



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

EESTI HOONEFONDI ENERGIAKASUTUSE MODELLEERIMINE

MODELING THE ENERGY USE OF ESTONIAN BUILDING STOCK

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Miikael Einstein

Üliõpilaskood 192429EAXM

Juhendaja: Jarek Kurnitski, Professor

Tallinn 2021

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"27." detsember 2021

Autor: Miikael Einstein

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"27." detsember 2021

Juhendaja: Jarek Kurnitski, Professor

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Miikael Einstein (sünnikuupäev: 08.04.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Eesti hoonefondi energiakasutuse modelleerimine,

mille juhendaja on

Jarek Kurnitski

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

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

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

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

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

(allkirjastatud digitaalselt)

27.12.2021

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Miikael Einstein 192420EAXM
Õppekava, peeriala: EAXM15/15 - Hooned ja rajatised
Juhendaja: Professor, Jarek Kurnitski, jarek.kurnitski@taltech.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Eesti hoonefondi energiakasutuse modelleerimine
(inglise keeles) Modeling the energy use of Estonian building stock

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Luua hoonefondi energiatarbimise aegread tunnipõhiselt kasutades selleks referentshoonete simulatsioone ja energiastatistika andmeid.
2. Luua Exceli mudel kus on võimalik muuta soojusallikate ja rekonstrueerimise parameetreid.
3. Modelleerida hoonefondi energiatarbimise muutust vanade hoonete rekonstrueerimisel.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaate koostamine Teemakohased teadusartiklid, standardid, raportid ja raamatud.	10.10 2021
2.	Referentshoonetele vastavate simulatsiooni mudelite loomine ja vastavusse viimine statistikaga ja olemasolevate andmetega.	25.10 2021
3.	Excel tabeli loomine, mis võimaldab parameetreid muuta ning leiab hoonete summarse energiatarbe tunnipõhiselt.	30.11 2021
4.	Hoonefondi energiatarbimise analüüs erinevate parameetritega.	10.12
5.	Töö lõplik vormistamine ja viimistlemine, kaitsmiseks esitamine, sh plakati ja presentatsiooni slaidide koostamine.	20.12 2021

Töö keel: eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 28.12.2021

Üliõpilane: Miikael Einstein "28."detsember 2021a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....20....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu.....	8
SISSEJUHATUS	9
1. TEOORIA.....	10
1.1 Energia tootmine ja tarbimine Eestis.....	10
1.2 Hoonefondi ülevaade.....	11
1.3 Hoonete energiaarvutus	12
1.4 Varasemad uuringud.....	14
1.4.1 Hoonefondi modellerimine.....	14
1.4.2 Energiamaajanduse arengukava aastani 2030.....	14
1.4.3 Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia	15
2. METOODIKA	17
2.1 Lähteandmed	17
2.2 Simulatsioonimudelid.....	18
2.2.1 Üksikelamu mudel.....	21
2.3 Kortereelamu mudel	22
2.4 Büroohoone mudel	23
2.5 Kaubandushoone mudel	24
2.6 Haridushoone mudel.....	24
2.7 Energiatarbimise tunnitabel.....	25
2.8 Muudetavad parameetrid	26
3. TULEMUSED	29
3.1 Energiabilansside leidmine.....	29
3.2 Hoonefondi rekonstrueerimise tulemused	30
3.3 Energiaallikate muutus hoonefondi rekonstrueerimisel	31
3.4 Energiatarbimise tunnitabel	33
3.5 Hoonefondi elektri tarbimine.....	35
3.6 Hoonefondi soojuse ja kütuste tarbimine	40
3.7 Elamute ja mitteelamute energiatarbimine	42
KOKKUVÕTE.....	45

SUMMARY	47
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	49
LISAD	51
Lisa 1. Üksikelamu raportid	51
Lisa 2. Rekonstrueeritud Üksikelamu raportid.....	52
Lisa 3. Kortereelamu raportid	54
Lisa 4. Rekonstrueeritud Kortereelamu raportid.....	55
Lisa 5. Büroohoone raportid.....	57
Lisa 6. Rekonstrueeritud Büroohoone raportid	58
Lisa 7. Kaubandus- ja teenindushoone raportid	60
Lisa 8. Rekonstrueeritud kaubandus- ja teenindushoone raportid.....	62
Lisa 9. Haridushoone raportid	64
Lisa 10. Rekonstrueeritud haridushoone raportid.....	66
Lisa 11. Mudelis kasutatud parameetrid.....	68

EESSÕNA

Magistritöö koostati Tallinnas. Magistritöö teema pakkus välja töö juhendaja Jarek Kurnitski. Töö autor tänab juhendajat konsultatsiooni eest ning Kalle Kuuske, kes jagas ja selgitas „Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia“ käigus tehtud arvutusi, millel käesolev töö põhineb.

Töös uuriti Eesti hoonefondi energiatarbimist tunnipõhiselt ning hoonete kütmiseks, valgustamiseks ja toimimiseks vajalikke võimsusi. Uurimiseks kasutati erinevate hoonetüüpide simulatsioonimudeleid ning sobitati tulemused Statistikaameti energia lõpptarbimise andmetega.

Märksõnad: hoonefond, energiatohusus, energiasimulatsioon, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

KW – kilovatt

MW – megavatt

TW – teravatt

KWh – kilovatt-tund

MWh – megavatt-tund

TWh – teravatt-tund

ETA – energiatõhususarv

SISSEJUHATUS

Kliimamuutus on inimkonna üks suurimaid väljakutseid. CO₂ keskmine kontsentratsioon atmosfääris on tõusnud 19. sajandi lõpust 47% ning maa keskmine temperatuur on sellele ajal tõusnud umbes 1°C võrra. Kliimamuutustel on palju tõsiseid tagajärgi ning nende vähendamiseks tuleb koostööd teha kõigil riikidel. Euroopa Liidus kuulub hoonetele 36% kogu CO₂ heitekogusest. Üks laialdaselt rakendatavatest energiasäästmismeetmetest on hoonete rekonstrueerimine. Eesti on võtnud eesmärgiks aastaks 2050 kogu hoonefondi rekonstrueerimise lähtudes energiatõhususest ning sisekliimast. [11]

Eestis toodetakse suur osa elektrist põlevkivist, kuid järjest kasvav on taastuvate allikate osakaal. Elektrisüsteemis on tähtis et igal ajahetkel oleks tootmine ja tarbimine tasakaalus. Taastuvallikatest elektri tootmise tõusu tõttu on kasvanud ka juhitamatu energia osakaal. See tähendab, et järjest olulisem on prognoosida tarbimist. Selleks, et analüüsida elektritootmist ja jaotusvõrku ning teha plaane, on vaja teada, millal on energiatarbimine suurim ning kuidas energia tarbimine ajas muutub. Hoonefond moodustab umbes pool kogu elektri tarbimisest. Hoonefondi tunnipõhine simulatsioonimudel on tähtis sisend elektrivõrgu analüüsile. Lisaks on tunnipõhine tarbimismudel tähtis kasvuhoonegaaside arvutamisel, sest erinevatel võimsustel toodetakse elektritarnimist erinevatest allikatest.

