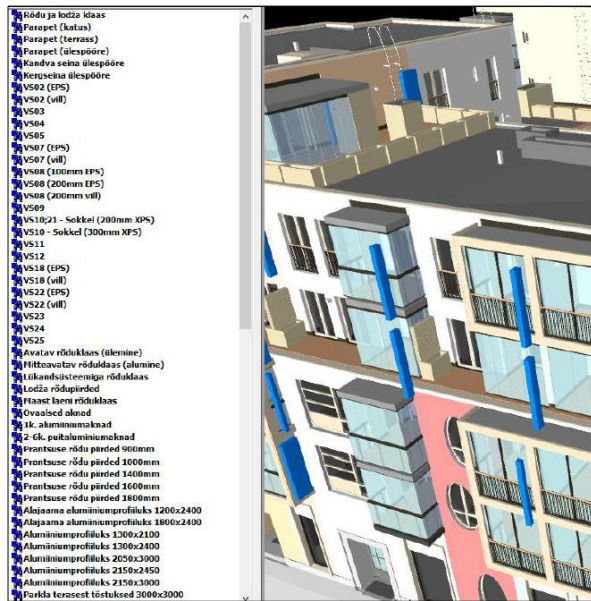
6. august 2016



19. november 2016

Joonis 2.3 Näide 4D ehitusgraafikust (kuvatõmmis Alan Väli esitlusest)

Mudel



Eelarve (mudelis, Excelis vm)

327	Sooja-, heli- ja hüdroisolatsioon		
	VS02 - EPS	m ²	1685
	VS02 - vill (kuri 2m maapinnast)	m ²	128
	VS03	m ²	269
	VS04	m ²	19
	VS05	m ²	162
	VS07 - EPS	m ²	21
	VS07 - vill (kuri 2m maapinnast)	m ²	9
	VS08 - EPS 100mm	m ²	189
	VS08 - EPS 200mm	m ²	18
	VS08 - vill 200mm	m ²	2
	VS09	m ²	49
	VS10-21 - Sokkel (XPS 200mm)	m ²	1
	VS10 - Sokkel (XPS 300mm)	m ²	97
	VS11	m ²	35
	VS12	m ²	24
	VS18 - EPS	m ²	73
	VS18 - vill (kuri 2m maapinnast)	m ²	54
	VS22 - EPS	m ²	28
	VS22 - vill (kuri 2m maapinnast)	m ²	5
	VS23	m ²	6
	VS24	m ²	43
	VS25	m ²	17
	Ülespööre - kandev sein	m ²	221
	Ülespööre - kergsein	m ²	5
	Parapet (katus)	m ²	148
	Parapet (terras)	m ²	168
	Parapet (ülespööre lodža kohal)	m ²	28
328	Seinte fassaadikatted		
	Tellisplaadid (va. Lihgrblau)	m ²	74
	Glasuuplaat (Lihgrblau)	m ²	105
	Paekivi (fassaad)	m ²	280
	Paekivi (sokkel)	m ²	84
	Paekivi (ukseportaalid)	m ²	58
	Paekivi (vitinaaknad)	m ²	34
	Kalkkivi	m ²	184
	Kangialuste viimistlus (kalkkivi)	m ²	382

Joonis 2.4 Näide BIM-i 5D võimalustest (kuvatõmmis Alan Väli esitlusest)

Mudeli põhjal on võimalik parandada ka ehitusplatsi organiseeritust. Konverentsil „BIM kui terviklik protsess“ rääkis Alan Väli (AS Merko Ehitus Eesti mudelprojekteerimise spetsialist) Telia büroohoone näitel, kuidas ehitusel rakendati BIM-i pea- ja alltöövõtjate vahelise koostöö parandamiseks. Nimelt oli soojakusse paigaldatud arvuti, milles asuvast koondmudelist said ettevõtete objektijuhid endale vajalikke vaateid, lõikeid, plaane, spetsifikatsioone või detailijooniseid välja printida või inspekteerida (Joonis 2.5) [24].

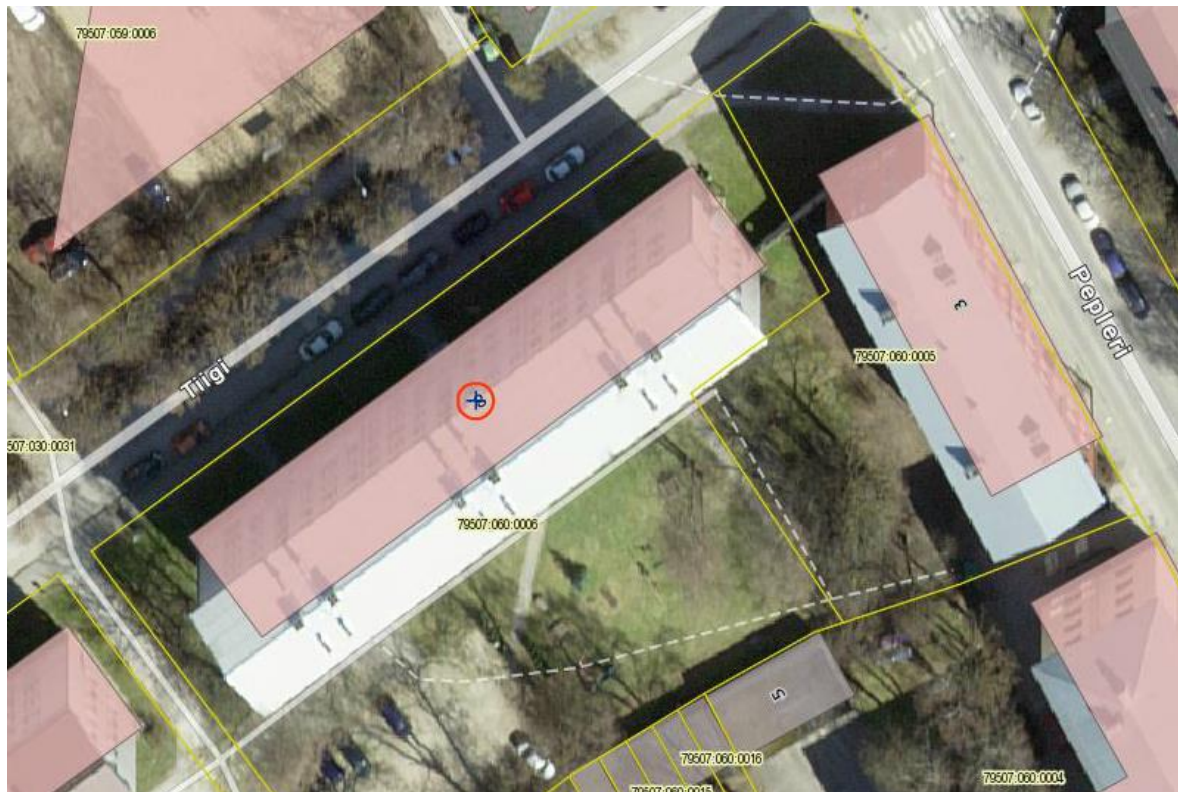


Joonis 2.5 Näide BIM-i kasutusest ehitusplatsil

3 TIIGI 8 KORTERELAMU ÜLEVAADE

3.1 Olemasolev olukord

Käesolev lõputöö põhineb Tartus Tiigi tänavas asuval 5-korruselisel korterelamul, mille korteriühistu on otsustanud liituda nutika linnaosa projektiga *SEC*. Joonis 3.1 kujutab hoone asukohta ja paiknemist maastikul.



Joonis 3.1 Hoone paiknemine maastikul [25]

Joonis 3.2; 3.3 ja 3.4 kajastavad hoone vaateid, kus on näha hoone üldine välimus ja ümbritsev keskkond ning haljastus. Nagu näha, paiknevad hoonest lõunas üksikud lehtpuud, mis pakuvad suvel mõningast päikese varju madalamate korruste akendele, kuid mitte piisavalt, et oluliselt vähendada jahutusvajadust. Katuse tasapinnas ümbritsev keskkond päikesekiirguse hulka ei vähenda.

Joonis 3.5 ja 3.6 on fotod vahetamata akendest. Puitraamiga ühekordsed aknad on välja vahetamata kõikide keldriakende ja mõne korteriakena näol.



Joonis 3.2 Vaade olemasolevale hoonele põhjast (autori foto)



Joonis 3.3 Vaade olemasolevale hoonele läänest (autori foto)



Joonis 3.4 Vaade olemasoleva hoone lõunaküljele (autori foto)



Joonis 3.5 Vahetamata keldriaken, lagunev sille



Joonis 3.6 Vahetamata korteriaken (autori foto)

Hoone üldandmed ehitusregistrist [26]

- Ehitisregistri kood 104030524
- Ehitusaasta 1961
- Peamine kasutamise otstarve 11222 Muu kolme või enama korteriga elamu
- Ehitisealune pind (m²) 531
- Maapealsete korruste arv 5
- Suletud netopind (m²) 2 934,8
- Maht (m³) 10 546
- Üldkasutatav pind (m²) 192,3
- Energiatõhususarvu klass F (15.04.09) → C (12.07.2016)¹
- Kõetav pind (m²) 2664,7 [27]

Hoones on kolm trepikoda ja 60 korterit, millest kaks on kohaldatud ümbermitteeluruumiks.

¹ energiamärgis C põhineb käesoleva töö aluseks oleva rekonstrueerimisprojekti põhjal teostatud teoreetilistel arvutustel.

3.2 Rekonstrueerimisprojekti kirjeldus

SEC projekti üks peamistest eesmärkidest Tartus on saavutada olulist energiasäästu läbi kesklinnas asuvate tüüpprojekti 1-317 järgi ehitatud korterelamute ehk rahvasuus tuntud kui „hruštšovkade“ renoveerimise. Lisaks plaanitakse parandada linnaosa välimust visuaalselt atraktiivsete kunstiteostega hoonete otsaseintel [28].

Lõputöö eesmärgiks on pakkuda välja Tiigi 8 renoveerimise lahendus SEC poolt sätestatud lähteülesande, Kredex-i 40% toetuse andmise tingimuste ja Eesti Soojustusprojekt OÜ koostatud hoone rekonstrueerimisprojekti alusel. [3], [29].

SEC projekt seab rekonstrueerimise eesmärgiks saavutada renoveeritavates kortermajades võimalikult optimaalse kuluga:

- energiatõhusus 90 kWh/m² aastas (A-klass). (Vabariigi Valitsuse määrusele nr 68 vastavalt on korterelamutes liginullenergiahoone energiatõhususarvu piirväärtus 100 kWh/(m²a)
- sisekliima vastavus II klassi standardile EVS-EN-15251:2007 või määruse „Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused“ § 13 lõikele 9
- päikesepaneelide paigaldamine hoonetele.
- nutikodu: reguleerimise, jälgimise ja avaandmete võimaldamise IKT-platvorm.

II klassi sisekliimaparameetrid elamutes (vastavalt standardile EVS-EN-15251:2007)

- ruumitemperatuur, talv, 22+/-2 °C.
- ruumitemperatuur, suvi, 24,5+/-1,5°C.
- õhu liikumise kiirus, talv, 0,18 m/s.
- õhu liikumise kiirus, suvi, 0,22 m/s.
- süsihappegaasi kontsentratsioon, <1250 ppm (<2250 mg/m³).
- ventilatsioon, inimeste komponent, 7 l/(s in).
- ventilatsioon, materjalide komponent, 0,7 l/(s m²).

Vastavalt määruse „Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused“ § 13 lõikele 9:

- korterites pidev ventilatsioon õhuvahetuskordsusega vähemalt 0,5 l/h.

- ilma elektrilise eelküttekalorifeerita ventilatsiooniseadmed.
- sissepuhke välisõhuvooluhulgad vähemalt 10 l/s magamis- ja elutubades müratasemel mitte üle 25 dB(A).
- väljatõmbe õhuvooluhulgad 1-toaliste korterite pesuruumis vähemalt 10 l/s ja köögis 6 l/s, 2-toaliste korterite pesuruumis vähemalt 15 l/s ja köögis 8 l/s, 3- ja enamatoaliste korterite WC-s vähemalt 10 l/s, pesuruumis 15 l/s ja köögis 8 l/s.
- juhul, kui ventilatsioonisüsteemi projekteerimisel, ehitamisel või mõõdistamisel selgub, et mõne ruumi väljatõmbe õhuvooluhulka ei ole võimalik objektiivsetel põhjustel täita (näiteks puudub korteril vajalik arv ventilatsioonišahte, olemasoleva ventilatsioonišahti ristlõike pindala ei ole piisav), siis loetakse käesoleva lõike punktides 3 ja 4 toodud õhuvooluhulkade nõue täidetuks kogu korteri õhuvahetuskordsuse 0,5 1/h saavutamiseks.

Aluseks võetud rekonstrueerimisprojekt pakub energiatõhususe ja sisekliima parandamiseks välja järgnevad lahendused:

3.2.1 Välispiirded

Vundamendile ja soklile lisatakse piirde soojusjuhtivuse parandamiseks 100 mm paksune vahtpolüstüreenist soojustuskiht EPS120, mille soojusjuhtivustegur on erinevatel andmetel 0,035-0,036 W/mK. Rekonstrueerimisprojektis on vastavaks näitajaks määratud 0,040 W/mK, sellise väärtuse korral ei täida piirde soojuläbivuse tase SEC poolt seatud nõudeid. Nõuete kohaselt peab kõigi välisseinte U-arv jääma alla 0,22 W/m²K, kasutades EPS120 korral soojusjuhtivustegurit 0,035 W/mK, on see nõue täidetud. Sokli viimistluseks on ette nähtud 10 mm paksud tsementkiudplaadid, mis kinnituvad 50x50 mm ristlõikega immutatud puitprussidele (sammuga 600 mm) paigutatud kübarprofiilidele. Puitprussid kinnitatakse seina külge 100x100x60 mm vertikaalsete nurgikutega. Välisseintele liimitakse soklist katuseni 150 mm paksune kiht vahtpolüstüreeni EPS60, soojusjuhtivusteguriga 0,04 W/mK. Soojustus kaetakse armeerimisvõrgu ning krohviga ja värvitakse üle [30], [31].

3.2.2 Katuslagi

Katuslaele lisatakse esialgse räbukihi peale 400mm paksune kiht puistevilla. Erinevate allikate kohaselt on puistevilla soojusjuhtivustegur 0,041-0,042 W/mK. Taaskord kasutati käesolevas töös rekonstrueerimisprojektis kasutatud andmeid ehk soojusjuhtivusteguri väärtuseks on 0,04 W/mK. Lisaks soovitatakse paigaldada uus profiilplekist katusekate,

milleks otsest vajadust, kuna olemasolev eterniitkatvus on ilmastikukindel, kuid esteetilistel kaalutlustel võib seda siiski teha [32], [33].

3.2.3 Aknad

Avatäidetest enamus on vahetatud PVC raamidega pakettakende vastu, mille U-väärtuseks on rekonstrueerimisprojekti andmetel $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Soovitud tulemuse saavutamiseks tuleb välja vahetada ka siiani vahetamata jäänud vananenud puitraamidega korteriaknad ja rekonstrueerimisprojekti mainimata jäänud keldriaknad. SEC nõuete kohaselt peab akende kompleksne soojusläbivus jääma alla $1 \text{ W/m}^2\text{K}$, enamus kaasaegseid kolmekordse paketi PVC-aknaid tootjate sõnule selle nõude täidavad. Käesolevas töös tehakse arvutused olukorras, kus eeldatakse, et kõik aknad vastavad SEC nõuetele.

3.2.4 Küttesüsteem

Korterelamus on hetkel kasutusel Eesti korrusmajades levinud ühetorusüsteemi põhimõttel torustik, mille reguleeritavus on halb ning soojusedastus ebahütlane. Üleminek kahetoru küttesüsteemile toob kaasa sulg- ja liiniseadeventiilide asendamise ning radiaatorite ja radiaatorite ventiilide uuendamise. Väljapakutud lehtterasest plaatradiaatorid on väikese veemahu ja suure konvektiivpinnaga, seega reageerivad reguleerimisele kiiresti ning võimaldavad soojusenergia efektiivsemat kasutamist [15], [18].

3.2.5 Ventilatsioon

Rekonstrueerimisprojekt näeb ette kolme mehaanilise soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi Fläkt Woods eQ Prime paigaldamist, mis pakuvad soojustagastust kuni 86% ning ventilaatori elektriline erivõimsus jääb alla $1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Sissepuhke torustikud paigaldatakse fassaadipinnale paigaldatava soojustuskihi sisse, kuna selline paigaldamine on lihtsam ning ei vaja lisaruumi korterite pinna arvelt. Väljatõmme lahendatakse olemasolevate õhuvahetuskanalitega, mis paiknevad köögi ja WC/vannitoa seintes. Ventilatsiooniseadmed paigaldatakse põõningule, kus õhuvahetuskanalite kohale paigaldatakse kollektorid, mille kaudu soe õhk liigub soojusvahetisse ning sealt edasi läbi väljaviske elemendi väliskeskkonda. Katusel asuvatest õhuvõtu elementidest liigub värske õhk sisse ning pärast soojusvahetis soojendamist puhutakse korteritesse [15],[34].

4 TIIGI 8 KORTERELAMU EHTUSINFO MODELLEERIMISPROTSESS

Kõikide analüüside tulemuste kasulikkus ja täpsus sõltub otseselt sisestatava info kvaliteedist. Seepärast on käesolevas töös oluline, et mudel, mille põhjal mitmeid analüüse teostatakse, oleks koostatud täpselt ning võimalikult adekvaatsete andmete põhjal. Tavapäraselt piisab vajaliku dokumentatsiooni koostamiseks mudelist, milles sisalduv andmehulk ja sellest tulenevalt ka mudeli loomiseks vajalik töömaht on oluliselt väiksemad. Suurem töömaht tähendab enamasti kõrgemat hinda tellija jaoks, kuid võimalus enne ehitustöid erinevaid simulatsioone teha võib teatud objektide korral nii optimaalse lahenduse leidmisel, vastuolude ja vigade vältimisel kui ka summaarse hinna alandamisel kasuks tulla [35].

4.1 Lähteandmed

Korterelamu mudeli koostamisel on lähtunud aastal 2016 Eesti Soojustusprojekt OÜ poolt väljastatud projektist „Ehitusprojekt korterelamu rekonstrueerimiseks“ ja OÜ INVENTO poolt koostatud „Kütte-, ventilatsiooni- ja soojaveevarustuse süsteemi rekonstrueerimise põhiprojekt“

Rekonstrueerimisprojekti koostamisel kasutatud lähtedokumendid:

- Eesti Soojustusprojekt OÜ koostatud „Projekt korterelamu soojustamiseks ja viimistlemiseks“ (2013).
- KÜ Tiigi 8 poolt koostatud lähteülesanne.
- Aero Grupp OÜ poolt koostatud uuring „Tiigi 8 Ventilatsioonikanalite uuringu materjalid“.

Rekonstrueerimisprojekti koostamisel kasutatud ehitusnormid ja viitedokumendid:

- Riigikogu 11.02.2015 seadus „Ehitusseadustik“ (kehtiv alates 01.07.2015).
- Riigikogu 05.05.2010 seadus „Tuleohutuse seadus“ (kehtiv alates 01.07.2015).

- Majandus ja taristuministri 02.06.2015 määrus nr 54 „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded“ (kehtiv alates 01.07.2015).
- Majandus ja taristuministri 03.06.2015 määrus nr 55 „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ (kehtiv alates 01.07.2015).
- Majandus ja taristuministri 05.06.2015 määrus nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“ (kehtiv alates 01.07.2015).
- Ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone kande- ja piirdetarindid. TarindiRYL2010. Standard EVS 811:2012 „Hoone ehitusprojekt“.
- Standard EVS 865-2:2014 „Ehitusprojekti kirjeldus. Osa 2: Põhiprojekti seletuskiri“.
- Standard EVS 812-7:2008 „Ehitise tuleohutus. Osa 7: Ehitistele esitatava põhinõude, tuleohutusnõude tagamine projekteerimise ja ehitamise käigus“.
- Standard EVS 920-1:2013 „Katuseehitusreeglid. Osa 1: Üldreeglid“.
- Standard EVS-EN ISO 10456:2008 „Ehitusmaterjalid ja tooted, Soojus- ja niiskustehnilised omadused, Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid“.
- Standard EVS-EN ISO 6946:2008 „Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetod“.
- Standard EVS 908-1:2010 „Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire“.