Käesoleva lõputöö eesmärk on koostada Eesti hoonefondi energiatarbimise tunnipõhine mudel, mis vastaks energiatarbimise statistikale ning võimaldaks prognoosida energiatarbimist tulevikus, hoonefondi uuendamisel. Mudeli koostamiseks tehti simulatsioonimudelid erinevatele hoonetüüpidele simulatsioonitarkvaras IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE). Simulatsioonidest saadud tulemused kirjutati tabelitöötlusprogrammi ning üldistati kogu hoonefondile. Simulatsioonimudelid koostamisel lähtuti määrusest nr58: „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodikat“ ning mudelid sobitati vastama keskmise hoonega antud hoonetüübist. Kogu hoonefondi tunnipõhise mudeliga simuleeriti praegune hoonefondi olukord ning stsenaarium, kus kogu hoonefond on rekonstrueeritud.

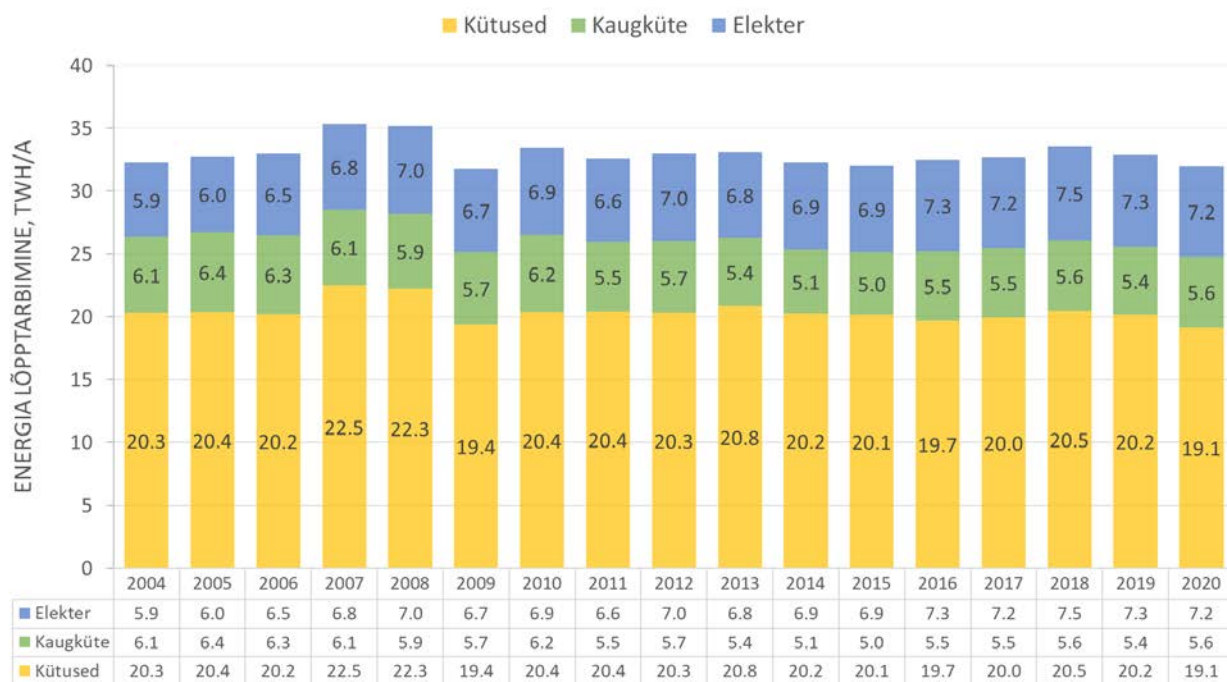
Töö põhiosa koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis tuuakse välja teoreetilised alused ning varem tehtud uuringud antud valdkonnas, millele töö käigus toetutakse. Teises peatükis kirjeldatakse üldiselt kasutatud meetodikat ning referentshoonete simulatsioonimudeleid. Kolmandas peatükis analüüstitakse koostatud hoonefondi mudelit ning võrreldakse energiatarbimise iseloomu praegu ning rekonstrueeritud hoonefondiga.

1. TEOORIA

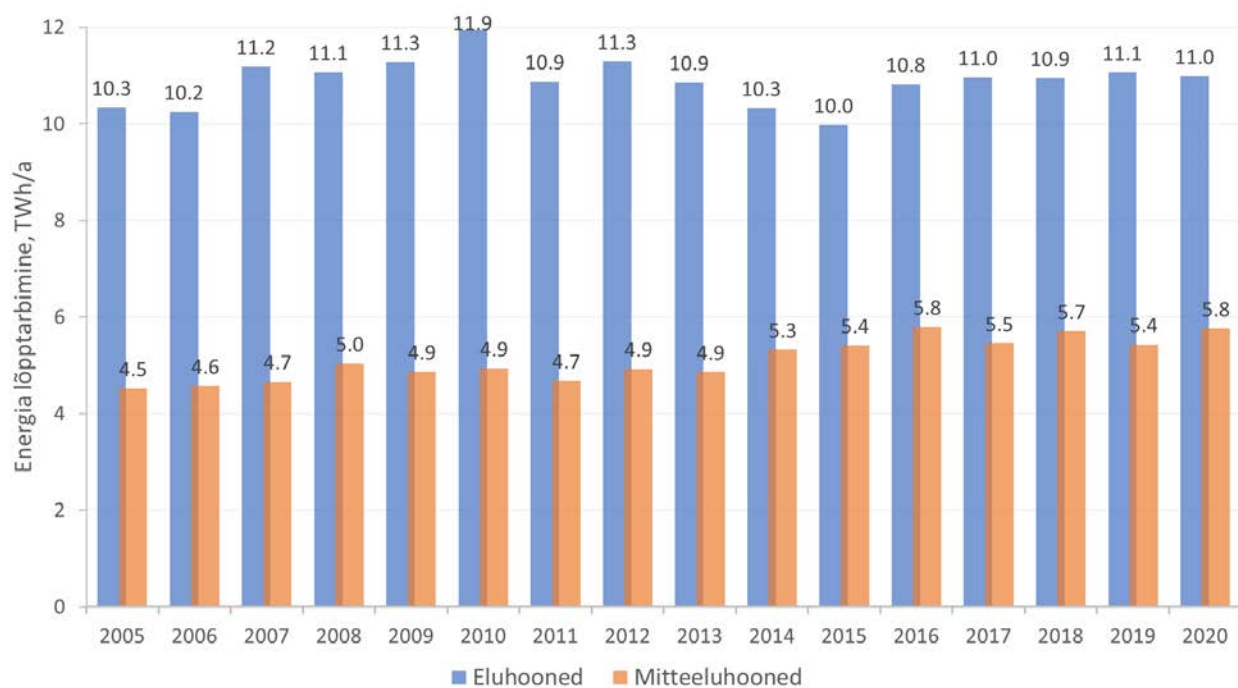
Käesolevas peatükis kirjeldatakse teoreetilisi aluseid ja põhimõtteid, millele lõputöö põhineb. Lisaks kirjeldatakse Eesti energiamajandust ning hoonefondi üldisemalt.