4.2 Failide ja andmebaasi ülesehitus

Mudeli koostamisel on lähtutud Eesti Standardikeskuse mudelprojekteerimise üldjuhendist ja RKAS-i mudelprojekteerimise juhendist, mille kohaselt tuleb iga infomudel luua osamudelitest (arhitektuurne, konstruktsiooni, tehnosüsteemide mudel), mis hiljem terviklikuks koondmudeliks ühendatakse. Kõik mudelid tuleb esitada nii originaalmudelitena kui ka IFC-mudelitena, mudelite jagamise meetodites lepitakse kokku eelnevalt. Tehnosüsteemide mudelid jaotatakse reeglina omakorda osamudeliteks. Kogu mudel ja osamudelid jaotatakse korruste järgi ja kõik lisanduvad objektid seotakse paiknemise järgi konkreetse korrusega [36], [37].

Infomudeli nimetamine ja avaldatud versioonide arhiveerimine toimub üldiselt tellija poolt seatud juhiste ja kokkulepete järgi. Tagamaks tähistuse selgust, üheselt mõistetavust ja arusaadavust ilma täiendavate abivahenditeta, on käesolevas töös kasutatud lisaks eelmainitud juhenditele ka juhendmaterjali „Ehitusprojekti dokumentide digitaalse vormistamise nõuded ehitusloa elektroonilisel taotlemisel“. Failid on nimetatud järgneva struktuuri järgi: PROJEKTI TUNNUS_MUDELI TÄHIS_MÄRKUS_KUUPÄEV. Projekti tunnus on minimaalselt kolmekohaline projektile antav unikaalne tähis. Antud juhul on hoone asukohast (Tiigi 8) tulenevalt tähiseks „TG8“. Kuupäev esitatakse kujul AAAA-KK-PP (aasta, kuu, päev)

Kasutatud mudeli tähised:

- AA – koondmudel
- AR – arhitektuur
- EE – energiasimulatsioonide tarbeks lihtsustatud mudel
- V – ventilatsioon

Näidis: TG8_EE _energiasim-eksport_2016-04-27 (energiasimulatsiooniks eksporditud faili nimetus)

Koostatud mudelite failide nimetused:

- TG8_AA_paneelidega-v1_2017-05-24.rvt
- TG8_AA_paneelidega-v1_2017-05-24.ifc
- TG8_AA_paneelidega-v2_2017-05-24.rvt
- TG8_AA_paneelidega-v2_2017-05-24.ifc
- TG8_AR_2017-05-24.rvt
- TG8_AR_2017-05-24.ifc
- TG8_EE_GBS simulatsiooniks_2017-05-24.rvt
- TG8_EE_GBS simulatsiooniks_2017-05-24.ifc
- TG8_EE_IES-VE-simulatsiooniks_2017-05-24.rvt
- TG8_EE_IES-VE-simulatsiooniks_2017-05-24.ifc
- TG8_EE_IES-VE-simulatsiooniks_2017-05-24.xml
- TG8_V_osaline.rvt
- TG8_V_osaline.ifc

4.3 Modelleerimise etapid

Infomudeli koostamise protsess algas koheselt peale lähteandmete laekumist märtsis, 2017. aastal, kui lõpetati ühistutel avalduste vastuvõtmine ning alustati ettevalmistustega. Lähtematerjalidest enamus oli edastatud DWG formaadis, mis võimaldas neid vahetult Revitiga siduda, kiirendades tööprotsessi. Lähtematerjalid olid vaated esitatud PDF failidena, seega tuli nimetatud failid kõrgusmõõtmete saamiseks viia CAD keskkonda ja sobivasse mõõtkavva viia.

Esmalt koostati välispiirded, milles määrati vastavalt rekonstrueerimisprojektile seinakihid ja nende paksused. Seejärel määrati materjalide soojustehnilised omadused. Sisestatud andmete põhjal kuvas programm USA standardite põhjal arvutatud piirete soojusjuhtivused ehk U-arvud. Tabel 1 kujutab piirete soojusjuhtivuse väärtuste võrdlust. Esimeses tulbas on piirete tähised: VS-1 on välissein, VS-2 keldrisein ja KL-1 tähistab katuslage. Teises tulbas on autori poolt Glaseri meetodil arvutatud teoreetilised U-arvud olemasolevale seinale, kasutades rekonstrueerimisprojekti kirjeldatud materjalide parameetreid. Arvutustabelid on toodud LISAS 1. Kolmandas tulbas on välja toodud 2000.aastal Termox AS-i poolt Tiigi 3 korterelamu kohta koostatud tehnilises analüüsis kasutatud andmed. Neljas tulp kujutab rekonstrueerimisprojekti esitatud arvutustulemusi, mis on saadud kasutades DOF-THERM 2.2 tarkvara. Viimases tulbas on Reviti arvutusrežiimiga kalkuleeritud andmed. Suurim vahe rekonstrueerimisprojekti ja Reviti tulemustes on VS-2 korral, kuna on muudetud soojustusmaterjali soojusjuhtivustegur $0,040 \text{ W/mK} \rightarrow 0,035 \text{ W/mK}$.

	Teoreetiline olemasolev (W/m ² K)	Termox tehniline analüüs Tiigi 3 (W/m ² K)	Rekonstrueerimis projekt (W/m ² K) (Soojustusega)	Revit (W/m ² K) (Soojustusega)
VS-1	0,783	1,15	0,198	0,205
VS-2	0,824	2,38	0,261	0,220
KL-1	1,414	1,08	0,093	0,095

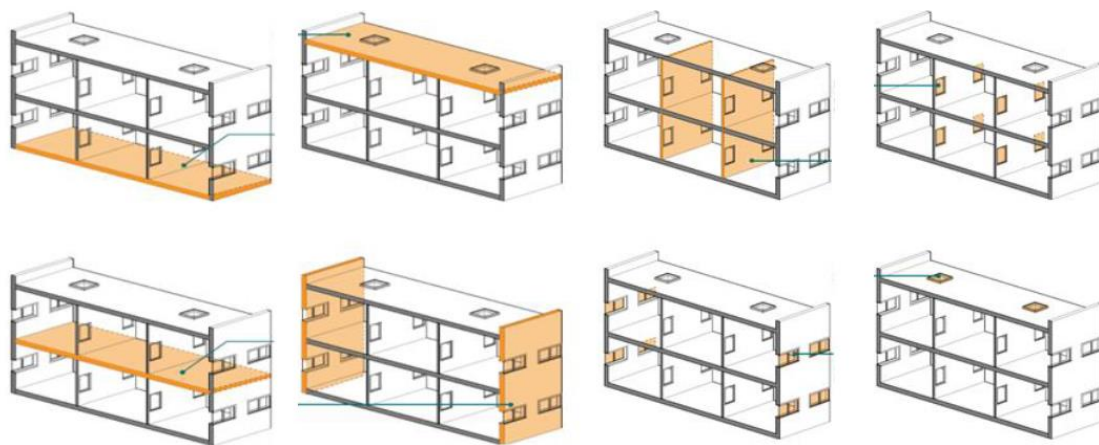
Tabel 1 Piirete soojusjuhtivuse võrdlus

Järgmine etapp seisnes koostatud piiretest hoone virtuaalse kujutise loomises. Esmalt paigutati loodud välisseinad rekonstrueerimisprojekti jooniste järgi määratletud

kohtadele. Seejärel lisati vahelaed ja katuslagi ning vahelagedest eraldati läbi korruste kulgevate trepikodade osad. Järgmise sammuna lisati mudelisse siseseinad, millele ei määratud soojusomadusi ega materjale, kuna hoone energiatarvet siseseinad märkimisväärselt ei mõjuta ning rekonstrueerimisprojekti siseseinte mahud ei kajastu. Seejärel paigaldati õigetesse mõõtmetesse modifitseeritud akna- ja ukseperekonnad. Lisati ka trepid ning tõetruuma välisilme loomiseks katusekate ning varikatused. Ventilatsioonisüsteemide modelleerimisel piirduti hoone välisilmet mõjutavate osade ehk katusel paiknevate tuulutuskorstende, sissetõmbe ja väljapuhke elementide loomise ja paigutamise. Sissetõmbe ja väljapuhke elemendid loodi tootja andmete põhjal eraldi mudelitena töö autori poolt, kuna sobivaid mudeleid ei õnnestunud leida. Samuti muudeti nimetatud elementide asetust lõunapoolselt katuselt põhjapoolsele, et need ei takistaks päikesepaneelide paigutamist. SEC projekti kohaselt hakkab iga projektis osaleva korterelamu otsaseina kaunistama kunstiteos, mis annab elamutele uue, esteetilise ja visuaalselt atraktiivse välimuse. Käesoleva töö koostamisel oli mainitud kunstiteostest valminud vaid Kalevi 10 korterelamu jaoks Marko Mäetamme poolt loodud teos, mille töö autor kohandas Tiigi korterelamu jaoks sobivaks ning kasutas hoone visualiseerimisel parema ettekujutuse saamiseks. Ümbritseva keskkonna ilmestamiseks koostati topograafiline mudel hoone krundist [38].

Käesoleva töö olulisim modelleerimisetapp on mudeli optimeerimine energiasimulatsioonide teostamise eesmärgil. Kuna energiasimulatsioone tehakse paralleelselt kahes erinevas programmis, millest ühe puhul on tegu teise tootja poolt loodud tarkvaraga, siis on vajalik mudeli võimalikult täpne üleviimine ühest tarkvarast teise. Mudeli viimiseks Revitist IES-VE keskkonda on kaks võimalust. Esimene variant on eksportida mudel Revitist *.ifc formaati ning see fail importida IES-VE-sse. Teine variant on teostada sama protsess, kuid ülekandmisel kasutatakse *.gbXML formaati. Failiformaatide peamine erinevus seisneb selles, et gbXML on loodud hoonete energiatarbe analüüsimise eesmärgiga mudelite jaoks ja IFC on mõeldud peamiselt hoonete 3D geomeetria ja andmete edasikandmiseks. Lisaks on gbXML failiformaat kasutusel andmete edastamisel Revitist GBS keskkonda Autodeski siseselt ning IES-i poolt soovitatud formaat Reviti mudeli üle viimisel IES-VE-sse. Arvestades arhitektuurse ja analüütilise mudeli olemuslikke omapärasid, tuleb üleviimisel jälgida järgnevaid asjaolusid (välja toodud ainult käesolevas töös käsitletud) [35], [39]:

- kõik piirded teisendatakse tasapindadeks, mis paiknevad piirete keskel ja üheskoos esindavad kolmemõõtmelist piiritletud tsooni.
- selleks et programm eristaks välispiirdeid ja siseseinu/vahelagesid, peab ruumid korrektselt määratlema. Kui ruumiga külgnevad toad pole ruumidena (Revitis kasutatav termin *ROOM* või *SPACE*) tähistatud, siis käsitleb programm neid seinu kui välispiirdeid (Joonis 4.1).
- külgnevate ruumide paigutamine mõjutab ka avatäidete defineerimist (Joonis 4.1).
- tubasid moodustavad seinad, põrandad ja laed tuleb tähistada ruume piiravate elementidena (*Room Bounding Elements*).
- ruume mittepiiravad elemendid säilitavad analüüsimistarkvaras ainult varjutamise omaduse (mittepiirav põrandaelement hoone fassaadil pakub päikesevarju, kuid ei mõjuta seina soojusjuhtivust).
- määratud ruumide puhul tuleb jälgida, et nende alumine ja ülemine piir oleks korrektselt seatud.
- kontrollida kas energeetilised andmed (*Energy Data*) on sisestatud korrektselt.
- veenduda, et ruumide mahtude arvutamine on sisse lülitatud.
- kasutades koondmudelit, tuleks luua eraldi mudel, kust on eemaldatud kõik elemendid, mis analüüsis ei mõjuta (käsipuud, mööbel).
- soovitatav on kasutada ühte seina maapinnast katuseni, mitte korruste kaupa jaotatud seinnaosi.
- vahelagedes olevad avad tuleb enne eksporti kõrvaldada ning hiljem IES-VE-s uuesti lisada.

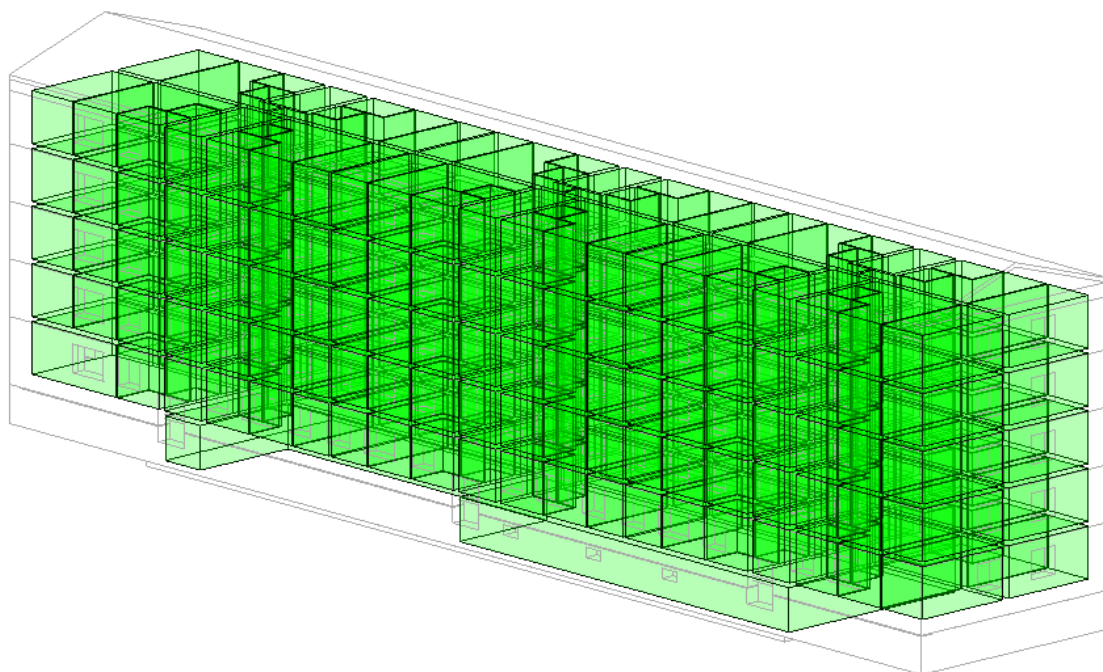


Joonis 4.1 Külgnevate ruumide diagramm

Mudel puhastati ja lihtsustati järgnevalt:

- kustutati varikatused, pilastrid ja trepid.
- eemaldati avad vahelagedest.
- viienda korruse seinad lõpetati katuslae tasandis ning katusekate määrati ruume mittepiiritleva elemendina ehk üle viies mõjub see ainult varjutava elemendina.
- hoone otsas asuv ilusalongi keerukas sissepääs eemaldati ning asendati uksega.
- kõik toad määratleti ruumidena, mille alumised ja ülemised piirangud kontrolliti ja vajadusel korrigeeriti.
- lihtsustamise eesmärgil eemaldati keldrist vaheseinad, kuna keldri mõju energiakulule on väiksema osakaaluga.

Joonis 4.2 illustreerib gbXML-i eksportimisel tekkivaid ruume, mis kujunevad tasapindadeks teisendatud piiretest.



Joonis 4.2 Ruumide kujutamine piiretest teisendatud tasapindadena

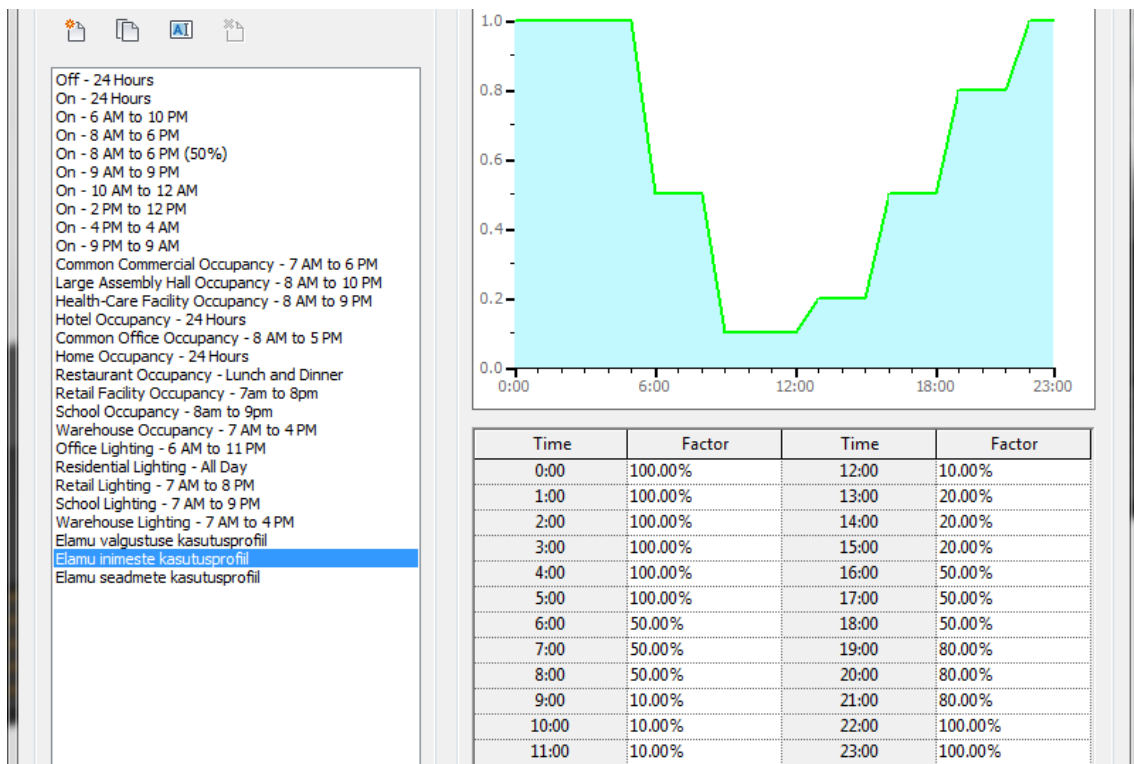
Kasutusajad ja vabasoojused lisati Reviti keskkonnas, kuna sealsed võimalused on piiratamad ning seega kergemini jäljendatavad IES-VE-s.

Järgnevad joonised (Joonis 4.3, 4.4, 4.5 ja 4.6) kujutavad sisestatud kasutusaegade graafikuid ning inimeste, valgustuse ja seadmete põhjustatud vabasoojust.

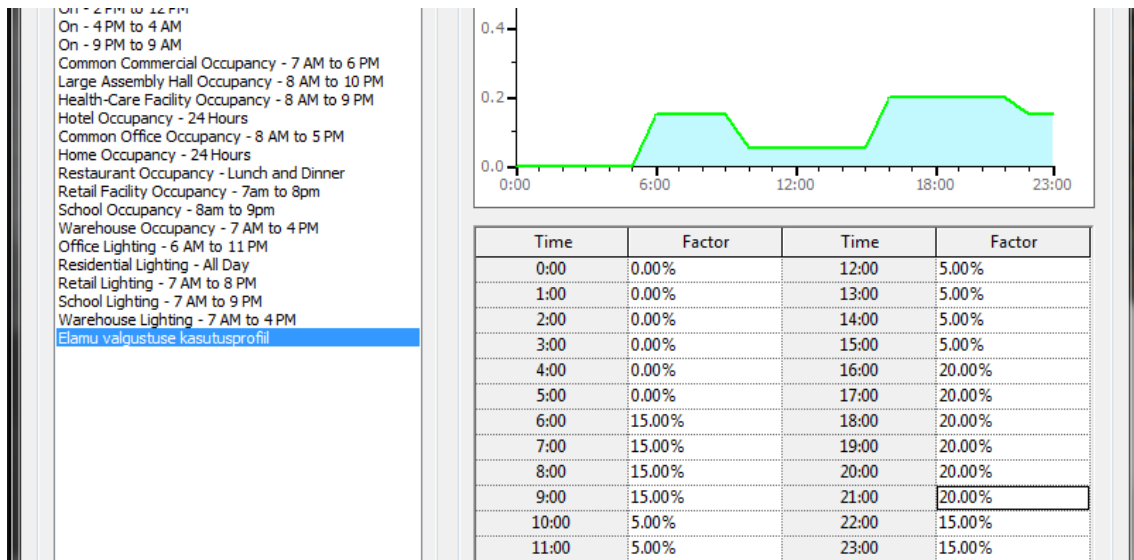
Erinevus Reviti arvutusmetoodika ning IES-i ja määruse „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“ vahel seisneb muuhulgas ka selles, et Reviti kasutusprofiilis toimuvad muutused lineaarselt, kuid määrus näeb ette väärtuste kohest astmelist muutust, mida võimaldab ka IES [40].