1.1 Energia tootmine ja tarbimine Eestis

Enamik elektri tootmisest toimub soojuselektrijaamades. Soojuselektrijaama põhimõte on kütuse põletamisel toota auru, ning selle auruga panna pöörlema turbiinid. Eestis on kolm suurt soojuselektrijaama: Eesti Elektriijaam, Balti Elektriijaam ning Iru Elektriijaam. [18] Nendest kaks, Eesti Elektriijaam ning Balti Elektriijaam, kasutavad kütuseks põhiliselt põlevkivi. Soojuselektrijaamades tekkiva heitsoojuse kasutamiseks on mõistlik elektriga koos toota soojusenergiat. Eestis kasutatakse koostootmist Balti Elektriijaamas, Iru elektrijaamas ning biomassil töötavates väiksemates koostootmisjaamades. Ajalooliselt valmistati 90% eesti elektrist põlevkivist. Statistikaameti andmetele on aasta aastalt kasvanud taastuenergia osakaal elektri tootmisest. Taastuenergia tõus tuleneb põhiliselt biomassi kasutamisest koostootmisjaamades aga ka tuule ja päikeseparkide rajamisest. [19] Eriti kiiresti on viimastel aastatel kasvanud päikeseelektrijaamade tootmisvõimus. Euroopa liidu eesmärk vähendada 2030 aastaks kasvuhoonegaase 55% võrreldes aastaga 1990 on Eestis tänu taastuenergia kasutamisele täidetud juba 2020. aastal. Eesti elektri tootmine ei kata tavaliselt kogu Eesti tarbimist, näiteks aastal 2020 imporditi elektrit 99% ajast. Energia tarbimine Eestis sõltub põhiliselt majandustegevusest. Seda on näha jooniselt 1, kus energiatarbimine oli suurim aastatel 2007 ja 2008 ning langes järgnevatel aastatel. Hoonete energiatarbimine on ligi pool kogu energiatarbest. Hoonetes sõltub energiatarbimine rohkem kliimast. Joonisel 2 on näha kuidas hoonete energiatarbimine on madalam aastatel 2014 ning 2015, mis olid keskmisest soojemad. Energiatarbimine oli suurem aastal 2010, mis oli keskmisest külmem.



Joonis 1. Energia lõpptarbimine Eestis. Allikas: [12]



Joonis 2. Energia lõpptarbimine hoonetes. Allikas: [12]

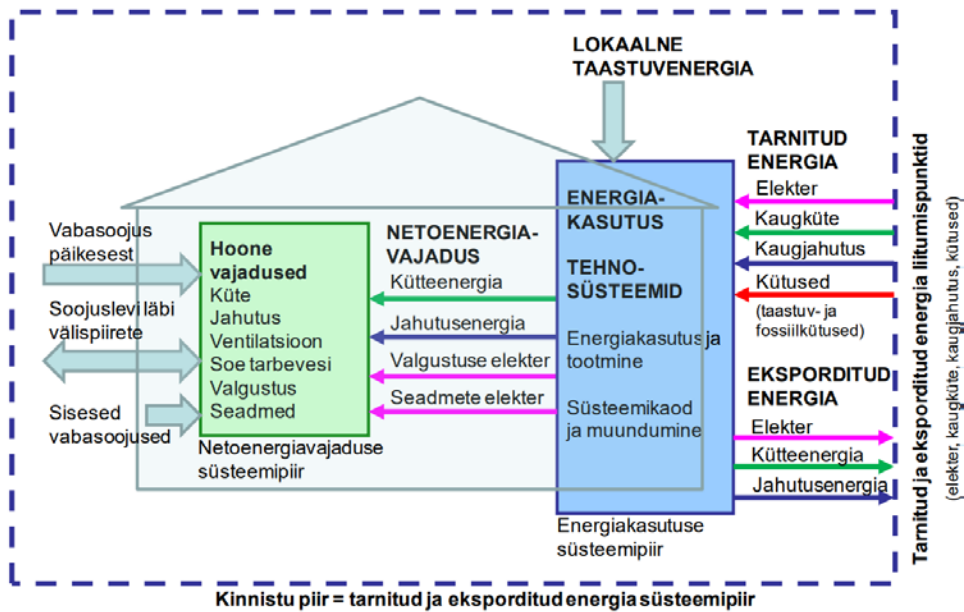
1.2 Hoonefondi ülevaade

Hoonete energiavajadus on suur osa Eesti aastasest energia tarbimisest. Kodumajapidamised tarbivad 25% kogu elektrist ning 46% kogu kaugküttest. [12]