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	28.300 m ²
Sensible Heat Gain per person	84.90 W
Latent Heat Gain per person	56.60 W
Lighting Load Density	8.00 W/m ²
Power Load Density	3.00 W/m ²
Plenum Lighting Contribution	0.0000%
Occupancy Schedule	Elamu inimeste kasutusprofiil
Lighting Schedule	Elamu valgustuse kasutusprofiil
Power Schedule	Elamu seadmete kasutusprofiil
Opening Time	0:00
Closing Time	0:00
Unoccupied Cooling Set Point	27.00 °C

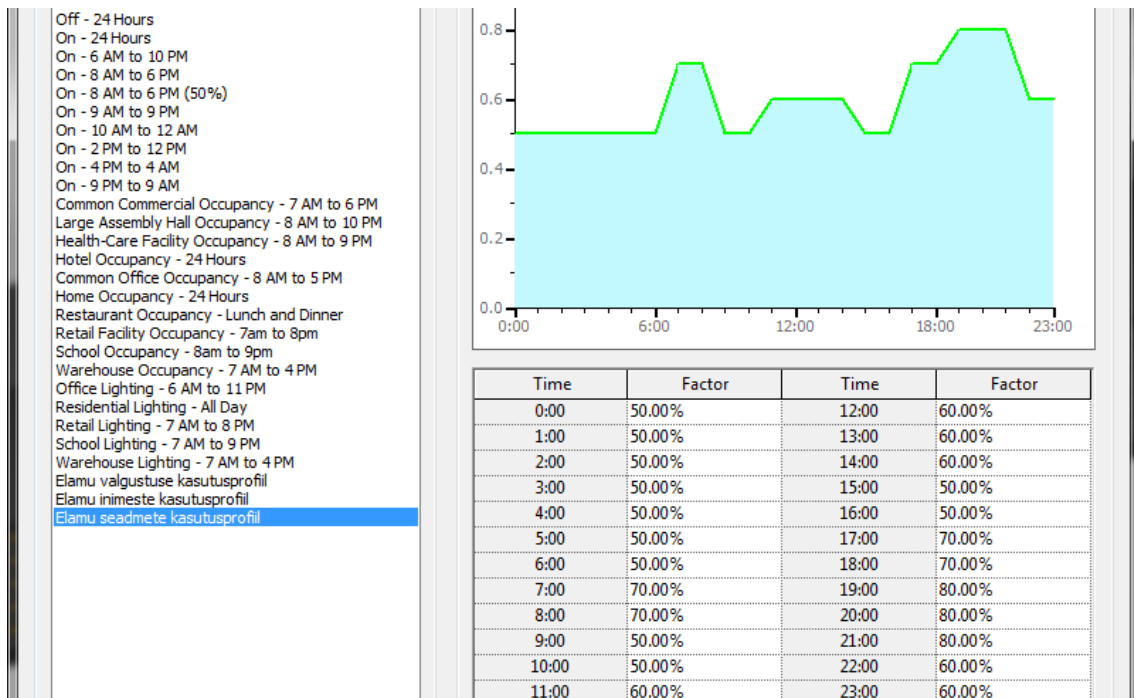
Joonis 4.3 Sisestatud vabasoojuste andmed



Joonis 4.4 Elamu inimeste kasutusprofiil



Joonis 4.5 Elamu valgustuse kasutusprofiil



Joonis 4.6 Elamu seadmete kasutusprofiil

4.4 Esinenud tõrked

Eksportides mudel gbXML formaati kujutatakse piirde tasapinnalistena piirde keskteljel ning IES-VE-s on võimalik seina maht tekitada ainult ületoodud tasapinna siseküljele, siis tuleb ruumide ruumala säilitamiseks enne üleviimist piirdeid liigutada nii, et keskteljed paikneksid hoone varasema välisviimistluse joonel.

Vaikeseadana määratud analüütilise pinna esitamise resolutsioon kujutab endast täpsust, mille korral alla $0,5 \text{ m}^2$ pindalaga avasid ignoreeritakse. Selleks, et keldriaknad (pindalaga $0,4 \text{ m}^2$) analüütilises mudelis kajastuksid, muudeti resolutsiooni täpsemaks.

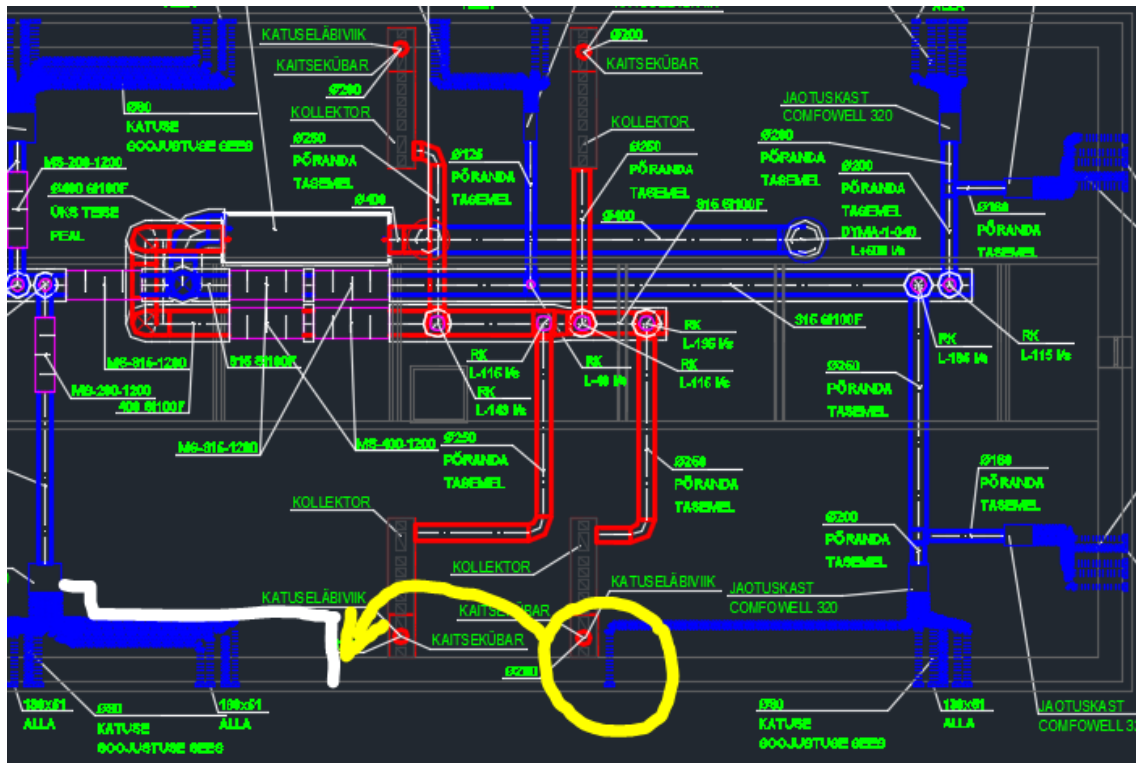
Keldrisein ning I korruse sein on erinevat tüüpi seinalahendused ning teadmata põhjusel tekitab eri tüüpi seinte teineteise kohal kasutamine tõrkeid avade lisamisel. Nimelt ei kujutata keldriseinas soklis asuvaid avasid, kui selle kohal on I korruse sein, kuid kui vahetada keldriseina tüüp samaks I korruse seinaga või vastupidi, siis avad kuvatakse. Korrektset lahendust sellele probleemile autor ei leidnud ning avade sunduslikuks kujutamiseks kasutati 5 cm kõrgust keldriseina tüüpi riba lisamist keldriseina ja I korruse seina vahel. Selliselt peteti programm arvama, et keldriseina kohal on teine sama tüüpi sein ning keldriaknad on analüütilises programmis kujutatud soovitud kujul.

4.5 Vastuolud lähteandmetes

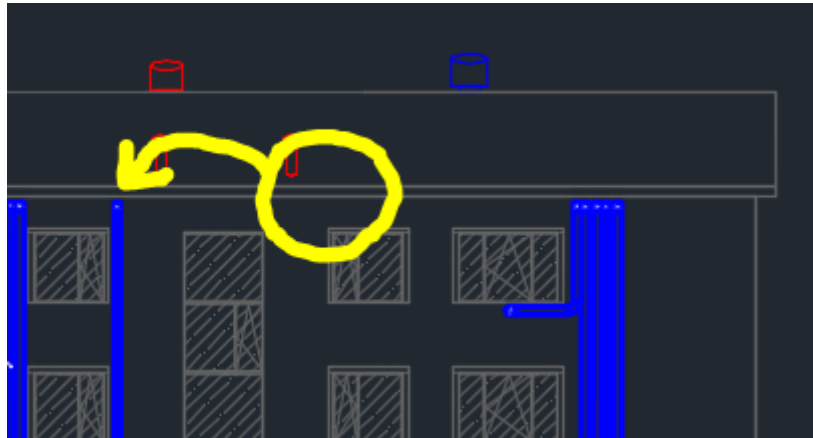
Lähteks olevast rekonstrueerimisprojektist tulid välja järgmised vead või tähelepanematused:

Pööningukorruse ventilatsiooniplaanis asus hoone fassaadil lisasoojustuse sees paiknev ventilatsioonikanal kohas, kus vaatel korrektselt kujutletuna kulgeb kanal läbi akna. Eelmainitud nihe võib tuleneda asjaolust, et pööningu plaanil on hoone pikkus 60,9 m, vaadetel 61,5 m ja I – V korruse ning keldri plaanil 61,2 meetrit, kuigi kõigi jooniste mõõtkava on 1:100.

Ventilatsioonikanalitega seotud järgmine vastuolu plaani ja vaate vahel põhines asukoha erinevuses. Plaanil on kujutatud ventilatsioonikanal hoone otsa ja trepikoja vahel, kuid vaatel on kanal paigutatud trepikojast hoone keskosa poole ning eeldatavasti saab alguse teisest jaotuskastist. Joonisel 4.7 ja joonisel 4.8 on valge joonega märgitud eeldatav algus teisest jaotuskastist ning kollasega kanali muutuv asukoht.



Joonis 4.7 Ventilatsioonikanali asukoha vastuolu pöningu plaanil



Joonis 4.8 Ventilatsioonikanali asukoha vastuolu vaatel põhjast

Kolmas märgatud vastuolu seisnes akende kinni müürimises. Lähteolukorras on hoone põhjaküljel 6 ning lõunaküljel 12 keldriakent. Rekonstrueerimisprojekti plaanil ning tuletõkkesektsioonide joonistel on põhjaküljel kolm ja lõunaküljel viis keldriaken kinni müüritud. Vaadatel aga on lõunaküljel kinni müüritud aknaid üks rohkem ehk kuus.

Lisaks rekonstrueerimisprojektile tuli välja ka vastuolu määruses „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“, kus tabelis 1 toodud korterelamus inimeste soojuseraldus sisaldab ainult ilmset soojust (3 W/m^2). On toodud välja, et varjatud soojusega arvestamiseks tuleb toodud väärtused jagada läbi teguriga 0,6. Selliselt talitsedes on kogusoojuseraldus $3 / 0,6 \cdot 28,3 = 141,5 \text{ W}$, millest ilmse soojuse väärtus $3 \cdot 28,3 = 84,9 \text{ W}$ ning varjatud soojus $141,5 - 84,9 = 56,6 \text{ W}$. Sama määruse § 6 lõike 12 kohaselt tuleb dünaamilises arvutuses kasutada inimese kogusoojuseraldusena 125 W , millest ilmne soojus on 85 W , mis teeb varjatud soojuse väärtuseks $125 - 85 = 40 \text{ W}$.

5 VÄLJAVÕTTED KOOSTATUD MUDELIST

5.1 Visualisatsioonid

Hoone rekonstrueerimisel muutub ainult hoone välisilme, hoone interjäär jääb puutumatuks. Seega on visualiseeritud ainult hoone eksterjöör, et ilmestada tekkivaid muutusi ning anda parem ettekujutus, kuidas rekonstrueerimine mõjutab linnapilti üldiselt. Visualiseeringute tegemiseks on mitu erinevat võimalust: Reviti keskkonnas, Reviti poolt pakutavas pilveteenuses või eksporditud mudeli põhjal erinevate visualiseerimistarkvaradega. Pilveteenuse ja Reviti sisese protsessi erinevuseks on koormus personaalarvutile, kuna pilveteenuse kasutamisel viiakse kogu ressursimahukas visualiseerimisprotsess läbi võimsate väliste serverite poolt. Visualiseerimistarkvarade kasutamise eeliseks on tõetruumad tulemused, kuid miinusteks tööprotsessi pikenedamine ja tarkvara hankimine. Käesolevas töös on kasutatud nii Reviti sisest kui pilveteenuse võimalust ning nagu näha joonisel 5.1 ja joonisel 5.2, siis tulemused on sarnased.



Joonis 5.1 Hoone lõunakülje visualisatsioon (Reviti siseselt)



Joonis 5.2 Visualisatsioon hoonest põhjasuunast (Reviti pilveteenus)

5.2 Mahutabelid

Mahutabeleid on Revitis võimalik automaatselt koostada, eeldusel, et piirete loomisel on korrektselt määratud kasutatavad materjalid ning nende kihtide paksused. Nagu varasemalt mainitud, siis käesolevas töös pöörati seinte loomisel materjalide sisestamisele erilist rõhku ning seega on automaatse mahutabeli koostamine lihtsustatud. Selleks tuleb tööriista ribalt valida *Material Takeoff* tööriist ning valida piirde tüüp, mille kohta mahutabelit koostada soovitakse, näiteks seinad. Seejärel valitakse väljad, mis koostatavas tabelis peavad olema kajastatud, käesoleval juhul on nendeks väljadeks: seina tüüp (*Type*), materjali nimetus (*Material: Name*), materjali pindala (*Material: Area*) ja materjali ruumala (*Material: Volume*). Materjalide sorteerimise seadeid on võimalik muuta *Sorting/Grouping* paanilt ja summeerimiseks tuleb *Formatting* paanilt valida väli,

mida soovitakse summeerida ning *Field formatting* alt määrata valik *Calculate totals*. Tulemuseks on joonisel 5.3 kujutatuga sarnanev tabel, kust on iga seinatüübi kohta võimalik välja lugeda erinevate materjalide kogused. Näiteks on seinu VS-1 projektis 23 ning soojustuse kogupindala on 1649 m² ja ruumala 247 m³. Samamoodi koostatakse ka põranda ja katuslae mahutabelid, mis on välja toodud käesoleva töö LISAS 2.

Seinte materjalide mahutabel			
A	B	C	D
Seina nimetus	Materjali nimetus	Materjali pindala	Materjali ruumala
VS-1			
VS-1	EPS 60	147.9 m ²	22.2 m ³
VS-1	EPS 60	31.0 m ²	4.6 m ³
VS-1	EPS 60	153.6 m ²	23.0 m ³
VS-1	EPS 60	7.0 m ²	1.0 m ³
VS-1	EPS 60	124.9 m ²	18.7 m ³
VS-1	EPS 60	25.7 m ²	3.8 m ³
VS-1	EPS 60	118.2 m ²	17.7 m ³
VS-1	EPS 60	23.6 m ²	3.5 m ³
VS-1	EPS 60	23.3 m ²	3.5 m ³
VS-1	EPS 60	158.3 m ²	23.5 m ³
VS-1	EPS 60	41.0 m ²	6.1 m ³
VS-1	EPS 60	152.2 m ²	22.6 m ³
VS-1	EPS 60	38.5 m ²	5.8 m ³
VS-1	EPS 60	124.9 m ²	18.7 m ³
VS-1	EPS 60	25.7 m ²	3.8 m ³
VS-1	EPS 60	118.2 m ²	17.7 m ³
VS-1	EPS 60	23.6 m ²	3.5 m ³
VS-1	EPS 60	124.9 m ²	18.7 m ³
VS-1	EPS 60	25.7 m ²	3.8 m ³
VS-1	EPS 60	118.2 m ²	17.7 m ³
VS-1	EPS 60	23.6 m ²	3.5 m ³
VS-1	EPS 60	19.2 m ²	2.9 m ³
EPS 60: 22		1648.9 m ²	246.9 m ³
Grand total: 22		1648.9 m ²	246.9 m ³

Joonis 5.3 Väljavõtte seinte mahutabelist

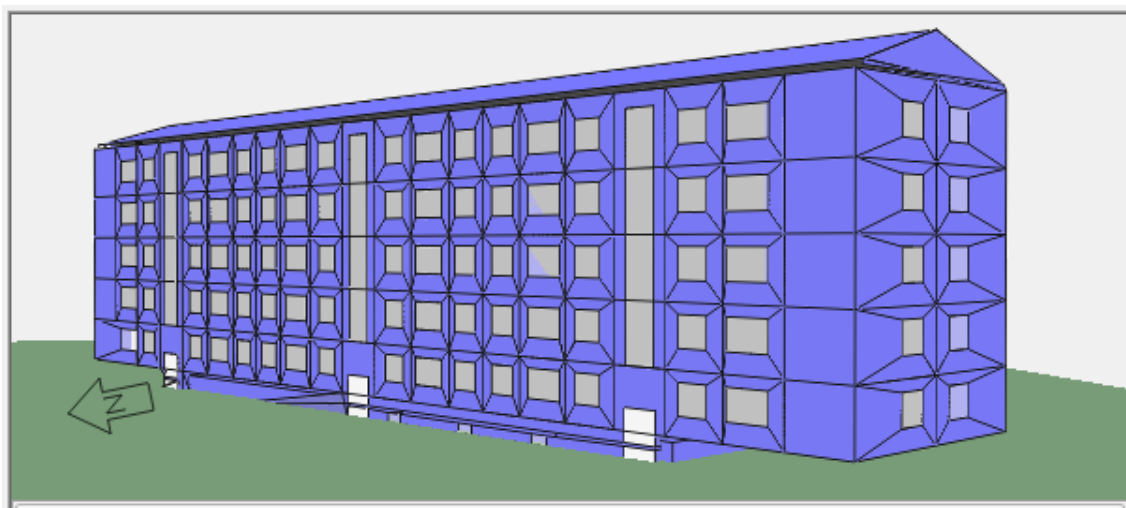
5.3 Energiasimulatsioonid

Üks käesoleva töö olulisemaid osasid on energiatõhusus ja selle saavutamise kontrollimine energiasimulatsioonide abil. Varasemalt on peatükis 4.3 kirjeldatud energiasimulatsioonide teostamiseks vajalikku eeltööd ning protsessi üldiselt, kuid

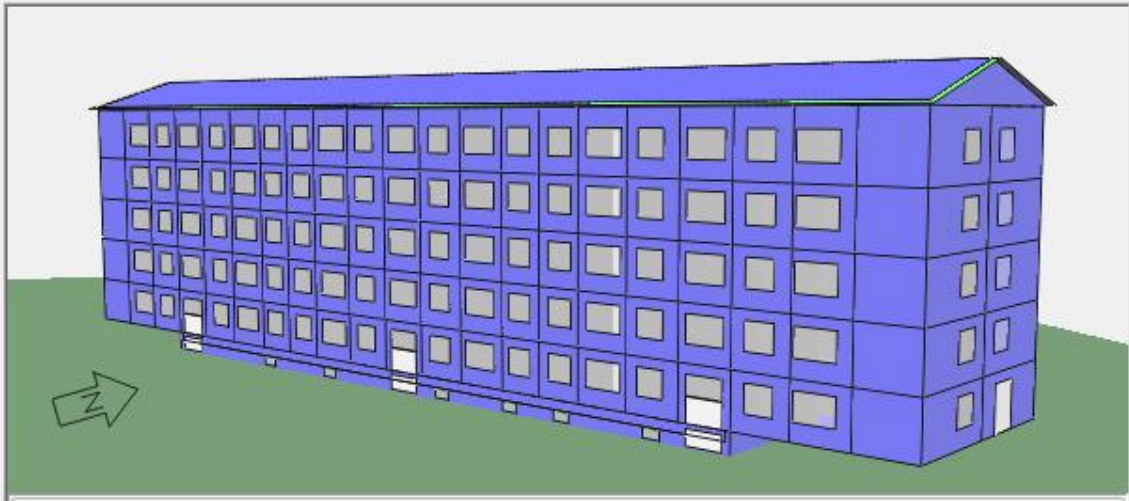
lähtudes kahe erineva simulatsioonide teostamise tarkvara erinevusest tuleb mudelite viimaseid korrekture ja täiustusi vaadata eraldiseisvatena.