Keskmine elamufondi energiakasutus on 180 kWh/m²a, mis on oluliselt kõrgem Euroopa keskmisest 130 kWh/m²a. Osa kõrgemast tarbimisest tuleb Eesti külmemast kliimast. Külmemäe kliima pärast on ka säästmise potentsiaal suurem. Hoonefondi rekonstrueerimisel on võimalik kütteenergiat vähendada kuni 50%. 80% Eesti elamutest on ehitatud enne aastat 1990. Elamute teoreetiliseks taastuvvajaduseks arvestatakse umbes 1% uusehitisi ning 2% rekonstrueeritud hoonete pindala kogu elamufondist aastas. Eestis on vastavad mahud tunduvalt väiksemad teoreetilisest taastumisvajadusest ning enne 1990 aasta mahtudest. Inimesed veedavad 80% ajast siseruumides ja sellepärast on väga oluline tagada, et energiatõhusus ei tule hoonete sisekliima arvelt. [4] Eestis on enne 2000 aastat ehitatud üksikelamuid 20 miljonit ruutmeetrit ning need paiknevad põhiliselt Harju-, Tartu- ja Pärnumaal. Korterealamuid, mille esmane kasutuselevõtu aasta on enne 2000, on 28 miljonit ruutmeetrit ning kõige suurem osa nendest (46%) asub Harjumaal. Enne 2000 aastat kasutusele võetud mitteeluhooneid, kus tagatakse sisekliima on Eestis 28 miljonit ruutmeetrit ning pindala alusel paikneb 70% piirkondlikes keskustes. Mitteelamud on ainuke kategooria, kus rekonstrueerimise maht on piisav, ligi 3% enne 2000 aastat ehitatud mitteelamutest aastas. Kahjuks nendest ainult 21 % olid terviklikud rekonstrueerimised. [1]

1.3 Hoonete energiaarvutus

Eestis hinnatakse hoone energiatõhusust energiamärgisega. Energiamärgis on dokument, mis näitab kui palju hoone aastas energiat tarbib ning see on kohustuslik ehitusdokument uutele ja rekonstrueeritavatele hoonetele. Energiamärgise arvutamise meetodika on kirja pandud määruses nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“ [7]. Energiamärgise tulemus on energiatõhususarv. See arv näitab tarnitud energiate kaalutud summat hoone tüüpilisel kasutamisel ühe köetava pinna ruutmeetri kohta. Energiatõhususarvu ühik on 1 kWh/m²a (kilovatt-tund aastas ruutmeetrile). Energiatõhususarv sisaldab endas energiat sisekliima tagamiseks nagu küte, jahutus ja ventileerimine. Lisaks kajastab energiatõhususarv hoone kasutamiseks vajalikku energiat, nagu tarbevee soojendamise ning seadmete ja valgustuse kasutamine. Skeem energiamärgise arvutuse sisendite ja osadega on toodud joonisel 3. [7]



Joonis 3. Energiaarvutuse skeem. Allikas: [7]

Energiaarvutuse tegemiseks on vaja sisendeid arvutatava hoone kohta. Esimeseks sisendiks on hoone geomeetria, mis hõlmab piirdetarindite pindalaid, köetavat pinda, akende pindalaid ja suundi. Teiseks on vaja soojusläbivuste infot piirdetarinditele ja joonsoojusläbivustele ning õhulekkearvu. Hoone geomeetria ja soojusläbivused määratakse ära hoone ehitusprojektis. Järgmine oluline sisend on ventilatsiooni õhuhulk, soojustagastuse suhtarv ning ventilatsioonisüsteemi erivõimsus. Ventilatsioonisüsteemi omadused määratakse hoone ventilatsiooni projektis, kuid peavad vastama energiatõhususe miinimumnõuetele. Neljandaks sisendiks on kütte- ja jahutussüsteemi omadused ning nende kasutegurid. Kütte ja jahutussüsteem määratakse hoone projektiga ning nende kasutegurid on toodud määruses. Viimaseks sisendiks on inimeste, valgustuse ja seadmete vabasoojused ja kasutusaeg, mis on toodud määruses nr 58 tabelis 1. [7]

Vastavalt sisenditele tehakse energiamärgise jaoks dünaamiline simulatsioonarvutus, kus arvutusprogramm leiab testaasta jooksul hoone energiavajaduse kütteks. Selleks, et energiamärgise tulemusi ühe numbriga väljendada summeeritakse erinevad energiakandjad kaalumisteguritega. Kaalumistegur võtab arvesse tarnitud energia tootmiseks vajaliku primaarenergia ning selle keskkonnamõjud. [7]

1.4 Varasemad uuringud

1.4.1 Hoonefondi modelleerimine

Hoonefondi modelleerimisele saab läheneda kahte moodi ülevalt alla (*top down*) ning alt üles (*bottom up*). Ülevalt alla lähenemine on makroökonomiline lähenemine, kus vaadeldakse kogu energia tarbimist ning võrreldakse seda teiste ökonomika näitajatega nagu kütuste hinnad, leibkonna sissetulek ning sisemajanduse kogutoodang. Sellised mudelid annavad mingi hinnangu kuidas energia tarbimine võib sõltuda keskmisest temperatuurist või energia hinna tõusust, kuid jätab tavaliselt välja süstemaatilised muutused energia tarbimises nagu tehnoloogia uuenedamine või hoonete rekonstrueerimine. Alt üles lähenemine seisneb erinevate energia tarbimise osade uurimisel ning nende kombineerimisel vastavalt selle kui suure osa tarbimisest need moodustavad. Alt üles lähenemine on detailsem ning võimaldab hinnata üksikute energiasäästu meetmete tõhusust. Samuti võimaldab alt üles lähenemine leida olemasolevate tehnoloogiate kuluefektiivseima lahenduse kogu energia tarbimise vähendamiseks. Alt üles lähenemine vajab suurt andmehulka ning tulemus sõltub suuresti sisendiks oleva info kogusest ning kvaliteedist. Tavaliselt on selliste mudelite probleemiks läbipaistmatus ning sisseehitatud määramatused. [8]

Üks keerulisemaid osasid hoonefondi modelleerimisel on hoonete kasutuse modelleerimine. Kui hoonete kütteenergia sõltub otseselt kliimast, siis seadmete ja valgustuse kasutus varieerub erinevate hoonete vahel suuresti. Kui kõigi hoonet puhul kasutada samu sisendeid, siis jäetakse mudelist välja varieeruvus vabasoojuste võimsuses ning kasutusajast. See tähendaks ilmselt suuremaid tipukoormusi, hoonetes reaalselt. Šveitsi hoonefondi mudel lähtus šveitsi ehitusseadustikus toodud kasutusastmetest ning koostas nende põhjal tõenäosuslikud kasutusastmed, mis sisaldasid juhuslikkust. See oli võimalik, sest mudeli koostamiseks simuleeriti suur hulka hooneid, ning igale hoonele sai määrata erineva kasutusprofiili. [9]

1.4.2 Energiamaajanduse arengukava aastani 2030

Eesti hoonefondi energiakasutust uuriti 2016. aastal avaldatud arengukava raames. ENMAK 2030 kirjeldab Eesti energiapoliitika eesmärke ja visiooni aastani 2050. Hoonete osas on ENMAK 2030 seadnud järgmised eesmärgid [4]:

- Tagada kestlikud, soodsaid ja keskkonnasõbralikud kaugküttesüsteemid
- 80% soojusest toodetakse taastuvate energiaallikate baasil

- Hoonefondi rekonstrueerimisega saavutada energiatõhusus (väikeelamutest 40% = C või D energiatõhususarvu klass; korterelamutest 50% = C; mitteelamud 20% = C)
- uued hooned vastavad liginullenergiahoone energiatõhususarvu väärtusele.

Arengukava eesmärgid energiasektorile olid seotud avatud elektrituru arendamise, kasvuhoone gaaside vähendamisega ja põlevkivi energiatõhusama kasutamisega. Väljapakutud meetmete rahastamiseks on arengukava järgi põhiliseks allikaks erasektor. Riigi investeeringud on suunatud hoonete rekonstrueerimisele, tööstuse ja tänavavalgustuse energiasäästumeetmetele ning soojamajanduse kaasajastamisele. [10]

Arengukava raames koostatud hoonete rekonstrueerimise uuring leidis, et enamikes hoonetes tuleb kuluefektiivse renoveerimise maksumuseks 200 €/m². Renoveerimisega langesid küttekulud kolm või kuni neli korda, kui elektri tarbimine enamikes hoonetes kasvas. Töö metoodika põhines 12 referentshoone simulatsioonidel erinevate rekonstrueerimis stsenaariumitega. [10]

Huvitava eripärana on välja toodud elamute, büroode ja haridushoonete ventilatsiooniks kasutatav energia arvutus. Kui lähteandmetena kasutada miinimum nõuetele vastavat õhuhulka, oli simuleeritud hoonete energiatarve suurem kui statistiline keskmine. Vahel oli ka inimeste arv hoones väiksem kui standardis määratud. Selleks, et simuleeritud hoonete energiatarve vastaks statistikale kasutati õhuvooluhulkasid, mis olid 20-40% miinimumnõuete õhuvooluhulkadest. [10]

Aruande tulemusena on hoonefondi rekonstrueerimisel võimalik säästa maksimaalselt 9,85 TWh/a ning kuluefektiivsel rekonstrueerimisel 6.62 TWh/a soojusenergiat. Elektri säästmine oli kordades väiksem vastavalt 0.05 TWh/a maksimaalse rekonstrueerimise ning 0.12 TWh/a kuluefektiivse rekonstrueerimisega. Elektrienergia muutus on väike, selle tõttu et rekonstrueerimise variantides arvestatud ventilatsiooniseadmete ja soojuspumpade energiaga. [10]

1.4.3 Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia

2020. aastal valmis Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi tellimusel hoonete pikaajalise rekonstrueerimise strateegia, mille eesmärk on enne 2000 aastat ehitatud hoonefondi terviklik rekonstrueerimine aastaks 2050. Rekonstrueerimise strateegia põhilised eesmärgid on parandada Eesti hoonete energiatõhusust ning sisekliimat. Arvestatud on hooned rekonstrueeritakse vähemalt C-klassi tasemini. [1]

Hoonete rekonstrueerimise käigus tehti arvutused hoonetele, mille ehitusaasta oli kuni 2000 kaasaarvatud. Hooned jaotati kategooriatesse: üksikelamu, korterelamu, büroo, kaubandus, haridus ja muud hooned. Tabelis 1 on toodud hoonetüüpide energiakasutus. [1]

Tabel 20. Energiakasutuse muutus.

Tõhus kaugküte	Enne rekonstrueerimist, kWh/(m ² a)			Peale rekonstrueerimist, kWh/(m ² a)			Vähemine, %		
	Soojus	Elekter	KEK	Soojus	Elekter	KEK	Soojus	Elekter	KEK
Üksikelamu*	190	25	174	0	65	130	100%	-160%	25%
Korterelamu	170	35	181	70	38	122	59%	-9%	33%
Büroo	130	70	225	70	45	136	46%	36%	40%
Kaubandus	80	140	332	55	85	206	31%	39%	38%
Haridus	140	30	151	55	40	116	61%	-33%	23%

Maagaas	Enne rekonstrueerimist, kWh/(m ² a)			Peale rekonstrueerimist, kWh/(m ² a)			Vähemine, %		
	Soojus	Elekter	KEK	Soojus	Elekter	KEK	Soojus	Elekter	KEK
Üksikelamu*	190	25	174	0	65	130	100%	-160%	25%
Korterelamu	170	35	240	70	38	146	59%	-9%	39%
Büroo	130	70	270	70	45	160	46%	36%	41%
Kaubandus	80	140	360	55	85	225	31%	39%	38%
Haridus	140	30	200	55	40	135	61%	-33%	33%

*üksikelamu puhul on arvestatud ahiküttelt soojuspumbale üleminekuga

Tabel 1. Rekonstrueerimise strateegia energiakasutused. Allikas: [1]

Eeldusteks oli, et enne 2000 aastat ehitatud hoonefond moodustab 80% kogu hoonefondi energia tarbimisest ja vanade hoonete väljalangevus 2020 kuni 2050 on ligi 30%. Kasutades Ehitusregistri hoonete pindalade kohta ja Statistikaameti andmebaasi KE024 energiatarbimise kohta koostati tabel lõpptarbimise kohta aastal 2020 ja 2050 tabelis 2. [1]

Tabel 21. Energia lõpptarbimise muutus.

Lõpptarbimine	Lõpptarbimine 2020, TWh/a			Lõpptarbimine 2050, TWh/a			Vähemine, %		
	Soojus	Elekter	KOKKU	Soojus	Elekter	KOKKU	Soojus	Elekter	KOKKU
Üksikelamu*	2,9	0,4	3,2	0,5	0,6	1,1	82%	-49%	67%
Korterelamu	3,1	0,6	3,8	1,0	0,5	1,6	68%	15%	59%
Büroo	0,4	0,2	0,7	0,2	0,1	0,3	58%	49%	55%
Kaubandus	0,3	0,4	0,7	0,1	0,2	0,4	45%	51%	49%
Haridus	0,4	0,1	0,5	0,1	0,1	0,2	66%	-15%	52%
Muud hooned	1,9	0,9	2,8	0,7	0,6	1,3	64%	34%	55%
	9,0	2,7	11,7	2,7	2,1	4,8	70%	20%	59%

*üksikelamu puhul on arvestatud, et 50% üksikelamutest paigaldab kütteallikaks soojuspumba ja 50% katla

Tabel 2. Rekonstrueerimise strateegia lõpptarbimise muutus. Allikas: [1]

2. METOODIKA

Käesolevas peatükis on kirjeldatud referentshooneid, lähteandmeid, modelleerimise põhimõtteid ning arvutuskäiku.