5.3.1 Töövoogu kirjeldus mudeli viimisel IES-VE keskkonda

IES-VE-s energiasimulatsioonide teostamiseks on vajalik kogu Revit'is mudelile omistatud info IES-VE programmi üle kanda. Selleks kasutame eelnevalt mainitud gbXML failiformaati, kuid hoone importimisel IES-VE-sse ilmnesid erinevad komplikatsioonid. Nimelt kui mudel oli eksporditud Revit'ist kasutades „*Use Energy Settings*“ valikut, mis koostab hoone ruumid ja piirded analüütiliste pindade põhjal, siis oli impordi tulemus halb – esines palju pindade põhjendamatuid liigendusi (kujutatud joonisel 5.4) ning kohati esines aknaid siseseintes ning katusekonstruktsioonide dubleerimist madalamatel korrustel. Ekspordides mudeli kasutades „*Use Room/Space Volumes*“ valikut ning kasutades nii *Rooms* või *Spaces* ekspordimiskategooriat oli tulemuseks korrektne mudel (Joonis 5.5), kuid hoone piiretes kasutatud materjalid ning nende omadused ei kandunud õigesti üle. Seega otsustati kasutada korrektselt ülekantud mudelit ning lisada piirete omadused manuaalselt IES-VE tarkvaras.



Joonis 5.4 Ebakorrekse mudeli näidis IES-ist



Joonis 5.5 Korrekse analüütilise mudeli lõunakülje kujutis

Seejärel määrati imporditud mudelile võimalikult identsed kasutusgraafikud ning vabasoojuste hulgad nagu Revitis varasemalt sisestatud, kuna see info ei kandu edasi läbi gbXML formaadi. IES-VE võimaldab kasutusgraafikute hüppelist määramist nagu oleks korrektne „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“ määramise kohaselt, kuid tulemuste võrreldavuse mõttes on jäljendatud Reviti kasutusgraafikute lineaarseid üleminekuid. Samuti on vaja määrata nõutav õhuvooluhulk, jahutus- ning küttevajadus ja avatäidete omadused.

5.3.2 Green Building Studio keskkonna eripärad

Hoolimata sellest, et GBS on Autodeski loodud veebikeskkond, esineb siingi üleminekul komplikatsioone ja anomaaliaid. Näiteks kasutas GBS esimesel simulatsioonil Helsingist mõne kilomeetri kaugusel asuva ilmajaama andmeid, hoolimata sellest, et simuleeritava hoone asukohaks oli määratud Tartu. See arusaamatus kadus peale Revitis asukoha uuesti määramist. Samuti tekitavad simulatsiooni peatavaid tõrkeid materjalikihtide omadused. Näiteks liiga õhuke või suure tihedusega piire tekitab tarkvaras vastuolusid ning simulatsioon peatatakse. Seetõttu pole näiteks võimalik kujutada soojustamata plekkkatust tõeliste mõõtmetega. Lisaks ilmnes erinevusi ka seinte hulgas ja pindalas. GBS keskkonnas ilmusid seinte loetellu „fantomseinad“ ehk seinad, mida mudelis kujutletud polnud, kuid välispiirete esitatud üldpindala oli korrektne. Vea põhjusena tuvastati avatäidete olemasolu ehk akende ja uste eemaldamise järel fantoomseinad kadusid, kuid see pole sobiv lahendus ning kuna välispiirete pindala oli korrektne, siis

fantomseinte olemasolu seinte tabelis ignoreeriti. Samuti väärrib mainimist asjaolu, et GBS mõõdab seinte pindala Revitist erinevalt. Nimelt arvestab GBS kogu seina pindala, kaasates sinna ka avad, mil Revit arvestab avad seina pinnast välja [41].

Kokkuvõtvalt teostati järgmised simulatsioonid, (edaspidi kasutatavad nimetused variandi lõpus sulgudes) mille sisendid ja tulemid on kujutatud tabelis 2:

- teoreetiliste andmete põhjal koostatud olemasoleva olukorra mudel IES-VE-s (Tiigi_EestiTRY_ol.olev).
- rekonstrueerimisprojekti baasil koostatud ning korrigeeritud mudel IES-VE-s (Tiigi_EestiTRY).
- rekonstrueerimisprojekti baasil koostatud ning parendatud mudel IES-VE-s (Tiigi_EestiTRY_parendatud).
- rekonstrueerimisprojekti baasil koostatud ning korrigeeritud mudel arvestades Reviti võimalustega ja kasutades Reviti kliimafaili IES-VE-s (Tiigi_Revit_kliima).
- rekonstrueerimisprojekti baasil koostatud ning korrigeeritud mudel GBS-is (Tiigi_GBS).

Kuna kogu simulatsioonide protsess hõlmab endas suurt hulka varieeruvaid tegureid, siis on vajalik välja tuua olulised asjad, mida sisendite ja tulemuste puhul silmas pidada. Esiteks põhinevad GBS-i poolt esitatavad andmed USA-s kasutusel oleval ASHRAE standardil, sellest tulenevalt erinevad energia ja vee tarbimine ning see mõjutab omakorda oluliselt lõpptulemust. Näiteks aastasest kütte vajadusest ($1\,395\,339\text{ MJ} = 387\,594\text{ kWh}$) 59% kasutatakse tarbevee soojendamiseks ehk $387\,594 \cdot 59\% = 228\,681\text{ kWh}$, Eestis kehtiva määruse kohaselt on sooja tarbevee netoenergiavajadus korterelamus $30\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, (mis on ümardatud väärtus, kui leida netoenergiavajadus sooja vee erikulust, siis tegelik väärtus on 30,33) seda väärtust kõetava pinnaga korrutades, saame tarbevee soojendamiseks aastas kuluvaks energiahulgaks $30,33 \cdot 2664,7 = 80820,4\text{ kWh/a}$. Eestis kehtivate nõuete järgi energiamärgise arvutamiseks kasutati GBS-i poolt väljastatud andmetest ruumide soojendamiseks kulutatud kütteenergiat ($387\,594 \cdot 41\% = 158\,914\text{ kWh}$) ja ruumide jahutamiseks kulutatud energiat ($217\,022 \cdot 6,9\% = 14\,975\text{ kWh}$). Päikesekiirgusest tulenevat vabasoojust GBS ei väljasta, seega kasutame Tiigi_Revit_kliima simulatsiooni tulemust

väärtust (124 735 kWh/a). Ülejäänud väärtused on arvatud määruse #58 § 6 kohaselt. Näiteks inimeste, valgustuse ja seadmete aastane soojuseraldus arvutatakse järgmise valemiga [40]:

$$Q = kP \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7 \cdot 1000} \cdot 8760$$

kus k on kasutusaste;

P on soojuseraldus W/m^2 ;

τ_d on hoone kasutustundide arv ööpäevas h ;

τ_w on hoone kasutuspäevade arv nädalas d .

Enne energiatõhususe leidmist tuleb arvutada soojuserikaod ning sisestada ventilatsiooni-, kütte-, jahutus- ning olemasolul taastuenergia süsteemide omadused. Lisaks leitakse soojuskadu, milleks sisestatakse piirete ja avatäidete soojuslikud parameetrid ning pindalad, mille järgi arvutatakse läbi piirdetarindite tekkivad soojuskaod valemiga:

$$U_i \cdot A_i = H_{juhtivus}$$

kus U_i on piirdetarindi soojusjuhtivustegur;

A_i on piirdetarindi pindala.

Seejärel saadud tulemused liidetakse ning saadakse summaarne soojuskadu läbi piirdetarindite (käsitledes projekti kui „rekonstrueerimist“, mitte „olulist rekonstrueerimist“). Järgmisena leitakse soojuskaod läbi külmasildade valemiga [40]:

$$Y_j \cdot l_j = H_{külmasild}$$

kus Y_j on joonkülmasilla soojusläbivus W/mK ;

l_j on joonkülmasilla pikkus m .

Infiltratsiooni õhuvooluhulk määratakse valemiga:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \cdot A_{vp} \quad m^3/s$$

kus q_{50} on hoone õhulekkearvu baasväärtus $m^3/(h \cdot m^2)$ ning olmasoleva korterelamu rekonstrueerimisel on selleks väärtuseks $6 m^3/(h \cdot m^2)$ [40];

A_{vp} on välispiirete pindala m^2 ;

x on tegur, mis on ühekorruselisele hoonele 35, kahekorruselisele hoonele 24 ning kolme- ja neljakorruselisele hoonele 20, viie- ja enamakorruselisele hoonele 15, kusjuures korruse kõrgusena on arvestatud 3 meetrit ehk antud juhul $x = 15$;

3600 on tegur, mis teisendab õhuvooluhulga m^3/h ühikust m^3/s ühikuks.

Soojuskaod infiltratsioonist arvutatakse järgmise valemiga [42]:

$$H_{\text{õhuleke}} = q_i \cdot C \cdot \rho \quad \text{W/K}$$

kus q_i on infiltratsiooni õhuvooluhulk m^3/s ;

C on õhu erisoojus 1005 J/kgK ;

ρ on õhu tihedus $1,2 \text{ kg/m}^3$.

Seejärel liidetakse kõik leitud soojuskaod kokku saades välispiirete summaarse soojuserikao, jagades see välispiirete pindalaga on tulemuseks välispiirete keskmine soojuslähivus. Summaarse soojuserikao jagamisel kōetava pinnaga saadakse välispiirete summaarne soojuserikadu kōetava pinna kohta.

Nii talitades on Tiigi_GBS andmete põhjal tulemuseks $ETA = 168 \text{ kWh}/(m^2a)$, võrdluseks GBS-i poolt arvatud EUI (Energy Use Intensity) = $662 \text{ MJ} / m^2 / \text{year} = 183 \text{ kWh}/(m^2a)$ ning kasutades Reviti kliimaandmeid IES-VE simulatsioonis oli saadud tulemuste põhjal arvatud $ETA = 155 \text{ kWh}/(m^2a)$.

IES-VE tarkvaraga tehtud simulatsioonide ETA arvutamine lähtub samast põhimõttest, vastavalt tabelis 2 toodud väärtustele sisestatakse piirdetarindite U -arvud, muudetakse süsteemide omadusi ja akende g -väärtusi või päikesetegurit ehk klaasi päikeseenergia läbilaskvust. Vabasoojused ei sõltu tehtavast simulatsioonist ning on lähivalt samade väärtustega.

Kõikide simulatsioonide põhjal koostatud energiaarvutuse lähteandmed ja tulemused on kujutatud LISAS 3.

Variant	Sisend ²	Ruumide küte (kWh)	Vent.õhu soojend. (kWh)	Ruumide jahutus (kWh)	Päike (kWh)	ETA (kWh/m ² a)
Tiigi_EestiTRY_ololev	ST = 0%; SFP = 0; Ventilatsioon ja küte on ideaalsed 0,5 L/(s m ²) (v.a. kelder ja katusealne - loomulik ventilatsioon); SP = VT; Ruumi jahutus; VS-1 U = 0,78; VS-2 U = 0,82; KL-1 U = 1,41; pörand U = 0,43; aknad U = 1,6 g = 0,7; Sisekoormused määrusest #58; Infil. = 0,18 1/h	426680,6	-	11751,9	163069	242
Tiigi_EestiTRY	ST = 85%; SFP = 1,6; Ventilatsioon ja küte on ideaalsed 0,5 L/(s m ²) (v.a. kelder ja katusealne - loomulik ventilatsioon); SP = 18 (jahutuseta); Ruumi jahutus; VS-1 U = 0,198; VS-2 U = 0,22; KL- 1 U = 0,093; pörand U = 0,43; aknad U = 1,0 g = 0,7; Sisekoormused määrusest #58; Infil. = 0,18 1/h	85208,8	3784,5	34089,1	163115	150
Tiigi_EestiTRY_parendatud	ST = 85%; SFP = 1,6; Ventilatsioon ja küte on ideaalsed 0,5 L/(s m ²) (v.a. kelder ja katusealne - loomulik ventilatsioon); SP = 18 (jahutuseta); Ruumi jahutus; VS-1 U = 0,12; VS-2 U = 0,12; pörand U = 0,10; KL-1 U = 0,093; aknad U = 0,8 g = 0,4; Sisekoormused määrusest #58; Infil. = 0,18 1/h	77788,9	3784,4	7709,5	80813	139
Tiigi_Revit_kliima	ST = 0%; SFP = 1,6; Ventilatsioon ja küte on ideaalsed 0,5 L/(s m ²) (v.a. kelder ja katusealne - loomulik ventilatsioon); SP = 18 (jahutuseta); Ruumi jahutus; VS-1 U = 0,198; VS-2 U = 0,22; pörand U = 0,43; KL-1 U = 0,093; aknad U = 1,0 g = 0,7; Sisekoormused määrusest #58; Infil. = 0,18 1/h	107541,8	-	30642,3	124735	155
Tiigi_GBS	ST = 0%; SFP = 1,6; Ventilatsioon ja küte on ideaalsed 0,5 L/(s m ²) (v.a. kelder ja katusealne - loomulik ventilatsioon); SP = 18 (jahutuseta); Ruumi jahutus; VS-1 U = 0,198; VS-2 U = 0,22; pörand U = 0,43; KL- 1 U = 0,093; aknad U = 1,0 g = 0,7; Sisekoormused vastavalt määrusele #58; Infil. = 0,18 1/h	158914	-	14974,5	Andmed puuduvad	168

Tabel 2 Simulatsioonide sisendid ja tulemid

² ST – soojustagastus; SFP – (*Specific Fan Power*) ventilaatori elektriline erivõimsus (kW/(m³/s)); SP – sissepuhke temp (°C); VT –väljatõmme; U – soojusjuhtivustegur (kWh/m²/a); Sisekoormused inimestest, seadmetest ja valgustusest kõigil juhtudel samad.

Arvestades Reviti ja GBS-i võimaluste piiritletust võib eeldada, et IES-VE programmiga teostatud simulatsioonide tulemused on täpsemad ning sellest lähtuvalt kasutatakse neid ka päikesepaneelide vajaduse arvutamisel.

5.4 Päikesepaneelide vajadus ja paigutus

Väikseim energiatõhususarv arvutati Tiigi_EestiTRY_parendatud simulatsiooni andmete põhjal, selleks oli 139 kWh/(m²a), et jõuda eesmärgiks seatud 90 kWh/(m²a), tuleb ETA väärtust vähendada 49 kWh/(m²a) võrra. ETA vähendamiseks on kaks peamist võimalust, vähendada kaugkütte ja elektri tarbimist ning suurendada taastuenergia kasutamist. Kuna kütte ja elektri tarbimine on piirete parendamisega viidud optimaalsele tasandile, millest edaspidised parendused muutuvad järjest kallimaks ning sellest tulenev energiatõhusus üha väiksemaks, siis jääb üle vaid mõelda taastuenergia tootmise peale. Lokaalseks taastuenergia tootmiseks ja kasutamiseks on peamised võimalused:

- päikeseenergia kasutamine elektri tootmiseks kohalikuks tarbimiseks ning võrku eksportimiseks.
- päikeseenergia kasutamine tarbevee soojendamiseks.

Tuulegeneraatorite ja hüdroelektrijaamade kasutamine on hoone asukoha tõttu võimatud või ebaefektiivsed ning on seega välistatud. Päikeseenergia kasutamisel tuleb silmas pida, et lähtuvalt hoone kasutusgraafikust ning päikeseenergia tootlikkusaegadest, pole mõistlik kasutada päikesepaneeli sooja vee tootmiseks, kuna enamus tootlikkusest jääb keskpäeva, mil kasutusgraafiku kohaselt on inimeste arv hoones minimaalne. Seega on kõige efektiivsem kasutada päikesepaneeli elektri tootmiseks. Arvutustes on arvestatud, et kogu toodetud elekter eksporditakse võrku.