Lõputöös koostatakse igale hoonetüübile simulatsioonimudel vastavalt

2.1 Lähteandmed

Käesolev töö põhineb suures osas Rekonstrueerimise strateegia käigus tehtud arvutustel ning kasutab sama loogikat [1]. Erinevusena keskendub magistritöö kogu hoonefondi detailsemale arvutusele ja koostab tunnipõhise mudeli.

Hoonefondi jaotus käesolevas töös sama mis rekonstrueerimise strateegias: üksikelamu, korterelamu, büroohoone, kaubandushoone ja haridushoone. Nende hoonetüüpidega on kaetud 75% kogu hoonefondi energiatarbimisest ning 85% kogu hoonefondi pindalast. Kategooria „muud hooned“ koosneb pindala järgi 70% tööstushoonetest, 8% tervishoiuhoonetest, 7% majutushoonetest, 7% meelelahutushoonetest 3% militaarhoonetest ning 1% kultushoonetest. Mudelist on välja jäetud sisekliima tagamiseta hooned nagu laod, põllumajandus hooned, elamute abihooned ning muud. Mitte sisekliima tagamiseta hoonete netopind on EHR järgi 38 miljonit ruutmeetrit. [1]

Hoonefondi netopindalad on võetud Ehitusregistrist avaandmetest 2015 aasta seisuga. Töös on arvestatud et 90% elamute netopinnast on köetav pind ning mitteelamute köetava pinna osakaal on 80%. Enne 2000 aastat ehitatud hoonete pindalad on võetud Rekonstrueerimise strateegia arvutuste tabelitest. Kasutatud netopindalad on toodud tabelis 3. [1]

Hoonetüüp	Enne 2000 m ²	Peale 2000 m ²
Üksikelamu	18 800 000	6 450 000
Korterelamu	22 900 000	11 866 000
Büroohoone	4 200 000	3 969 000
Kaubandushoone	4 000 000	2 317 000
Haridus ja teadus	3 700 000	243 000
Muu	16 000 000	7 659 000
Kokku	69 600 000	32 504 000

Tabel 3. Hoonefondi netopindalad. Allikas: [1]

Energiatarbimise andmed on võetud Statistikaameti andmebaasist KE024 Energiabilanss kütuse või energia liigi järgi. Kodumajapidamiste puhul on hoonete

energiatarbeks arvestatud 100% elektrist ja soojusenergiast ning 100% kütustest, mis ei ole bensiini ega diisel. Äri ja avaliku teeninduse sektoris on hoonete energiatarbeks arvestatud 70% elektrist ja 100% soojusenergiast ning 100% kütustest, mis ei ole bensiin ega diisel. Tööstuse sektoris on hoonete energiatarbeks arvestatud 30% elektrist ja 100% soojusenergiast ning 10% kütustest, mis ei ole bensiin ega diisel. Energiatarbimise statistika on võetud samuti aastast 2015 nagu hoonete pindalad. [12] 2015 aasta oli keskmisest soojem. Aasta keskmine temperatuur oli Kahjuks ei ole hetkel täpsemaid andmeid hoonete energia tarbimisest.

TWh	Soojus	Elekter
Tööstus	2.13	0.62
Äri	1.87	1.97
Kodu	8.26	1.73
Kokku	12.26	4.31

Tabel 4. Energiatarbimine. Allikas: [12]

2.2 Simulatsioonimudelid

Igale hoonetüübile koostati kaks simulatsioonimudelit. Üks mudel vastab enne 2000 aastat ehitatud hoonele ning teine mudel vastab hoonele mis on rekonstrueeritud vähemalt C klassi tasemeni. Arvestatud on, et hooned, mis on ehitatud peale 2000. aastat vastavad samuti rekonstrueeritud hoone C klassile. Dünaamilises simulatsioonis on arvatud hoone netoenergiatarve, energiaallikate kasutegurid arvestatakse hiljem vastavalt energiaallikate osakaalule. Kliimafailina kasutatakse Eesti kliima test aastat, kus on toodud temperatuuri, õhuniiskuse, päikesekiirguse ning tuule suund ja tugevus tunnipõhiselt. Testaasta põhineb 31 aastase perioodi mõõtmistel ning on koostatud vastavalt ASHRAE TRY meetoodikale. [13]

Simulatsioonimudelite sisenditena on kasutatud valdavalt energiatõhususe arvutamise meetoodika määruses toodud välis- ja sisekliima, hoone ja tehnosüsteemide kasutusaega ning vabasoojust. Teised arvutuseks vajalikud andmed, nagu piirete soojusläbivused, õhulekkearv ning ventilatsiooniseadmete info, leitud iteratsiooni teel nii, et hoonetüüpide summaarne tarbimine vastaks hoonete rekonstrueerimise strateegia arvutustes toodud andmetele ning elamute ja mitteamute summaarne energiatarve vastaks KE024 andmebaasi järgi leitud andmetele hoonete energia tarbimisest.

Loomuliku ventilatsiooniga vanades hoonetes sõltub õhuvahetus temperatuuride vahel hoone sees ja väljas ning tuulest. Selleks, et simulatsioonid arvestaks tuule mõju, on õhulekke arvutus tehtud kasutades IDA ICE „wind driven flow“ funktsiooni, mis arvestab

hoone õhupidavust, hoone geomeetriat ning kliimaandmete tuule infot. Rõhuteguritena erinevatel pindadel on kasutatud „AIVC semi exposed“ arvutusmeetodit.