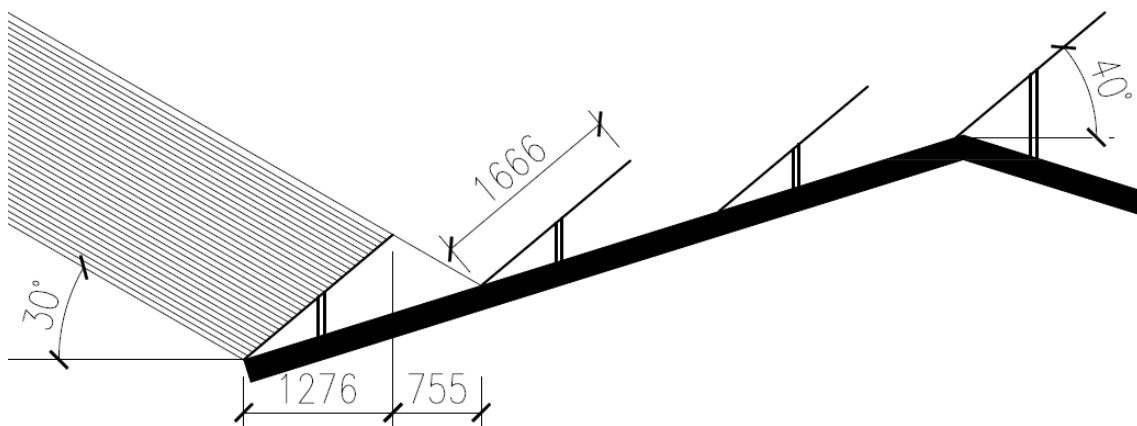
Soovitud ETA saavutamiseks tuleb eksportida 65 000 kWh aastas. Sellise tootlikkuse saavutamiseks on erinevate paigutus- ja kalkulasioonimeetodite tõttu neli erinevat võimalust. Esimene paigutusvõimalus on kinnitada päikesepaneelid katusele, paralleelselt katusekattega. Selline paigutus tähendab, et vähese ventilatsiooni tõttu paneeli efektiivsus väheneb, ning samuti väheneb toodetava energia hulk kuna hoone paikneb lõunasuuna suhtes 33 kraadise nurga all ja katusekaldest tulev nurk horisondi suhtes on 17 kraadi, mis pole optimaalsed. Tõstes paneelid katuse pinnalt üles optimaalse

nurga alla (~40°) ning suunates need lõunasse, saavutatakse suurim tootlikkus, kuid paneelide paigutamine nõuab rohkem ruumi, kuna paneelid hakkavad üksteist varjutama. Lisaks tekivad erinevad tulemused, kasutades erinevaid PVGIS süsteeme (Photovoltaic Geographical Information System) ehk päikesepaneelide tootlikkuse arvutamiseks loodud veebikeskkondi. Üks kasutatud keskkondi on esimene PVGIS ja teine uus PVGIS 5 beta. Saadud tulemused on esitatud tabelis 3 ja LISAS 4 [43]–[45]:

Kasutatud keskkond	Paneeli kalle (°)	Paneeli nurk (°)	Kinnitus	Võimsus (kWp) ³
PVGIS	17	33	katusel	75,5
PVGIS	39	-1	eraldi seisev	66,8
PVGIS 5 beta	17	33	katusel	73,3
PVGIS 5 beta	41	0	eraldi seisev	65,4

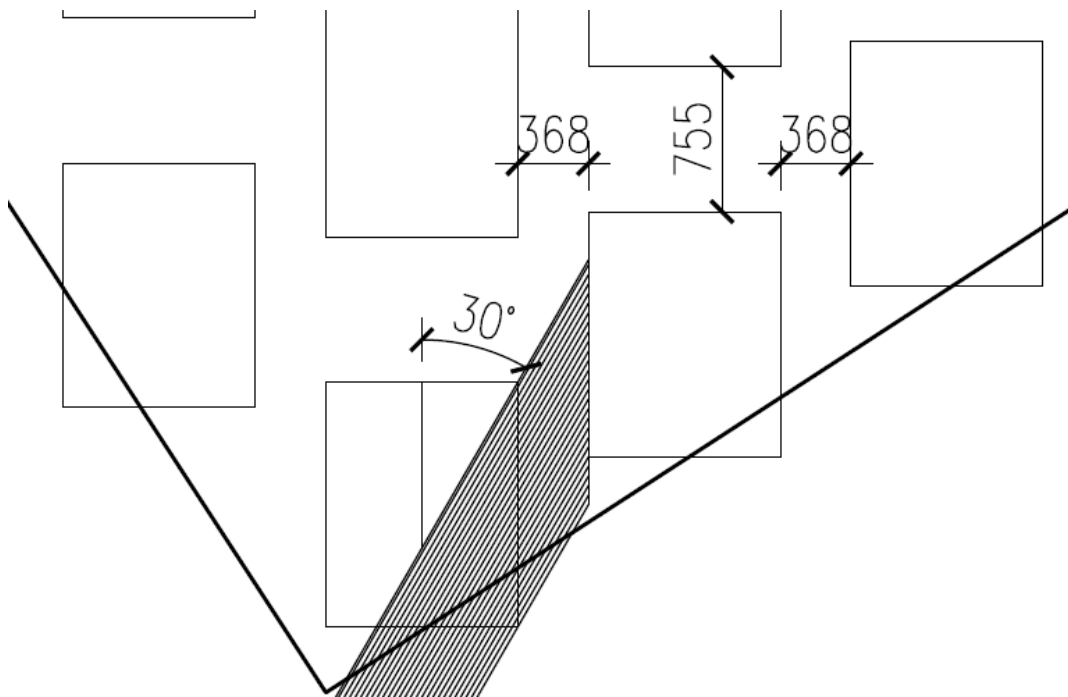
Tabel 3 Paneelide paigutamise variandid

Paneele mõõtmetega 1665 x 999 mm mahub katusekattega paralleelselt paigutades katusele ligikaudu 236, kui lähtuda optimaalse nurga all paigutades paigutuskeemidest joonis 5.6 ja joonis 5.7, siis mahub katusele kõigest 147 paneeli. Paigutamisel on skeemide koostamisel lähtutud põhimõttest, et paneelid hakkavad teineteist varjutama päikese langemisel alla 30 kraadi horisondi suhtes ning päikese liikumisel üle 30 kraadise nurga alla ida või lääne suunas.



Joonis 5.6 Eraldiseisvate paneelide paigutuse lõige

³ Indeks p näitab, et tegu on *peak*- ehk tippvõimsusega.



Joonis 5.7 Eraldiseisvate paneelide paigutuse plaan

Kui kasutada Eesti turul teadaolevalt kõige võimsamat päikesepaneeli WINAICO WSP-315M6, mille nimivõimsuseks on 315 Wp, siis süsteemi vajaliku võimsuse saavutamiseks tuleb erinevate variantide kohaselt kasutada vastavalt $75\,500 / 315 = 240$, $66\,800 / 315 = 213$, $73\,300 / 315 = 233$ ja $65\,400 / 315 = 208$ paneeli. Kuna 213 ja 208 paneeli on piisavad eraldiseisvalt paigutades ning eraldiseisvalt on võimalik paigutada vaid 147 paneeli, siis need võimalused langevad välja. PVGIS süsteemi tulemuste kohaselt on vajalik 240 paneeli, kuna Taastuenergia OÜ kodulehel on juhendatud kasutada just PVGIS süsteemi ja väidetud, et tulemus on täpne, siis võib pidada tulemust usaldusväärseks. Samas PVGIS 5 beta, mis on küll arendusjärgus ning ei kasuta enam „PVGIS-classic“ andmebaasi, mida Taastuenergia OÜ kasutada soovitab ja mis hõlmab endas just Põhja-Euroopa päikesekiirguse andmeid, võib tulemust pidada üsna usaldusväärseks, sest tegu on sama töögrupi poolt loodud täiustatud versiooniga. Seega võib kasutada tulemuste vahemikku 233 – 240 jäävat maksimaalset katusele mahtuvat paneelide hulka 236 kasutada [46], [47].

Selleks, et lähtematerjaliks olev rekonstrueerimisprojekt täidaks SEC energiatõhususe nõude, peab ETA väärtust parandama 60 ühiku võrra, mis tähendab 80 000 kWh/a suurus

eksporditava elektri hulka, mille tootmiseks vajaliku süsteemi minimaalne võimsus on 90,2 kWp. Paneele nimivõimsusega 315 Wp kulub sellise süsteemi loomiseks $90\,200 / 315 = 287$, millest $287 - 236 = 51$ paneeli tuleb paigutada hoone fassaadile või maapinnale.

Kokkuvõtvalt nõuded, mille täitmisel saavutatakse soovitud ETA, ilma päikesepaneelide maapinnale või fassaadile paigutamata:

- VS-1 $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ (soojustusmaterjali paksus 200 mm ja $\lambda = 0,029 \text{ W/mK}$)
- VS-2 $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ (soojustusmaterjali paksus 200 mm ja $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$)
- KL-1 $U = 0,093 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ei vaja muutmist)
- aknad $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 0,4$
- ventilatsiooni soojustagastus 85%; ventilaatori elektriline erivõimsus $1,6 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$; ventilatsioon ja küte on ideaalsed $0,5 \text{ L}/(\text{s m}^2)$; sissepuhke temperatuur 18°C . (ei vaja muutmist)

Parendatud olukorra simulatsioonis on 1.korruse põrandat kajastatud U väärtusega $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, kuid kuna põrand on ümbritsetud soojustatu välisseinaga, mis energiaanalüüsis mõju ei avalda, siis reaalses olukorras omab põranda soojustamine väheolulist rolli.

6 TULEMUSED

Lõputöö tulemusena koostati Tartus asuva Tiigi 8 korterelamu rekonstrueerimisprojekti põhjal COBIM nõuetele vastavalt ehitusinfo mudel, mille põhjal teostati viis erinevat energiasimulatsiooni, koostati rekonstrueerimisprojekti tulemust ilmestavaid visualiseeringuid ning toodi välja mahutabelid, milles on toodud mudelis kujutatud ehitusmaterjalide mahud. Mudeli põhjal on võimalik luua kogu hoone eluea jooksul vajaminevaid jooniseid ning mudelisse sisestatud infot täiendades või muutes hallata seda kui kompleksset andmebaasi. Vajadusel saab mudelit kasutada ka uute visualiseeringute või simulatsioonide teostamiseks.

Töö käigus võrreldi Autodesk Green Building Studio ja IES-VE võimalusi ja tulemusi ning tutvuti põhjalikult mudeli gbXML formaati üleviimise iseärasuste, vajalike muudatuste ja probleemidega. Selgus, et GBS keskkonna ja Reviti aluseks olev ASHRAE standard põhjustab erinevusi tulemustes ning seega pole hetkel Eesti tingimustes hõlpsasti kasutatav.

Autori jaoks oli suurimaks väljakutseks ja kogemuseks hoone mudeli viimine olukorda, mille põhjal eksporditud gbXML fail on kõige paremini kasutatav. Selgus, et formaadi eripäradest tulenevalt peab esialgset mudelit oluliselt muutma ning hoolimata kõigest ei pruugi kogu vajalik infot komplektse failina üle kanduda.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö käigus loodi Tiigi 8 korterelamu ehitusinfo mudeli ehk BIM ja selle põhjal koostati visualisatsioone ja mahutabeleid ning teostati simulatsioone eesmärgiga leida SEC projekti nõuetele sobiv lahendus. Mudeli koostamiseks vajalikud andmed saadi Eesti Soojustusprojekt OÜ poolt 2016. aasta alguses koostatud rekonstrueerimisprojektist.

Esimeses peatükis kirjeldatakse käesoleva töö koostamise metoodikat, ning tuuakse välja, et ilma simulatsioone teostamata on väga keeruline hinnata rekonstrueerimisprojekti mõjusid energiatarbele, mis toob välja BIM tehnoloogia vajaduse. Tänu BIM tehnoloogiale on võimalik luua ehitisest mudel, mille piirdetarinditele vastavaid väärtusi omistades on võimalik teostada energiasimulatsioone. Teises peatükis on toodud välja kirjanduse ülevaade, kus on lähemalt räägitud nõukogudeaegsete korterelamute lahendustest ning nende rekonstrueerimisest ja BIM-i kasutusest tänapäeva ehitusmaastikul. Töö kolmas peatükk hõlmab endas olemasoleva olukorra kirjeldust ning lähtematerjaliks oleva rekonstrueerimisprojekti ülevaadet. Neljas peatükk on modelleerimisprotsessi kirjeldus ja selle käigus tekkinud tõrgete ja vastuolude loetelu. Põhjalikumalt on juttu gbXML formaadi omapäradest ning vajalikest muudatustest mudeli eksportimiseks sobivaks tegemiseks. Töö viiendas peatükis antakse ülevaade mudeli põhjal tehtud väljavõtetest ja simulatsioonideks kasutatud tarkvarade erinevustest ning headest ja halbade omadustest. Lisaks tuuakse välja simulatsioonide tulemused ja nende võrdlus ning päikesepaneelide vajaduse arvutus ning paigutus. Kuues peatükk kajastab kokkuvõtvalt töö tulemusi.

Kokkuvõtteks võib öelda, et püstitatud eesmärk täideti, SEC projekti nõuetele vastav energiatõhusus saavutati, kuigi algset rekonstrueerimisprojekti muutmata tuleb selleks paigutada päikesepaneeli lisaks katusele paigutada ka hoone fassaadile või krundile. Parendades rekonstrueerimisprojekti piirdetarindeid vastavalt peatükis 5.3 toodud väärtustele on võimalik saavutada soovitud ETA paigutades päikesepaneelid ainult hoone katuse lõunapoolsele küljele.

KIRJANDUS

- [1] Eurostat, “Focus on European cities 14,” 2014.
- [2] J. Perez, “Horizon 2020 SmartEnCity,” pp. 1–16, 2015.
- [3] M. Kikas, “Projekti ‘ Nutikas linnaosa (SmartEnCity)’ kortermajade renoveerimistöõde projekteerimise lähteülesanne,” 2017.
- [4] M. Mets, “Kas Eesti ehitussektor on liginullenergia hoonete ehituseks valmis?,” 2014. [WWW]. Address: <http://www.ehitusuudised.ee/uudised/2014/09/02/liginullenergia-ehituses-peagi-kohustuslik>. [Vaadatud: 10-aprill-2017].
- [5] “Tark Tartu – Nutikalt keskkonnasõbralikuks.” [WWW]. Address: <http://tarktartu.ee/>. [Vaadatud: 10-aprill-2017].
- [6] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2nd ed. 2012.
- [7] J. Kurnitski, M. Thalfeldt, A. Uutar, T. Kalamees, H. Voll, and A. Rosin, *Madal- ja liginullenergiahooned*. Riigi Kinnisvara AS, Tallinna Tehnikaülikool, 2013.
- [8] E. Seinre, “Hoone hea kliima tagamine mudelite abil Täna sed teemad.”
- [9] “BESTEST Base Case 600.” [WWW]. Address: <http://janhensen.nl/teaching/7ly3m0-building-performance-and-energy-systems-simulation/#WeekOneSim>. [Vaadatud: 11-aprill-2017].
- [10] “Autodesk AutoCAD.” [WWW]. Address: <https://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>. [Vaadatud: 11-aprill-2017].
- [11] “Autodesk Revit.” [WWW]. Address: https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Revit. [Vaadatud: 11-aprill-2017].
- [12] “Green Building XML.” [WWW]. Address: https://en.wikipedia.org/wiki/Green_Building_XML. [Vaadatud: 11-aprill-2017].
- [13] “Cortona3D.” [WWW]. Address: <http://www.cortona3d.com/>. [Vaadatud: 11-aprill-2017].
- [14] “IESVE.” [WWW]. Address: <http://www.iesve.com/>. [Vaadatud: 11-aprill-2017].
- [15] L. Hosia, U. Kala, and A. Kana, “Nõukogudeaegsete korrusmajade rekonstrueerimise andmepank ja seisukorra väljaselgitamine,” Helsingi, 1999.
- [16] O. Seppänen and M. Seppänen, *Hoone sisekliima kujundamine*. 1998.
- [17] “Sihtasutus KredEx - Toetuse tingimused.” [WWW]. Address: <http://kredex.ee/korteriuhistu/korteriuhistu-toetused/rekonstrueerimise-toetus/toetuse-tingimused/>. [Vaadatud: 05-mai-2017].
- [18] Termox AS, “Hoone energiasäästu võimaluste tehniline analüüs. Tüüpprojekt 1-317/9,” Tartu, 2000.

- [19] L. Leet, "Tartu hruštšovkad viiakse A-energiaklassi - Kinnisvarauudised," 26-Aprill-2016.
- [20] H. Rudi, "Mustamäel katsetatakse paneelmajade päästeplaani - Eesti uudised - Postimees.ee," 16-aprill-2017.
- [21] KPMG International, "Building a technology advantage. Global Construction Survey 2016," 2016.
- [22] S. C. C. R. and A. R. Philipp Gerbert, "Shaping the Future of Construction A Breakthrough in Mindset and Technology," *World Econ. Forum*, no. Mai, pp. 1–64, 2016.
- [23] S. Ader, "BIM ja ehitushange," 2017.
- [24] A. Väli, "Telia büroohoone projekteerimine ja BIM võimalused ehitusettevõttele Telia büroohoone." 2017.
- [25] "Maaameti kaardirakendus." [WWW]. Aadress: [http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis?app_id=UU82&user_id=at&punkt=658907,6473798&zoom=63&tooltip=Tiigi tn 8%2C Tartu linn%2C Tartu maakond](http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis?app_id=UU82&user_id=at&punkt=658907,6473798&zoom=63&tooltip=Tiigi%20Tartu%20linn%20Tartu%20maakond). [Vaadatud: 31-märts-2017].
- [26] "Ehitisregister." [WWW]. Aadress: <https://www.ehr.ee/app/esileht?1>. [Vaadatud: 17-aprill-2017].
- [27] OÜ Invento, "Hoone energiamärgis," pp. 0–2.
- [28] "SmartEnCity projekt." [WWW]. Aadress: <http://tarktartu.ee/avaleht/>. [Vaadatud: 20-aprill-2017].
- [29] L. Suu, "Korterelamute rekonstrueerimise toetus," 2017.
- [30] "EPS 120 Perimeeter | Ecostock." [WWW]. Aadress: <http://ecostock.ee/tooted/eps-120/>. [Vaadatud: 02-mai-2017].
- [31] "AS Reideni plaat - EPS120." [WWW]. Aadress: http://www.reideniplaat.ee/index.php?option=com_content&task=view&id=103&Itemid=149. [Vaadatud: 02-mai-2017].
- [32] "Puistevilla soojustegur." [WWW]. Aadress: <http://puistevill.ee/puistevilla-soojustegur>. [Vaadatud: 02-mai-2017].
- [33] "ISOVER InsulSafe." [WWW]. Aadress: <http://www.isover.ee/tooted/isover-insulsafe>. [Vaadatud: 02-mai-2017].
- [34] "Fläkt Woods - eQ Prime." [WWW]. Aadress: <http://www.flaktwoods.com/products/air-treatment/air-handling-unit-compact/eq-prime/>. [Vaadatud: 23-mai-2017].
- [35] IES Ltd, "BIM + Building Performance Analysis Using Revit 2014 and IES Virtual Environment International Sustainability Consulting Developers of the IES Virtual Environment," 2014.
- [36] Riigi Kinnisvara AS, "RKAS mudelprojekteerimise juhend, lisa 3 Simulatsioonarvutused hoone sisekliima ja energiavajaduse kirjeldamiseks," p. 20100322, 2013.

- [37] Eesti standardikeskus, “MUDELPROJEKTEERIMISE ÜLDJUHENDID 2012 Osa 14 : Infomodelite kasutamine ehitusjärelvalves,” 2012.
- [38] “Exhaust air diffuser EYMA-2 and air intake device DYMA-1.”
- [39] “About gbXML Green Building XML Schema.” [WWW]. Address: http://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML. [Vaadatud: 03-mai-2017].
- [40] Riigi Teataja, “Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika.” [WWW]. Address: <https://www.riigiteataja.ee/akt/109062015021>. [Vaadatud: 04-mai-2017].
- [41] Autodesk Knowledge Network, “Surface areas in Revit file and Green Building Studio project differ | Ecotect Analysis.” [WWW]. Address: <https://knowledge.autodesk.com/support/ecotect-analysis/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Surface-areas-in-Revit-file-and-Green-Building-Studio-project-differ.html>. [Vaadatud: 24-mai-2017].
- [42] J. Rohusaar *et al.*, *Ehituskonstruktori käsiraamat*. 2014.
- [43] “Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamine | Taastuenergia OÜ.” [WWW]. Address: <http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneelide-tootlikkuse-arvutamine-pvgis.html>. [Vaadatud: 19-mai-2017].
- [44] European Commission, “Performance of Grid-connected PV,” p. 2017, 2017.
- [45] “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” [WWW]. Address: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. [Vaadatud: 19-mai-2017].
- [46] European Commission, “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).” [WWW]. Address: <http://re.jrc.ec.europa.eu/PVGIS5-beta.html>. [Vaadatud: 22-mai-2017].
- [47] WINAICO, “WINAICO WSP-M6 PERC.” .