Enamiku hoonete elektri tarbimisest moodustab valgustus ja seadmed. Määruses nr 58 on valgustuse ja seadmete vabasoojuse arvestamiseks koostatud hoonete tüüpiline kasutus. Tüüpiline kasutus määrab iga hoonetüübi kohta suurima vabasoojuse ning detailsed kasutusastmed igale tunnile. Hoonete kasutamine varieerub suuresti ning määruses toodud tunnitabel määrab teatud keskmise hoone kasutuse, et erinevate hoonete energiamärgiseid saaks omavahel võrrelda. Hoonete tüüpiline kasutus põhineb hoonete kasutamise uuringutel ning järgib ASHRAE standardit. [1]

Kellaeg	Elamu valgustuse kasutusprofiil	Elamu seadmete kasutusprofiil	Elamu inimeste kasutusprofiil	Kasarmu valgustuse ja seadmete kasutusprofiil	Kasarmu inimeste kasutusprofiil	Kontorihoone kasutusprofiil	Haridushoone kasutusprofiil	Koolieelse lasteasutuse hoone kasutusprofiil
00:00–01:00	0	0,5	1	0	0,7	0	0	0
01:00–02:00	0	0,5	1	0	0,7	0	0	0
02:00–03:00	0	0,5	1	0	0,7	0	0	0
03:00–04:00	0	0,5	1	0	0,7	0	0	0
04:00–05:00	0	0,5	1	0	0,7	0	0	0
05:00–06:00	0	0,5	1	0	0,7	0	0	0
06:00–07:00	0,15	0,5	0,5	0,8	0,2	0	0	0
07:00–08:00	0,15	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2	0	0,4
08:00–09:00	0,15	0,7	0,5	0,4	0,1	0,6	0,6	0,8
09:00–10:00	0,15	0,5	0,1	0,7	0,3	0,6	0,6	0,8
10:00–11:00	0,05	0,5	0,1	0,7	0,3	0,7	0,6	0,3
11:00–12:00	0,05	0,6	0,1	0,7	0,3	0,7	0,4	0,3
12:00–13:00	0,05	0,6	0,1	0,3	0,1	0,4	0,3	0,8
13:00–14:00	0,05	0,6	0,2	0,3	0,1	0,6	0,6	0,1
14:00–15:00	0,05	0,6	0,2	0,7	0,3	0,7	0,6	0,1
15:00–16:00	0,05	0,5	0,2	0,7	0,3	0,7	0,3	0,4
16:00–17:00	0,2	0,5	0,5	0,7	0,4	0,6	0	0,3
17:00–18:00	0,2	0,7	0,5	0,7	0,4	0,2	0	0,3
18:00–19:00	0,2	0,7	0,5	0,7	0,1	0	0	0,2
19:00–20:00	0,2	0,8	0,8	0,7	0,1	0	0	0
20:00–21:00	0,2	0,8	0,8	0,3	0,1	0	0	0
21:00–22:00	0,2	0,8	0,8	0,8	0,7	0	0	0
22:00–23:00	0,15	0,6	1	0	0,7	0	0	0
23:00–00:00	0,15	0,6	1	0	0,7	0	0	0

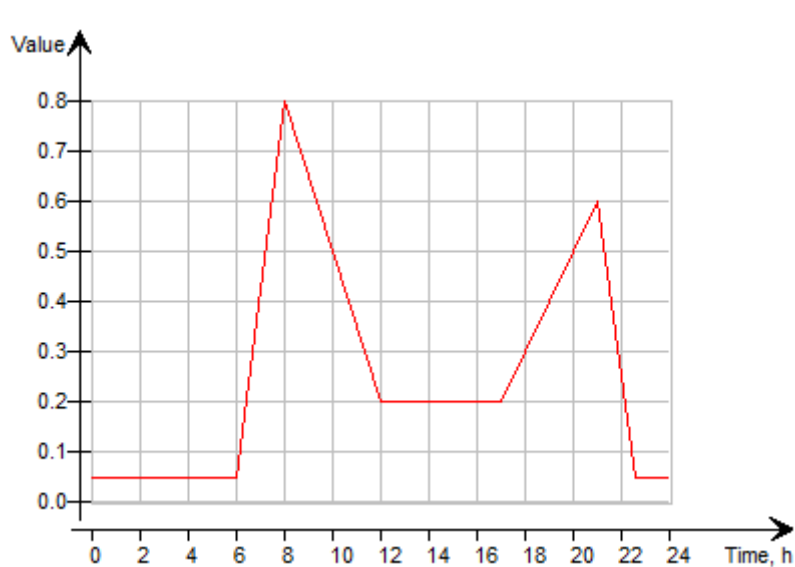
Tabel 5. Elektri tarbimise tunnitabel. Allikas: [1]

Kõikidel hoonetel sama sisendi kasutamine võib suurendada tiputarbimist, kuid see on hea lihtsustatud allikas hoonete kasutamise osas. Simulatsioonides on kasutatud funktsiooni „automatic schedule smoothing“ väärtust 10, mis tähendab, et kasutusastmete ja vabasoojuse rakendumise aega ühtlustati +/-2 tundi. [14]

Selleks, et mudel arvestaks valgustuse tehnoloogia arengut on enne 2000 ehitatud hoonete valgustuse võimsus võetud 2015 aasta määrusest ning peale 2000 ehitatud hoonete ning rekonstrueeritud hoonete valgustuse võimsus on võetud hetkel kehtivast

2020. aastal avaldatud määrusest, kus need on üldiselt väiksemad. Määruses esitatud andmed eeldavad et mitteelamutes kasutatakse päevavalguslambi või vastava efektiivsusega valgustit.

Hoonete sooja tarbevee tootmiseks väljalik energia on võetud määruse nr 58 tabelist 6 ning see on jaotatud mitteelamutes päeva peale sama kasutusprofiiliga, mis hoonetüübi kasutus. Elamute jaoks on koostatud eraldi graafik tippudega kell 8.00 ning kell 21.00 lähtuvalt Euroopa liidus tehtud sooja tarbevee uuringutele. Kasutatud graafik on toodud joonisel 4. [15]



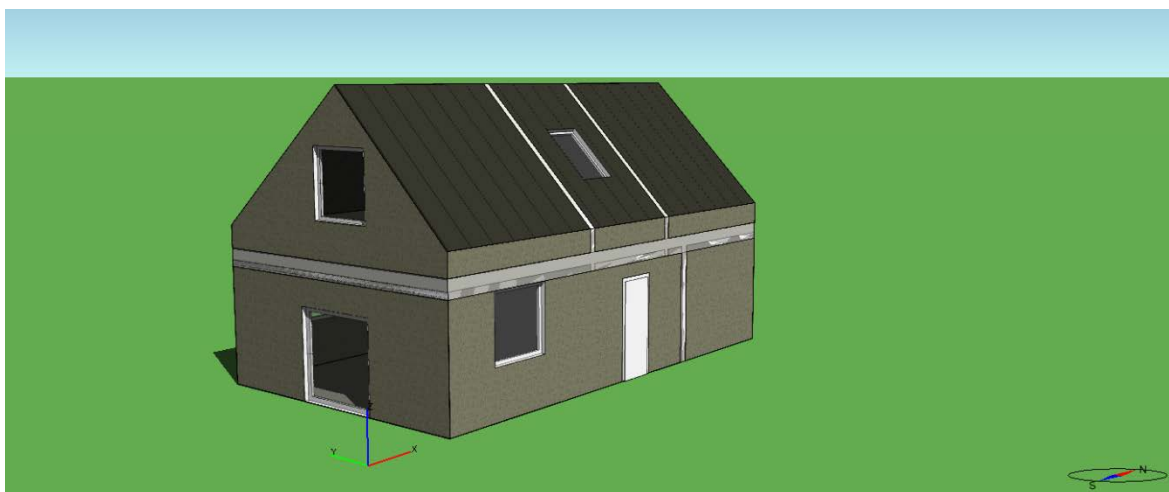
Joonis 4. Sooja tarbevee kasutamise graafik elamutes. Allikas: [15]