LISAD

LISA 1 Piirete U-arvude arvutustabelid

Olemasoleva välisseina VS-1 U-arvu arvutustabel

VS-1

välis-temp sise-temp

		Soojusjuhtivus						Pmax (Pa)	Sd summa
						-10	20		
Tarindi osa	kihi paksus	λ W/(mK)	R	%R	Δt				
Välispind			0,04	3,13	0,94	-9,06		260	
Silikaat	120	0,95	0,13	9,89	2,97	-6,09		282	0
Klaasvill/õhkvahe	60	0,1143	0,52	41,11	12,33	6,24		366	1800
Silikaat	380	0,95	0,40	31,33	9,40	15,64		952	1890
Kipskattetekrohv	10	0,18	0,06	4,35	1,31	16,94		1 778	7590
Dispersioonvärv	0,1	1	0,00	0,01	0,00	16,95		1 931	7740,00
	0	1	0,00	0,00	0,00	16,95		1 932	7820,00
	0	1	0,00	0,00	0,00	16,95		1 932	7820,00
Sisepind			0,13	10,18	3,05	20,00		1 932	7820,00
		R(m ² K)/W	1,28	100,00				1169,1	2 338
		U W/m ² K	0,783143					7820	
						kontroll	siseõhk		
								veeauru osarõhud sees ja väljas	
								2 338	260
								50	86
								1169,09	223,5
									945,6

Olemasoleva keldri seinä VS-2 U-arvu arvutustabel

VS-2

välis temp sisetemp

Soojusjuhtivus

-10

20

Tarindi osa	kihi paksus	λ W/(mK)	R	%R	Δt	-10
Välispind			0,04	3,42	1,03	-8,97
	0	1	0,00	0,00	0,00	-8,97
	0	1	0,00	0,00	0,00	-8,97
	0	1	0,00	0,00	0,00	-8,97
Paekivi vund.	600	0,6	1,00	85,47	25,64	16,67
	0	1	0,00	0,00	0,00	16,67
	0	1	0,00	0,00	0,00	16,67
	0	1	0,00	0,00	0,00	16,67
Sisepind			0,13	11,11	3,33	20,00
		R(m ² K)/W	1,17	100,00		kontroll
		U W/m ² K	0,854701			

välisõhk
välispind
kihtide
vahel
sisepind
siseõhk

μ	Sd	Pteg (Pa)	Pmax (Pa)	Sd summa
		223,49	260	
			285	0
15	0		285	0
1,5	0		285	0
15	0		285	0
15	9000		1 898	9000,00
800	0		1 898	9000,00
0	0		1 898	9000,00
0	0		1 898	9000,00
		1169,1	2 338	

9000
veeauuru osarõhud sees ja väljas

2 338	260	
50	86	
1169,09	223,5	945,6

Olemasoleva katuslae KL-1 U-arvu arvutustabel

KL-1

välis temp sisetemp

Soojusjuhtivus

-10

20

Tarindi osa	kihi paksus	λ W/(mK)	R	%R	Δt	-10
Välispind			0,04	5,65	1,70	-8,30
	0	1	0,00	0,00	0,00	-8,30
Räbu	100	0,348	0,29	40,62	12,19	3,88
Raudbetoon	200	0,8	0,25	35,34	10,60	14,49
	0	1	0,00	0,00	0,00	14,49
	0	1	0,00	0,00	0,00	14,49
	0	1	0,00	0,00	0,00	14,49
	0	1	0,00	0,00	0,00	14,49
Sisepind			0,13	18,38	5,51	20,00

R(m²K)/W

0,71

100,00

kontroll

U W/m²K

1,413715

välisõhk
välispind
kihtide
vahel
sisepind
sisepind
sisepind

μ	Sd	Pteg (Pa)	Pmax (Pa)	Sd summa
		223,49	260	
			302	0
15	0		302	0
1,5	150		807	150
15	3000		1 651	3150
15	0		1 651	3150,00
800	0		1 651	3150,00
0	0		1 651	3150,00
0	0		1 651	3150,00
		1169,1	2 338	

3150

veeauru osarõhud sees ja väljas

2 338	260	
50	86	
1169,09	223,5	945,6

LISA 2 Mahutabelid

Välisseinte materjalide mahutabel			
Seina nimetus	Materjali nimetus	Materjali pindala	Materjali ruumala
Müür			
Müür	Silikaattellis	31.0 m ²	9.3 m ³
Silikaattellis: 1		31.0 m²	9.3 m³
Pilaster - 200mm			
Pilaster - 200mm	EPS 60	2.6 m ²	0.3 m ³
Pilaster - 200mm	EPS 60	2.6 m ²	0.3 m ³
Pilaster - 200mm	EPS 60	2.6 m ²	0.3 m ³
EPS 60: 3		7.9 m²	0.8 m³
Pilaster - 200mm	Mineraalkrohv	2.6 m ²	0.0 m ³
Pilaster - 200mm	Mineraalkrohv	2.6 m ²	0.0 m ³
Pilaster - 200mm	Mineraalkrohv	2.6 m ²	0.0 m ³
Mineraalkrohv: 3		7.9 m²	0.0 m³
Pilaster - 200mm	Silikaattellis	2.6 m ²	0.3 m ³
Pilaster - 200mm	Silikaattellis	2.6 m ²	0.3 m ³
Pilaster - 200mm	Silikaattellis	2.6 m ²	0.3 m ³
Silikaattellis: 3		7.9 m²	0.8 m³
Pilaster- 400mm			
Pilaster- 400mm	EPS 60	1.0 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	1.0 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	1.0 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	1.0 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	1.0 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	1.0 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	EPS 60	0.6 m ²	0.1 m ³
EPS 60: 12		9.3 m²	1.4 m³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	1.0 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	1.0 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	0.6 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	0.6 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	1.0 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	1.0 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	1.0 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	1.0 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	1.0 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	0.6 m ²	0.0 m ³

Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	0.6 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	0.6 m ²	0.0 m ³
Pilaster- 400mm	Mineraalkrohv	0.6 m ²	0.0 m ³
Mineraalkrohv: 12		9.3 m²	0.0 m³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	1.0 m ²	0.2 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	1.0 m ²	0.2 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	1.0 m ²	0.2 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	1.0 m ²	0.2 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	1.0 m ²	0.2 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	1.0 m ²	0.2 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	0.6 m ²	0.1 m ³
Pilaster- 400mm	Silikaattellis	0.6 m ²	0.1 m ³
Silikaattellis: 12		9.3 m²	2.3 m³
VS-1			
VS-1	Armeerimisvõrk	147.9 m ²	0.7 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	31.0 m ²	0.2 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	153.6 m ²	0.8 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	7.0 m ²	0.0 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	124.9 m ²	0.6 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	25.7 m ²	0.1 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	118.2 m ²	0.6 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	23.6 m ²	0.1 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	23.3 m ²	0.1 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	155.4 m ²	0.8 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	41.0 m ²	0.2 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	149.3 m ²	0.7 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	38.5 m ²	0.2 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	124.9 m ²	0.6 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	25.7 m ²	0.1 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	118.2 m ²	0.6 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	23.6 m ²	0.1 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	124.9 m ²	0.6 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	25.7 m ²	0.1 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	118.2 m ²	0.6 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	23.6 m ²	0.1 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	19.3 m ²	0.1 m ³
VS-1	Armeerimisvõrk	0.4 m ²	0.0 m ³
Armeerimisvõrk: 23		1643.6 m²	8.2 m³
VS-1	Dispersioonvärv	147.9 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	31.0 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	153.6 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	7.1 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	124.9 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	25.7 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	118.2 m ²	0.0 m ³

VS-1	Dispersioonvärv	23.6 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	23.3 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	169.5 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	41.0 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	163.2 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	38.5 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	124.9 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	25.7 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	118.2 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	23.6 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	124.9 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	25.7 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	118.2 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	23.6 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	19.3 m ²	0.0 m ³
VS-1	Dispersioonvärv	0.4 m ²	0.0 m ³
Dispersioonvärv: 23		1671.6 m²	0.0 m³
VS-1	EPS 60	147.9 m ²	22.2 m ³
VS-1	EPS 60	31.0 m ²	4.6 m ³
VS-1	EPS 60	153.6 m ²	23.0 m ³
VS-1	EPS 60	7.0 m ²	1.0 m ³
VS-1	EPS 60	124.9 m ²	18.7 m ³
VS-1	EPS 60	25.7 m ²	3.8 m ³
VS-1	EPS 60	118.2 m ²	17.7 m ³
VS-1	EPS 60	23.6 m ²	3.5 m ³
VS-1	EPS 60	23.3 m ²	3.5 m ³
VS-1	EPS 60	158.3 m ²	23.5 m ³
VS-1	EPS 60	41.0 m ²	6.1 m ³
VS-1	EPS 60	152.2 m ²	22.6 m ³
VS-1	EPS 60	38.5 m ²	5.8 m ³
VS-1	EPS 60	124.9 m ²	18.7 m ³
VS-1	EPS 60	25.7 m ²	3.8 m ³
VS-1	EPS 60	118.2 m ²	17.7 m ³
VS-1	EPS 60	23.6 m ²	3.5 m ³
VS-1	EPS 60	124.9 m ²	18.7 m ³
VS-1	EPS 60	25.7 m ²	3.8 m ³
VS-1	EPS 60	118.2 m ²	17.7 m ³
VS-1	EPS 60	23.6 m ²	3.5 m ³
VS-1	EPS 60	19.2 m ²	2.9 m ³
VS-1	EPS 60	0.4 m ²	0.1 m ³
EPS 60: 23		1649.4 m²	246.9 m³
VS-1	Fassaadivärv	147.9 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	31.0 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	153.6 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	7.1 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	124.9 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	25.7 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	118.2 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	23.6 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	23.3 m ²	0.0 m ³

VS-1	Fassaadivärv	169.5 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	41.0 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	163.2 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	38.5 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	124.9 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	25.7 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	118.2 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	23.6 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	124.9 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	25.7 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	118.2 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	23.6 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	19.3 m ²	0.0 m ³
VS-1	Fassaadivärv	0.4 m ²	0.0 m ³
Fassaadivärv: 23		1671.6 m²	0.0 m³
VS-1	Kipskrohv	147.9 m ²	1.5 m ³
VS-1	Kipskrohv	31.0 m ²	0.3 m ³
VS-1	Kipskrohv	153.6 m ²	1.5 m ³
VS-1	Kipskrohv	5.7 m ²	0.1 m ³
VS-1	Kipskrohv	124.9 m ²	1.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	25.7 m ²	0.3 m ³
VS-1	Kipskrohv	118.2 m ²	1.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	23.6 m ²	0.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	23.3 m ²	0.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	169.5 m ²	1.7 m ³
VS-1	Kipskrohv	41.0 m ²	0.4 m ³
VS-1	Kipskrohv	163.2 m ²	1.6 m ³
VS-1	Kipskrohv	38.5 m ²	0.4 m ³
VS-1	Kipskrohv	124.9 m ²	1.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	25.7 m ²	0.3 m ³
VS-1	Kipskrohv	118.2 m ²	1.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	23.6 m ²	0.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	124.9 m ²	1.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	25.7 m ²	0.3 m ³
VS-1	Kipskrohv	118.2 m ²	1.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	23.6 m ²	0.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	17.2 m ²	0.2 m ³
VS-1	Kipskrohv	0.4 m ²	0.0 m ³
Kipskrohv: 23		1668.2 m²	16.7 m³
VS-1	Mineraalkrohv	147.9 m ²	0.4 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	31.0 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	153.6 m ²	0.5 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	7.1 m ²	0.0 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	124.9 m ²	0.4 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	25.7 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	118.2 m ²	0.4 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	23.6 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	23.3 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	155.3 m ²	0.5 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	41.0 m ²	0.1 m ³

VS-1	Mineraalkrohv	149.2 m ²	0.4 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	38.5 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	124.9 m ²	0.4 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	25.7 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	118.2 m ²	0.4 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	23.6 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	124.9 m ²	0.4 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	25.7 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	118.2 m ²	0.4 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	23.6 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	19.3 m ²	0.1 m ³
VS-1	Mineraalkrohv	0.4 m ²	0.0 m ³
Mineraalkrohv: 23		1643.5 m²	4.9 m³
VS-1	Silikaattellis	295.7 m ²	73.9 m ³
VS-1	Silikaattellis	62.0 m ²	15.5 m ³
VS-1	Silikaattellis	307.3 m ²	76.8 m ³
VS-1	Silikaattellis	13.2 m ²	3.1 m ³
VS-1	Silikaattellis	249.8 m ²	62.4 m ³
VS-1	Silikaattellis	51.3 m ²	12.8 m ³
VS-1	Silikaattellis	236.4 m ²	59.1 m ³
VS-1	Silikaattellis	47.2 m ²	11.8 m ³
VS-1	Silikaattellis	46.6 m ²	11.7 m ³
VS-1	Silikaattellis	330.1 m ²	82.1 m ³
VS-1	Silikaattellis	82.0 m ²	20.5 m ³
VS-1	Silikaattellis	317.7 m ²	79.0 m ³
VS-1	Silikaattellis	76.9 m ²	19.2 m ³
VS-1	Silikaattellis	249.8 m ²	62.4 m ³
VS-1	Silikaattellis	51.3 m ²	12.8 m ³
VS-1	Silikaattellis	236.4 m ²	59.1 m ³
VS-1	Silikaattellis	47.2 m ²	11.8 m ³
VS-1	Silikaattellis	249.8 m ²	62.4 m ³
VS-1	Silikaattellis	51.3 m ²	12.8 m ³
VS-1	Silikaattellis	236.4 m ²	59.1 m ³
VS-1	Silikaattellis	47.2 m ²	11.8 m ³
VS-1	Silikaattellis	37.0 m ²	9.0 m ³
VS-1	Silikaattellis	0.8 m ²	0.2 m ³
Silikaattellis: 23		3323.1 m²	829.5 m³
VS-1	Soojustuse liim	147.9 m ²	1.5 m ³
VS-1	Soojustuse liim	31.0 m ²	0.3 m ³
VS-1	Soojustuse liim	153.6 m ²	1.5 m ³
VS-1	Soojustuse liim	6.8 m ²	0.1 m ³
VS-1	Soojustuse liim	124.9 m ²	1.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	25.7 m ²	0.3 m ³
VS-1	Soojustuse liim	118.2 m ²	1.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	23.6 m ²	0.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	23.3 m ²	0.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	158.5 m ²	1.6 m ³
VS-1	Soojustuse liim	41.0 m ²	0.4 m ³
VS-1	Soojustuse liim	152.4 m ²	1.5 m ³
VS-1	Soojustuse liim	38.5 m ²	0.4 m ³

VS-1	Soojustuse liim	124.9 m ²	1.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	25.7 m ²	0.3 m ³
VS-1	Soojustuse liim	118.2 m ²	1.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	23.6 m ²	0.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	124.9 m ²	1.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	25.7 m ²	0.3 m ³
VS-1	Soojustuse liim	118.2 m ²	1.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	23.6 m ²	0.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	18.8 m ²	0.2 m ³
VS-1	Soojustuse liim	0.4 m ²	0.0 m ³
Soojustuse liim: 23		1649.0 m²	16.5 m³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	147.9 m ²	8.9 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	31.0 m ²	1.9 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	153.6 m ²	9.2 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	6.5 m ²	0.4 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	124.9 m ²	7.5 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	25.7 m ²	1.5 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	118.2 m ²	7.1 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	23.6 m ²	1.4 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	23.3 m ²	1.4 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	162.0 m ²	9.7 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	41.0 m ²	2.5 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	155.8 m ²	9.3 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	38.5 m ²	2.3 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	124.9 m ²	7.5 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	25.7 m ²	1.5 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	118.2 m ²	7.1 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	23.6 m ²	1.4 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	124.9 m ²	7.5 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	25.7 m ²	1.5 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	118.2 m ²	7.1 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	23.6 m ²	1.4 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	18.4 m ²	1.1 m ³
VS-1	Õhkvahe/klaasvill	0.4 m ²	0.0 m ³
Õhkvahe/klaasvill: 23		1655.3 m²	99.2 m³
VS-2			
VS-2	EPS 120	161.1 m ²	16.1 m ³
VS-2	EPS 120	29.4 m ²	2.9 m ³
VS-2	EPS 120	159.7 m ²	16.0 m ³
VS-2	EPS 120	31.4 m ²	3.1 m ³
EPS 120: 4		381.5 m²	38.1 m³
VS-2	Paekivi	161.1 m ²	96.6 m ³
VS-2	Paekivi	29.4 m ²	17.6 m ³
VS-2	Paekivi	159.7 m ²	95.8 m ³
VS-2	Paekivi	31.4 m ²	18.8 m ³
Paekivi: 4		381.5 m²	228.9 m³
VS-2	Tsementkiudplaat	161.1 m ²	1.6 m ³
VS-2	Tsementkiudplaat	29.4 m ²	0.3 m ³
VS-2	Tsementkiudplaat	159.7 m ²	1.6 m ³

VS-2	Tsementkiudplaat	31.4 m ²	0.3 m ³
Tsementkiudplaat: 4		381.5 m²	3.8 m³
VS-2	Õhkvahed	161.1 m ²	2.6 m ³
VS-2	Õhkvahed	29.4 m ²	0.5 m ³
VS-2	Õhkvahed	159.7 m ²	2.6 m ³
VS-2	Õhkvahed	31.4 m ²	0.5 m ³
Õhkvahed: 4		381.5 m²	6.1 m³
Grand total: 269		18183.6 m²	1513.5 m³

Keldriaken	1000	400	0.40 m ²
Keldriaken	1000	400	0.40 m ²
Keldriaken	1000	400	0.40 m ²
Keldriaken	1000	400	0.40 m ²
Keldriaken	1000	400	0.40 m ²
Keldriaken	1000	400	0.40 m ²
Keldriaken	1000	400	0.40 m ²
Keldriaken	1000	400	0.40 m ²
Keldriaken: 10	10000	4000	4.00 m²
Pööninguaken	500	800	0.40 m ²
Pööninguaken	500	800	0.40 m ²
Pööninguaken: 2	1000	1600	0.80 m²
Trepikoja aken	1600	11000	17.60 m ²
Trepikoja aken	1600	11000	17.60 m ²
Trepikoja aken	1600	11000	17.60 m ²
Trepikoja aken: 3	4800	33000	52.80 m²
Tuulekoja aken	2000	1000	2.00 m ²
Tuulekoja aken	2000	1000	2.00 m ²
Tuulekoja aken	2000	1000	2.00 m ²
Tuulekoja aken: 3	6000	3000	6.00 m²
Grand total: 209	351500	309000	525.18 m²

Katuslae materjalide mahutabel

Nimetus	Materjali nimetus	Materjali pindala	Materjali ruumala
KL-1	Puistevill	596.2 m ²	238.5 m ³
KL-1	Räbu	596.2 m ²	59.6 m ³
KL-1	Raudbetoon	596.2 m ²	119.2 m ³

LISA 3 Energiaarvutuste tabelid

Tiigi_EestiTRY_ol.olev_Energiaarvutuse_lähteandmed

Leht 1/2

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed

Arvutustsoonide arv	268
Küttesüsteemi tüüp	
-soojuse tootmine ja kütus	Kaugküte
-soojuse jaotamine	Radiaatorküte
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Loomulik
Jahutussüsteem (on/ei ole)	ei ole

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade		
Piirdetarind	g	U_{iv}	A_{iv}	$H_{juhtivus}$	Külmasild	Y_j	l_j	$H_{külmasild}$	Omadus	Suurus
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K		
Välissein VS-1		0,780	1672,0	1304,2	Välisseina välisnurk	0,50	64,0	32,0	Õhulekke-arv q_{50}	6,0
Välissein VS-2		0,82	381,0	312,4	Välisseina sisenurk	-0,20	55,1	-11,0		
Põrand pinnasel		0,43	564,0	242,5	Põrand pinnasel-välissein	0,40	140,0	56,0	m ³ /(h·m ²)	
Katuslagi		1,410	596,0	840,4	Katuslagi välissein	0,40	140,0	56,0	A_{vp} (välispiirded), m ²	3735,4
Aken (kirre)	0,70	1,60	19,3	30,9	Akna seinakinnitus	0,20	1321,0	264,2	Korruste arv (täisarv)	5,0
Aken (kagu)	0,70	1,60	234,5	375,2					$\dot{V}_{in\phi}$ m ³ /s	0,4150
Aken (edel)	0,70	1,60	21,4	34,2						
Aken (loe)	0,70	1,60	247,2	395,5						
Kokku:		$H_{juhtivus}$ W/K		3535,3		$H_{külmasild}$ W/K		397,2	$H_{õhulekke}$ W/K	500,5
Välispiirete summaarne soojuserikadu				\dot{Q}_H , W/K				4433,0		
Välispiirete keskmine soojusläbivus				$\sum H / A_{vp}$				1,2		
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$, m ²				2664,7		
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\sum H / A_{köetav}$ W/(m ² ·K)				1,66		

Ventilatsioonisüsteem	Rõhutada sissep./väljat.	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat.	Õhuvooluhulk sissep./väljat.	Süsteemi SFP	Soojustagastus temperatuuri- suhe	väljaviske min. temp. ¹
	Pa / Pa	% / %	m ³ /s / m ³ /s	kW/(m ³ /s)	%	°C
-	0	0	1,34/1,34	0,00	0,0	0

¹ soojustagasti külmumise vältimine

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -	Kütteperioodi ² keskmine soojustegur, -	Abiseadmete ³ elekter kWh/(m ² a)
1 Radiaatorküte	1,00	0,97	-	0,5
2 Ventilatsiooni kalorifeer	-	-	-	-
4 Tarbevee soojendamine	1,00	1,0	-	-

² esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul³ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus

Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur
1 Kompressor-külmamasin	1

Lokaalse taastuvenergia süsteemid	Päikese- kollektori aktiiv- pindala, m ²	Päikese- paneelide max võimsus, kW	Tuulegene- raatori nimi- võimsus, kW
1 ...	-	-	-

Vabasoosused	Inimesed	Seadmed	Valgustus	Kasutusaste	Kasutusaeg päeva nädalas	tundi päevas
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	%	d	h
Korterelamu	3	3	8	60	7	24

23.05.2017

Siim Raudsepp

Kuupäev

Nimi

Allikri

Energiarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta							
Hoone kasutusotstarve	Korterelamu					Uusehitus	
Aadress	Tiigi 8, Tartu					Oluline rekonstrueerimine	
Ehitusaasta	1961					X Rekonstrueerimine	
Kõetav pind	2664,7	m ²					Olemasolev hoone
Netopind	2934,8	m ²					
Energiatõhususarv	242	kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)					
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused massi või kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalutud energiakasutus kWh/(a m ²)
Elekter		88034,1	33,0	0	0	2,0	66,1
Kaugküte		520697,3	195,4	0	0	0,9	175,9
Summa		608731,3	228,4	0,0	0,0	-	241,9
Summaarne energiakasutus		Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)		
Küttesüsteem		-	-	-	-		
Ruumide küte, radiaatorküte		1332,4	439876,9	0,5	165,1		
Ventilatsiooniõhu soojendamine		-	-	-	-		
Tarbevee soojendamine		-	80820,4	-	30,3		
Ventilatsioonisüsteem ¹		0,0	-	0,0	-		
Jahutussüsteem		-	-	-	-		
Valgustus		26677,5	-	10,0	-		
Seadmed		60024,3	-	22,5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)		88034,1	520697,3	33,0	195,4		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks							
Lokaalne taastuv- ja eksporditud energi		Lokaalne taastuv kWh/a	Eksporditud kWh/(a m ²)	Eksporditud kWh/a	Eksporditud kWh/(a m ²)		
<i>Elektrienergia päikesest</i>		-	-	-	-		
Netoenergiavajadus		kWh/a	kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²		426680,6	160,1				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³		0,0	0,0				
Tarbevee soojendamine		80820,4	30,3				
Jahutus		0,0	0,0				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis							
³ arvatud koos soojustagastusega							
Energia vabasoojustest		kWh/a	kWh/(a m ²)				
Päikesekiirgus		163069,3	55,6				
Inimesed		42017,0	15,8				
Valgustus		18674,2	7,0				
Seadmed		42017,0	15,8				
Tehnosüsteemide võimsused		Elekter kW	Soojus kW				
Küttesüsteem		-	103				
Soe vesi		-	320				
Kaugküte soojussõlm		-	423				
Jahutussüsteem		-	-				
Arvutusprogrammi nimi ja versioon	IES VE 2016 v2016.0.1.0						
Arvutusprogrammi litsentsi number							
23.05.2017	Siim Raudsepp						
Kuupäev	Nimi		Allikri				

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed

Arvutustsoonide arv	268
Küttesüsteemi tüüp	
-soojuse tootmine ja kütus	Kaugküte
-soojuse jaotamine	Radiaatorküte
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Mehaaniline soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon, CAV
Jahutussüsteem (on/ei ole)	ei ole

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade		
Piirdetarind	g	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$	Külmasild	Y_j	l_j	$H_{külmasild}$	Omadus	Suurus
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K		
Välissein VS-1		0,198	1672,0	331,1	Välisseina välisnurk	0,50	64,0	32,0	Õhulekke-arv q_{50}	6,0
Välissein VS-2		0,22	381,0	83,8	Välisseina sisenurk	-0,20	55,1	-11,0		
Põrand pinnasel		0,43	564,0	242,5	Põrand pinnasel-välissein	0,40	140,0	56,0	m ³ /(h·m ²)	
Katuslagi		0,093	596,0	55,4	Katuslagi välissein	0,40	140,0	56,0	A_{vp} (välispiirded), m ²	3735,4
Aken (kirre)	0,70	1,00	19,3	19,3	Akna seinakinnitus	0,20	1321,0	264,2	Korruste arv (täisarv)	5,0
Aken (kagu)	0,70	1,00	234,5	234,5					\dot{V}_{inb} m ³ /s	0,4150
Aken (edel)	0,70	1,00	21,4	21,4						
Aken (loe)	0,70	1,00	247,2	247,2						
Kokku:		$H_{juhtivus}$ W/K		1235,2		$H_{külmasild}$ W/K		397,2	$H_{õhulekke}$ W/K	500,5
Välispiirete summaarne soojuserikadu				\dot{H} , W/K				2132,9		
Välispiirete keskmine soojusläbivus				$\sum H / A_{vp}$				0,6		
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$, m ²				2664,7		
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\sum H / A_{köetav}$ W/(m ² ·K)				0,80		

Ventilatsioonisüsteem	Rõhutõste sissep./väljat. Pa / Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat. % / %	Õhuvooluhulk sissep./väljat. m ³ /s / m ³ /s	Süsteemi SFP kW/(m ³ /s)	Soojustagastus temperatuuri- väljaviske suhe min. temp. ¹ %	°C
<i>1 SV-1 vent. Agregaat</i>	720/720	45/45	1,34/1,34	1,60	85,0	-5

¹ soojustagasti külmumise vältimine

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur -	Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -	Kütteperioodi ² keskmine soojustegur, -	Abiseadmete ³ elekter kWh/(m ² a)
<i>1 Radiaatorküte</i>	1,00	0,97	-	0,5
<i>2 Ventilatsiooni kalorifeer</i>	1,00	1,0	-	-
<i>4 Tarbevee soojendamine</i>	1,00	1,0	-	-

² esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul³ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus

Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur
<i>1 Kompressor-külmamasin</i>	3,5

Lokaalse taastuvenergia süsteemid	Päikese- kollektori aktiiv- pindala, m ²	Päikese- paneelide max võimsus, kW	Tuulegene- raatori nimi- võimsus, kW
1 ...	-	-	-

Vabasoojused	Inimesed W/m ²	Seadmed W/m ²	Valgustus W/m ²	Kasutusaste %	Kasutusaeg päeva nädalas d	tundi päevas h
Korterelamu	3	3	8	60	7	24

23.05.2017

Siim Raudsepp

Kuupäev

Nimi

Allikri

Energiarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta							
Hoone kasutusotstarve	Korterelamu					Uusehitus	
Aadress	Tiigi 8, Tartu					Oluline rekonstrueerimine	
Ehitusaasta	1961					X Rekonstrueerimine	
Kõetav pind	2664,7	m ²					Olemasolev hoone
Netopind	2934,8	m ²					
Energiatõhususarv	150	kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)					
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused massi või kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalutud energiakasutus kWh/(a m ²)
Elekter		121668,5	45,7	0	0	2,0	91,3
Kaugküte		173579,0	65,1	0	0	0,9	58,6
Summa		295247,5	110,8	0,0	0,0	-	149,9
Summaarne energiakasutus			Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)	
Küttesüsteem		-	-	-	-	-	-
Ruumide küte, radiaatorküte		1332,4	87844,1	0,5	33,0		
Ventilatsiooniõhu soojendamine		-	4914,5	-	1,8		
Tarvevee soojendamine		-	80820,4	-	30,3		
Ventilatsioonisüsteem ¹		18674,2	-	7,0	-		
Jahutussüsteem		14960,2	-	5,6	-		
Valgustus		26677,5	-	10,0	-		
Seadmed		60024,3	-	22,5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)		121668,5	173579,0	45,7	65,1		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks							
Lokaalne taastuv- ja eksporditud energi		Lokaalne taastuv kWh/a	Eksporditud kWh/(a m ²)				
<i>Elektrienergia päikesest</i>		-	-	-	-		
Netoenergiavajadus		kWh/a	kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²		85208,8	32,0				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³		4914,5	1,8				
Tarvevee soojendamine		80820,4	30,3				
Jahutus		34089,1	12,8				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis							
³ arvatud koos soojustagastusega							
Energia vabasoojustest		kWh/a	kWh/(a m ²)				
Päikesekiirgus		163115,2	55,6				
Inimesed		42017,0	15,8				
Valgustus		18674,2	7,0				
Seadmed		42017,0	15,8				
Tehnosüsteemide võimsused		Elekter kW	Soojus kW				
Küttesüsteem		-	103				
Soe vesi		-	320				
Kaugküte soojussõlm		-	423				
Jahutussüsteem		-	-				
Arvutusprogrammi nimi ja versioon	IES VE 2016 v2016.0.1.0						
Arvutusprogrammi litsentsi number							
23.05.2017	Siim Raudsepp						
Kuupäev	Nimi		Allikri				

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed

Arvutustsoonide arv	268
Küttesüsteemi tüüp	
-soojuse tootmine ja kütus	Kaugküte
-soojuse jaotamine	Radiaatorküte
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Mehaaniline soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon, CAV
Jahutussüsteem (on/ei ole)	ei ole

Soojuskaod läbi piirdetarindite					Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade	
Piirdetarind	g	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$	Külmasild	Y_j	l_j	$H_{külmasild}$	Omadus	Suurus
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K		
Välissein VS-1		0,12	1672,0	200,6	Välisseina välisnurk	0,50	64,0	32,0	Õhulekke-arv q_{50}	6,0
Välissein VS-2		0,12	381,0	45,7	Välisseina sisenurk	-0,20	55,1	-11,0		
Põrand pinnasel		0,10	564,0	56,4	Põrand pinnasel-välissein	0,40	140,0	56,0	m ³ /(h·m ²)	
Katuslagi		0,093	596,0	55,4	Katuslagi välissein	0,40	140,0	56,0	A_{vp} (välispiirded), m ²	3735,4
Aken (kirre)	0,40	0,80	19,3	15,4	Akna seinakinnitus	0,20	1321,0	264,2	Korruste arv (täisarv)	5,0
Aken (kagu)	0,40	0,80	234,5	187,6					\dot{V}_{inb} m ³ /s	0,4150
Aken (edel)	0,40	0,80	21,4	17,1						
Aken (loe)	0,40	0,80	247,2	197,8						
Kokku:		$H_{juhtivus}$ W/K		776,1		$H_{külmasild}$ W/K		397,2	$H_{õhulekke}$ W/K	500,5
Välispiirete summaarne soojuserikadu				\dot{H} , W/K				1673,8		
Välispiirete keskmine soojuslähivus				$\sum H / A_{vp}$				0,4		
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$, m ²				2664,7		
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\sum H / A_{köetav}$ W/(m ² ·K)				0,63		

Ventilatsioonisüsteem	Rõhutõste sissep./väljat. Pa / Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat. % / %	Õhuvooluhulk sissep./väljat. m ³ /s / m ³ /s	Süsteemi SFP kW/(m ³ /s)	Soojustagastus temperatuuri- väljaviske suhe min. temp. ¹ %	°C
<i>1 SV-1 vent. Agregaat</i>	720/720	45/45	1,34/1,34	1,60	85,0	-5

¹ soojustagasti külmumise vältimine

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur -	Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -	Kütteperioodi ² keskmine soojustegur, -	Abiseadmete ³ elektter kWh/(m ² a)
<i>1 Radiaatorküte</i>	1,00	0,97	-	0,5
<i>2 Ventilatsiooni kalorifeer</i>	1,00	1,0	-	-
<i>4 Tarbevee soojendamine</i>	1,00	1,0	-	-

² esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul³ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus

Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur
<i>1 Kompressor-külmamasin</i>	3,5

Lokaalse taastuvenergia süsteemid	Päikese- kollektori aktiiv- pindala, m ²	Päikese- paneelide max võimsus, kW	Tuulegene- raatori nimi- võimsus, kW
1 ...	-	-	-

Vabasoojused	Inimesed W/m ²	Seadmed W/m ²	Valgustus W/m ²	Kasutusaste %	Kasutusaeg päeva nädalas d	tundi päevas h
Korterelamu	3	3	8	60	7	24

23.05.2017

Siim Raudsepp

Kuupäev

Nimi

Allikri

Energiarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta							
Hoone kasutusotstarve	Korterelamu					Uusehitus	
Aadress	Tiigi 8, Tartu					Oluline rekonstrueerimine	
Ehitusaasta	1961					X Rekonstrueerimine	
Kõetav pind	2664,7	m ²					Olemasolev hoone
Netopind	2934,8	m ²					
Energiatõhususarv	139	kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)					
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused massi või kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalutud energiakasutus kWh/(a m ²)
Elekter		110091,7	41,3	0	0,00	2,0	82,6
Kaugküte		165929,6	62,3	0	0	0,9	56,0
Summa		276021,3	103,6	0,0	0,0	-	138,7
Summaarne energiakasutus		Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)		
Küttesüsteem		-	-	-	-		
Ruumide küte, radiaatorküte		1332,4	80194,7	0,5	30,1		
Ventilatsiooniõhu soojendamine		-	4914,5	-	1,8		
Tarbevee soojendamine		-	80820,4	-	30,3		
Ventilatsioonisüsteem ¹		18674,2	-	7,0	-		
Jahutussüsteem		3383,4	-	1,3	-		
Valgustus		26677,5	-	10,0	-		
Seadmed		60024,3	-	22,5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)		110091,7	165929,6	41,3	62,3		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks							
Lokaalne taastuv- ja eksporditud energi	Lokaalne taastuv kWh/a		Eksporditud kWh/(a m ²)				
<i>Elektrienergia päikesest</i>	0		0,0		0 0,00		
Netoenergiavajadus	kWh/a		kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²	77788,9		29,2				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³	4914,5		1,8				
Tarbevee soojendamine	80820,4		30,3				
Jahutus	7709,5		2,9				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis							
³ arvatud koos soojustagastusega							
Energia vabasoojustest	kWh/a		kWh/(a m ²)				
Päikesekiirgus	80813,2		27,5				
Inimesed	42017,0		15,8				
Valgustus	18674,2		7,0				
Seadmed	42017,0		15,8				
Tehnosüsteemide võimsused	Elekter kW		Soojus kW				
Küttesüsteem	-		103				
Soe vesi	-		320				
Kaugküte soojussõlm	-		423				
Jahutussüsteem	-		-				
Arvutusprogrammi nimi ja versioon	IES VE 2016 v2016.0.1.0						
Arvutusprogrammi litsentsi number							
23.05.2017	Siim Raudsepp						
Kuupäev	Nimi		Allikri				

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed

Arvutustsoonide arv	268
Küttesüsteemi tüüp	
-soojuse tootmine ja kütus	Kaugküte
-soojuse jaotamine	Radiaatorküte
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon, CAV
Jahutussüsteem (on/ei ole)	ei ole

Soojuskaod läbi piirdetarindite					Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade		
Piirdetarind	g	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$	Külmasild	Y_j	l_j	$H_{külmasild}$	Omadus	Suurus	
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K			
Välissein VS-1		0,198	1672,0	331,1	Välisseina välisnurk	0,50	64,0	32,0	Õhulekke-arv q_{50}	6,0	
Välissein VS-2		0,22	381,0	83,8	Välisseina sisenurk	-0,20	55,1	-11,0			
Põrand pinnasel		0,43	564,0	242,5	Põrand pinnasel-välissein	0,40	140,0	56,0	m ³ /(h·m ²)		
Katuslagi		0,093	596,0	55,4	Katuslagi välissein	0,40	140,0	56,0	A_{vp} (välispiirded), m ²	3735,4	
Aken (kirre)	0,70	1,00	19,3	19,3	Akna seinakinnitus	0,20	1321,0	264,2	Korruste arv (täisarv)	5,0	
Aken (kagu)	0,70	1,00	234,5	234,5					q_i , m ³ /s	0,4150	
Aken (edel)	0,70	1,00	21,4	21,4							
Aken (loe)	0,70	1,00	247,2	247,2							
Kokku:		$H_{juhtivus}$	W/K	1235,2		$H_{külmasild}$	W/K	397,2	$H_{õhulekke}$	W/K	500,5
Välispiirete summaarne soojuserikadu					$\dot{a}H$, W/K			2132,9			
Välispiirete keskmine soojusläbivus					$\sum H / A_{vp}$			0,6			
Hoone köetav pind					$A_{köetav}$, m ²			2664,7			
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta					$\sum H / A_{köetav}$			0,80			

Ventilatsioonisüsteem	Rõhutõste sissep./väljat. Pa / Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat. % / %	Õhuvooluhulk sissep./väljat. m ³ /s / m ³ /s	Süsteemi SFP kW/(m ³ /s)	Soojustagastus temperatuuri- väljaviske suhe min. temp. ¹ %	°C
<i>1 SV-1 vent. Agregaat</i>	720/720	45/45	1,34/1,34	1,60	0,0	-5

¹ soojustagasti külmumise vältimine

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur -	Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -	Kütteperioodi ² keskmine soojustegur, -	Abiseadmete ³ elekter kWh/(m ² a)
<i>1 Radiaatorküte</i>	1,00	0,97	-	0,5
<i>2 Ventilatsiooni kalorifeer</i>	1,00	1,0	-	-
<i>4 Tarbevee soojendamise</i>	1,00	1,0	-	-

² esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul³ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus

Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur
<i>1 Kompressor-külmamasin</i>	3,5

Lokaalse taastuvenergia süsteemid	Päikese- kollektori aktiiv- pindala, m ²	Päikese- paneelide max võimsus, kW	Tuulegene- raatori nimi- võimsus, kW
1 ...	-	-	-

Vabasoojused	Inimesed W/m ²	Seadmed W/m ²	Valgustus W/m ²	Kasutusaste %	Kasutusaeg päeva nädalas d	tundi päevas h
Korterelamu	3	3	8	60	7	24

23.05.2017

Siim Raudsepp

Kuupäev

Nimi

Allikri

Energiarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta							
Hoone kasutusotstarve	Korterelamu					Uusehitus	
Aadress	Tiigi 8, Tartu					Oluline rekonstrueerimine	
Ehitusaasta	1961					X Rekonstrueerimine	
Kõetav pind	2664,7	m ²					Olemasolev hoone
Netopind	2934,8	m ²					
Energiatõhususarv	155	kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)					
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused massi või kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalutud energiakasutus kWh/(a m ²)
Elekter		120155,8	45,1	0	0	2,0	90,2
Kaugküte		191688,2	71,9	0	0	0,9	64,7
Summa		311843,9	117,0	0,0	0,0	-	154,9
Summaarne energiakasutus		Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)		
Küttesüsteem		-	-	-	-		
Ruumide küte, radiaatorküte		1332,4	110867,8	0,5	41,6		
Ventilatsiooniõhu soojendamine		-	0,0	-	0,0		
Tarbevee soojendamine		-	80820,4	-	30,3		
Ventilatsioonisüsteem ¹		18674,2	-	7,0	-		
Jahutussüsteem		13447,5	-	5,0	-		
Valgustus		26677,5	-	10,0	-		
Seadmed		60024,3	-	22,5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)		120155,8	191688,2	45,1	71,9		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks							
Lokaalne taastuv- ja eksporditud energi		Lokaalne taastuv kWh/a	Eksporditud kWh/(a m ²)	Eksporditud kWh/a	Eksporditud kWh/(a m ²)		
<i>Elektrienergia päikesest</i>		-	-	-	-		
Netoenergiavajadus		kWh/a	kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²		107541,8	40,4				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³		0,0	0,0				
Tarbevee soojendamine		80820,4	30,3				
Jahutus		30642,0	11,5				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis							
³ arvatud koos soojustagastusega							
Energia vabasoojustest		kWh/a	kWh/(a m ²)				
Päikesekiirgus		124735	42,5				
Inimesed		42017,0	15,8				
Valgustus		18674,2	7,0				
Seadmed		42017,0	15,8				
Tehnosüsteemide võimsused		Elekter kW	Soojus kW				
Küttesüsteem		-	103				
Soe vesi		-	320				
Kaugküte soojussõlm		-	423				
Jahutussüsteem		-	-				
Arvutusprogrammi nimi ja versioon	IES VE 2016 v2016.0.1.0						
Arvutusprogrammi litsentsi number							
23.05.2017	Siim Raudsepp						
Kuupäev	Nimi		Allikri				

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed

Arvutustsoonide arv	268
Küttesüsteemi tüüp	
-soojuse tootmine ja kütus	Kaugküte
-soojuse jaotamine	Radiaatorküte
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon, CAV
Jahutussüsteem (on/ei ole)	ei ole

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade			
Piirdetarind	g	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$	Külmasild	Y_j	l_j	$H_{külmasild}$	Omadus	Suurus	
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K			
Välissein VS-1		0,198	1672,0	331,1	Välisseina välisnurk	0,50	64,0	32,0	Õhulekke-arv q_{50}	6,0	
Välissein VS-2		0,22	381,0	83,8	Välisseina sisenurk	-0,20	55,1	-11,0			
Põrand pinnasel		0,43	564,0	242,5	Põrand pinnasel-välissein	0,40	140,0	56,0	m ³ /(h·m ²)		
Katuslagi		0,093	596,0	55,4	Katuslagi välissein	0,40	140,0	56,0	A_{vp} (välispiirded), m ²	3735,4	
Aken (kirre)	0,70	1,00	19,3	19,3	Akna seinakinnitus	0,20	1321,0	264,2	Korruste arv (täisarv)	5,0	
Aken (kagu)	0,70	1,00	234,5	234,5					q_i , m ³ /s	0,4150	
Aken (edel)	0,70	1,00	21,4	21,4							
Aken (loe)	0,70	1,00	247,2	247,2							
Kokku:		$H_{juhtivus}$	W/K	1235,2		$H_{külmasild}$	W/K	397,2	$H_{õhulekke}$	W/K	500,5
Välispiirete summaarne soojuserikadu		$\dot{a}H$, W/K						2132,9			
Välispiirete keskmine soojuslähivus		$\sum H / A_{vp}$						0,6			
Hoone köetav pind		$A_{köetav}$, m ²						2664,7			
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta		$\sum H / A_{köetav}$						0,80			

Ventilatsioonisüsteem	Rõhutada sissep./väljat.	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat.	Õhuvooluhulk sissep./väljat.	Süsteemi SFP	Soojustagastus temperatuuri- suhe	väljaviske min. temp. ¹
	Pa / Pa	% / %	m ³ /s / m ³ /s	kW/(m ³ /s)	%	°C
<i>1 SV-1 vent. Agregaat</i>	720/720	45/45	1,34/1,34	1,60	0,0	-5

¹ soojustagasti külmumise vältimine

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -	Kütteperioodi ² keskmine soojustegur, -	Abiseadmete ³ elekter kWh/(m ² a)
<i>1 Radiaatorküte</i>	1,00	0,97	-	0,5
<i>2 Ventilatsiooni kalorifeer</i>	1,00	1,0	-	-
<i>4 Tarbevee soojendamise</i>	1,00	1,0	-	-

² esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul³ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus

Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur
<i>1 Kompressor-külmamasin</i>	3,5

Lokaalse taastuenergia süsteemid	Päikese- kollektori aktiiv- pindala, m ²	Päikese- paneelide max võimsus, kW	Tuulegene- raatori nimi- võimsus, kW
1 ...	-	-	-

Vabasoosused	Inimesed	Seadmed	Valgustus	Kasutusaste	Kasutusaeg päeva nädalas	tundi päevas
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	%	d	h
Korterelamu	3	3	8	60	7	24

23.05.2017	Siim Raudsepp
Kuupäev	Nimi
	Allikri

Energiarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta							
Hoone kasutusotstarve	Korterelamu					Uusehitus	
Aadress	Tiigi 8, Tartu					Oluline rekonstrueerimine	
Ehitusaasta	1961					X Rekonstrueerimine	
Kõetav pind	2664,7	m ²					Olemasolev hoone
Netopind	2934,8	m ²					
Energiatõhususarv	168	kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)					
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused massi või kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalutud energiakasutus kWh/(a m ²)
Elekter		113280,0	42,5	0	0	2,0	85,0
Kaugküte		244649,2	91,8	0	0	0,9	82,6
Summa		357929,2	134,3	0,0	0,0	-	167,7
Summaarne energiakasutus		Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)		
Küttesüsteem		-	-	-	-		
Ruumide küte, radiaatorküte		1332,4	163828,9	0,5	61,5		
Ventilatsiooniõhu soojendamine		-	0,0	-	0,0		
Tarbevee soojendamine		-	80820,4	-	30,3		
Ventilatsioonisüsteem ¹		18674,2	-	7,0	-		
Jahutussüsteem		6571,7	-	2,5	-		
Valgustus		26677,5	-	10,0	-		
Seadmed		60024,3	-	22,5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)		113280,0	244649,2	42,5	91,8		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks							
Lokaalne taastuv- ja eksporditud energi		Lokaalne taastuv kWh/a	Eksporditud kWh/(a m ²)	Eksporditud kWh/a	Eksporditud kWh/(a m ²)		
<i>Elektrienergia päikesest</i>		-	-	-	-		
Netoenergiavajadus		kWh/a	kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²		158914,0	59,6				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³		0,0	0,0				
Tarbevee soojendamine		80820,4	30,3				
Jahutus		14974,5	5,6				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis							
³ arvatud koos soojustagastusega							
Energia vabasoojustest		kWh/a	kWh/(a m ²)				
Päikesekiirgus		124735	42,5				
Inimesed		42017,0	15,8				
Valgustus		18674,2	7,0				
Seadmed		42017,0	15,8				
Tehnosüsteemide võimsused		Elekter kW	Soojus kW				
Küttesüsteem		-	103				
Soe vesi		-	320				
Kaugküte soojussõlm		-	423				
Jahutussüsteem		-	-				
Arvutusprogrammi nimi ja versioon	Green Building Studio veebikeskkond						
Arvutusprogrammi litsentsi number	versioon 2017.99.15.25 (DOE-2.2-48r)						
23.05.2017	Siim Raudsepp						
Kuupäev	Nimi		Allikri				

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed

Arvutussoonide arv	268
Küttesüsteemi tüüp	
-soojuse tootmine ja kütus	Kaugküte
-soojuse jaotamine	Radiaatorküte
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Mehaaniline soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon, CAV
Jahutussüsteem (on/ei ole)	ei ole

Soojuskaod läbi piirdetarindite					Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade	
Piirdetarind	g	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$	Külmasild	Y_j	l_j	$H_{külmasild}$	Omadus	Suurus
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K		
Välissein VS-1		0,120	1672,0	200,6	Välisseina välisnurk	0,50	64,0	32,0	Õhulekke-arv q_{50}	6,0
Välissein VS-2		0,12	381,0	45,7	Välisseina sisenurk	-0,20	55,1	-11,0		
Põrand pinnasel		0,10	564,0	56,4	Põrand pinnasel-välissein	0,40	140,0	56,0	m ³ /(h·m ²)	
Katuslagi		0,093	596,0	55,4	Katuslagi välissein	0,40	140,0	56,0	A_{vp} (välispiirded), m ²	3735,4
Aken (kirre)	0,40	0,80	19,3	15,4	Akna seinakinnitus	0,20	1321,0	264,2	Korruste arv (täisarv)	5,0
Aken (kagu)	0,40	0,80	234,5	187,6					\dot{V}_{inb} m ³ /s	0,4150
Aken (edel)	0,40	0,80	21,4	17,1						
Aken (loe)	0,40	0,80	247,2	197,8						
Kokku:		$H_{juhtivus}$ W/K		776,1		$H_{külmasild}$ W/K		397,2	$H_{õhulekke}$ W/K	500,5
Välispiirete summaarne soojuserikadu				\dot{H} , W/K				1673,8		
Välispiirete keskmine soojusläbivus				$\sum H / A_{vp}$				0,4		
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$, m ²				2664,7		
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\sum H / A_{köetav}$ W/(m ² ·K)				0,63		

Ventilatsioonisüsteem	Rõhutõste sissep./väljat. Pa / Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat. % / %	Õhuvooluhulk sissep./väljat. m ³ /s / m ³ /s	Süsteemi SFP kW/(m ³ /s)	Soojustagastus temperatuuri- väljaviske suhe %	min. temp. ¹ °C
<i>1 SV-1 vent. Agregaat</i>	720/720	45/45	1,34/1,34	1,60	85,0	-5

¹ soojustagasti külmumise vältimine

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur -	Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -	Kütteperioodi ² keskmine soojustegur, -	Abiseadmete ³ elektter kWh/(m ² a)
<i>1 Radiaatorküte</i>	1,00	0,97	-	0,5
<i>2 Ventilatsiooni kalorifeer</i>	1,00	1,0	-	-
<i>4 Tarbevee soojendamise</i>	1,00	1,0	-	-

² esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul³ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus

Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur
<i>1 Kompressor-külmamasin</i>	3,5

Lokaalse taastuvenergia süsteemid	Päikese- kollektori aktiiv- pindala, m ²	Päikese- paneelide max võimsus, kW	Tuulegene- raatori nimi- võimsus, kW
<i>1 PV-paneelid</i>	392	74,34	-

Vabasoojused	Inimesed W/m ²	Seadmed W/m ²	Valgustus W/m ²	Kasutusaste %	Kasutusaeg päeva nädalas d	tundi päevas h
<i>Korterelamu</i>	3	3	8	60	7	24

23.05.2017	Siim Raudsepp
Kuupäev	Nimi
	Allikri

Energiarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta							
Hoone kasutusotstarve	Korterelamu					Uusehitus	
Aadress	Tiigi 8, Tartu					Oluline rekonstrueerimine	
Ehitusaasta	1961					X Rekonstrueerimine	
Kõetav pind	2664,7	m ²					Olemasolev hoone
Netopind	2934,8	m ²					
Energiatõhususarv	90	kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)					
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused massi või kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalutud energiakasutus kWh/(a m ²)
Elekter		110091,7	41,3	65000	24,39	2,0	33,8
Kaugküte		165929,6	62,3	0	0	0,9	56,0
Summa		276021,3	103,6	65000,0	24,4	-	89,9
Summaarne energiakasutus			Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)	
Küttesüsteem		-	-	-	-	-	-
Ruumide küte, radiaatorküte		1332,4	80194,7	0,5	30,1		
Ventilatsiooniõhu soojendamine		-	4914,5	-	1,8		
Tarbevee soojendamine		-	80820,4	-	30,3		
Ventilatsioonisüsteem ¹		18674,2	-	7,0	-		
Jahutussüsteem		3383,4	-	1,3	-		
Valgustus		26677,5	-	10,0	-		
Seadmed		60024,3	-	22,5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)		110091,7	165929,6	41,3	62,3		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks							
Lokaalne taastuv- ja eksporditud energi	Lokaalne taastuv kWh/a		Eksporditud kWh/(a m ²)				
<i>Elektrienergia päikesest</i>	65000		24,4		65000 24,39		
Netoenergiavajadus	kWh/a		kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²	77788,9		29,2				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³	4914,5		1,8				
Tarbevee soojendamine	80820,4		30,3				
Jahutus	7709,5		2,9				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis							
³ arvatud koos soojustagastusega							
Energia vabasoojustest	kWh/a		kWh/(a m ²)				
Päikese kiirgus	80813,2		27,5				
Inimesed	42017,0		15,8				
Valgustus	18674,2		7,0				
Seadmed	42017,0		15,8				
Tehnosüsteemide võimsused	Elekter kW	Soojus kW			Tellitud soojuskoormus		
Küttesüsteem	-	103			Küte	103 kW	
Kaugküte soojussõlm	-	320			Soe vesi	320 kW	
Jahutussüsteem	-	-			Jahutus	0 kW	
					Summaarne	423 kW	
Arvutusprogrammi nimi ja versioon	IES VE 2016 v2016.0.1.0						
Arvutusprogrammi litsentsi number							
23.05.2017	Siim Raudsepp						
Kuupäev	Nimi		Allikri				

LISA 4 Päikesepaneelide süsteemide võimsused

Photovoltaic Geographical Information System

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 58°22'32" North, 26°43'0" East, Elevation: 69 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 75.5 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 10.9% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.8%

Other losses (cables, inverter etc.): 5.0%

Combined PV system losses: 18.6%

Fixed system: inclination=17 deg., orientation=33 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	33.70	1040	0.50	15.5
Feb	88.90	2490	1.30	36.3
Mar	164.00	5080	2.46	76.4
Apr	259.00	7770	4.09	123
May	333.00	10300	5.53	171
Jun	341.00	10200	5.77	173
Jul	328.00	10200	5.68	176
Aug	262.00	8130	4.42	137
Sep	173.00	5180	2.80	83.9
Oct	95.10	2950	1.47	45.7
Nov	36.30	1090	0.56	16.7
Dec	19.30	599	0.30	9.17
Year	178.00	5420	2.91	88.6
Total for year		65000		1060

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 58°22'32" North, 26°43'0" East, Elevation: 69 m a.s.l.,
 Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 66.8 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 7.6% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%
 Other losses (cables, inverter etc.): 5.0%
 Combined PV system losses: 14.9%

Fixed system: inclination=39 deg., orientation=-1 deg. (optimum)				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	46.30	1440	0.71	22.1
Feb	114.00	3200	1.78	49.9
Mar	182.00	5630	2.97	92.2
Apr	259.00	7780	4.47	134
May	310.00	9610	5.59	173
Jun	306.00	9170	5.62	169
Jul	299.00	9270	5.61	174
Aug	252.00	7800	4.62	143
Sep	181.00	5420	3.19	95.7
Oct	111.00	3440	1.86	57.7
Nov	46.10	1380	0.74	22.3
Dec	26.70	828	0.42	13.0
Year	178.00	5410	3.14	95.5
Total for year		65000		1150

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

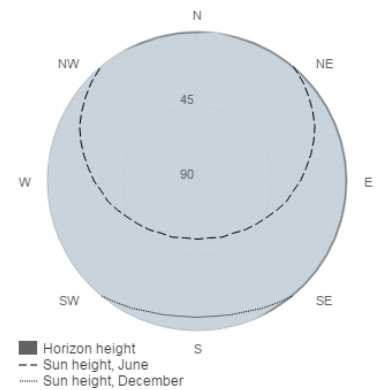
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 58.376, 26.717
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 73.3 kWp
 System loss: 5 %

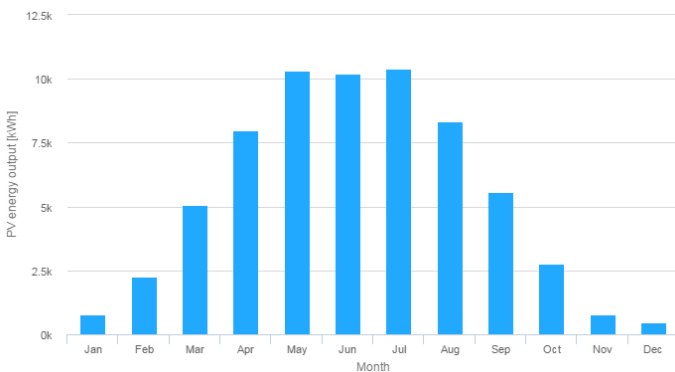
Simulation outputs:

Slope angle: 17 °
 Azimuth angle: 33 °
 Yearly PV energy production: 65000 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1040 kWh/m²
 Year to year variability: 2810.00 %
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: 3.7 %
 Spectral effects: ? (0) %
 Temperature and low irradiance: 7 %
 Total loss: 14.9 %

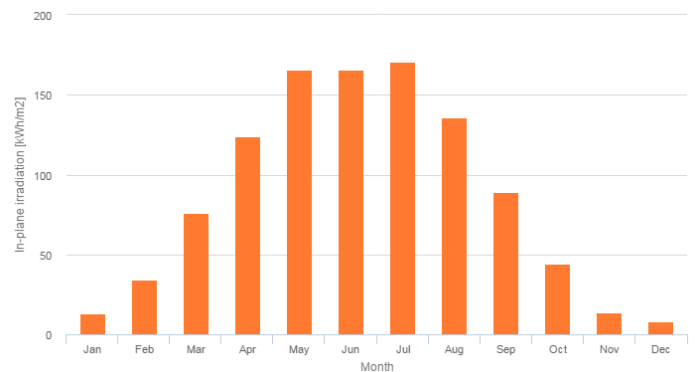
Outline of horizon at studied location:



Monthly energy output from fixed-angle PV systems:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	Em	Hm	SDm
January	783	12.9	334
February	2270	34.2	745
March	5060	76	1280
April	8000	124	1120
May	10300	166	1050
June	10200	166	1020
July	10400	171	934
August	8350	136	1160
September	5570	89.3	725
October	2770	44.4	702
November	783	13.7	141
December	458	8.28	180

Em: average monthly electricity production from the given system [kWh].

Hm: average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].

SDm: standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

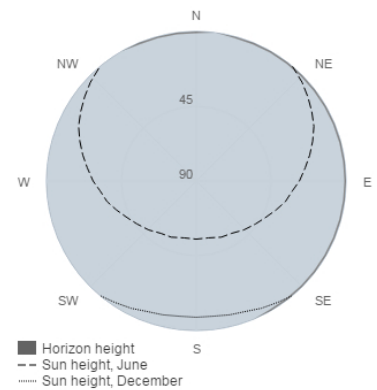
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 58.376, 26.717
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 65.4 kWp
 System loss: 5 %

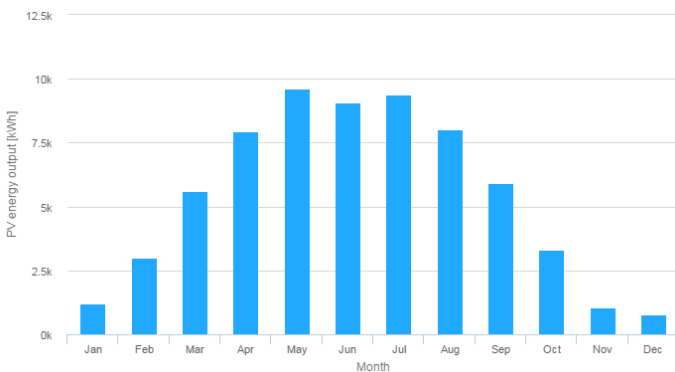
Simulation outputs:

Slope angle: 41 (opt) °
 Azimuth angle: 0 (opt) °
 Yearly PV energy production: 65000 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1120 kWh/m²
 Year to year variability: 3470.00 %
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: 3 %
 Spectral effects: ? (0) %
 Temperature and low irradiance: 4.2 %
 Total loss: 11.7 %

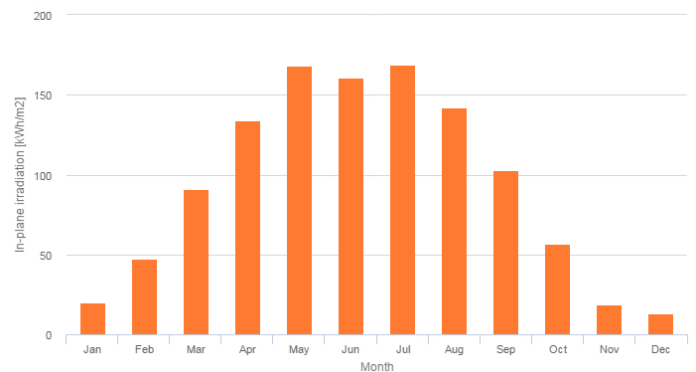
Outline of horizon at studied location:



Monthly energy output from fixed-angle PV systems:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	Em	Hm	SDm
January	1220	19.8	592
February	3000	47.3	1150
March	5600	91.1	1740
April	7940	134	1260
May	9630	168	1010
June	9090	161	960
July	9400	169	955
August	8010	142	1210
September	5910	103	875
October	3320	56.6	958
November	1060	18.7	231
December	785	13.3	324

Em: average monthly electricity production from the given system [kWh].

Hm: average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].

SDm: standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].