Hoone kasutusotstarve	Sooja vee erikulu, l/(m ² ·a)	Netoenergiavajadus, kWh/(m ² ·a)
Väikeelamu köetava pinnaga < 120 m ²	516	30
Väikeelamu köetava pinnaga 120–220 m ² ja ridaelamu	430	25
Väikeelamu köetava pinnaga > 220 m ²	344	20
Korterelamu	516	30
Kasarmu	602	35
Kontorihoone	103	6
Majutushoone	516	30
Ärihoone	395	23
Avalik hoone	344	20
Kaubandushoone ja terminal	69	4
Haridushoone	172	10
Koolieelse lasteasutuse hoone	258	15
Ravihoone	206	12
Laohoone	0	0
Tööstushoone	103	6

Tabel 6 Netoenergiavajadus soojale veele. Allikas: [1]

Simulatsioonimudelid on pärit Tallinna Tehnikaülikoolis varem tehtud töödest ning OÜ GECC LP energiamärgiste arhiivist. Hoonetüüpide simulatsioonimudeleid on lähemalt kirjeldatud järgmistes peatükkides. Lisades on toodud kõigi hoonete simulatsiooniprogrammi IDA ICE väljatrüki igale hoonele „Input data raport“ ning „Deliverd energy“.

2.2.1 Üksikelamu mudel



Joonis 5. Üksikelamu simulatsioonimudel.

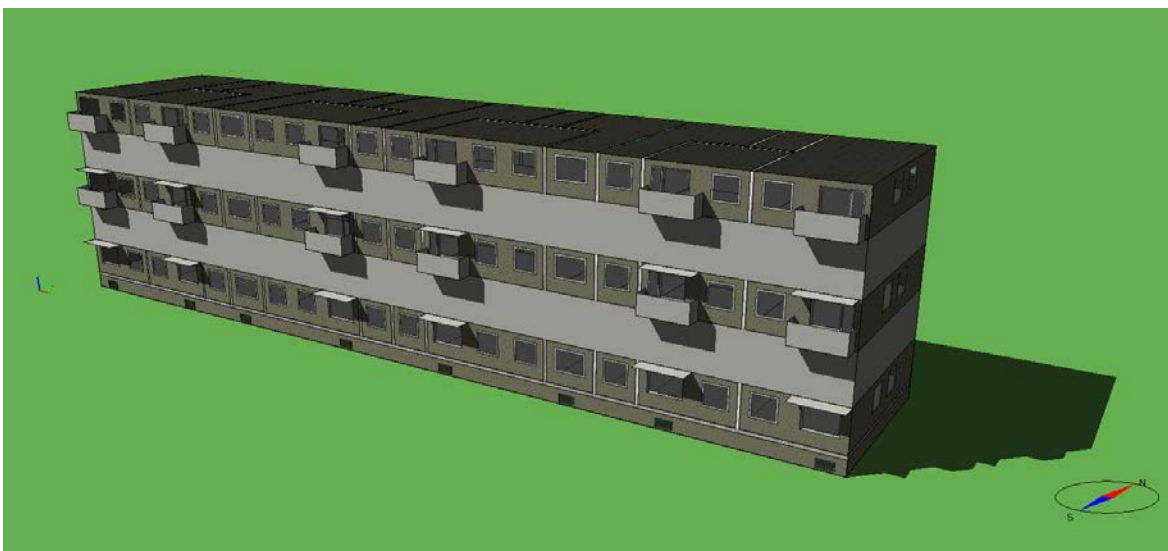
Üksikelamuid esindav referentshoone on kahekorruseline ja viilkatusega. Akende pindala moodustab 6,3% hoone välispiiretest. Hoone üldised omadused on toodud tabelis. Täpsemad andmed simulatsioonimudelite kohta on lisades. Enne 2000. aastat ehitatud hoone mudelis on arvestatud loomuliku ventilatsiooniga, mis tähendab et õhulekke arv on suur ning ventilatsioonisüsteem puudub. Rekonstrueeritud hoone mudel on koostatud soojustagastusega ventilatsioonisüsteemiga, õhuhulgaga 0,4 l/s m². Ventilatsioonisüsteemi sissepuhke temperatuur on 18 °C ning lisaküte toodetakse elektrist. Selleks et tuule mõju ning päikesest tulevat vabasoojust ühtlustada on rekonstrueeritud hoone mudel asend keeratud 90°, muus osas on mudelite geomeetria samasugune. Kasutatud on määruse elamu kasutusprofiile. Hoone üldine info on tabelis 7. Lisades on toodud IDA väljatrüki kõikidele simuleeritud hoonetele. „Input data raport“ ning „Deliverd energy“ (Lisa 1).

Enne 2000.a hoone omadused			Rekonstrueeritud hoone omadused		
Köetav pindala	141.6	m ²	Köetav pindala	141.6	m ²
Välispiirete soojusläbivus	0.5	W/(m ² ·K)	Välispiirete soojusläbivus	0.2	W/(m ² ·K)
Inimesed	0.0235	1/m ²	Inimesed	0.0235	1/m ²
Seadmed	3	W/m ²	Seadmed	3	W/m ²
Valgustus	8	W/m ²	Valgustus	6	W/m ²
Infiltratsioon	10	m ³ /sm ² 50Pa	Infiltratsioon	4	m ³ /sm ² 50Pa

Tabel 7. Üksikelamu mudelite omadused.

2.3 Korterelamu mudel

Korterelamu referentshoone on kuuekorruseline suurpaneelilamu. Akende pindala moodustab 20,1% hoone välispiiretest. Hoone soojusläbivused, vabasoojused ning ventilatsiooni omadused on välja toodud tabelis 8. Ventilatsioonisüsteemid on arvestatud samamoodi nagu üksikelamul. Hoone ilmakaared on rekonstrueeritud hoonel keeratud 90 kraadi.



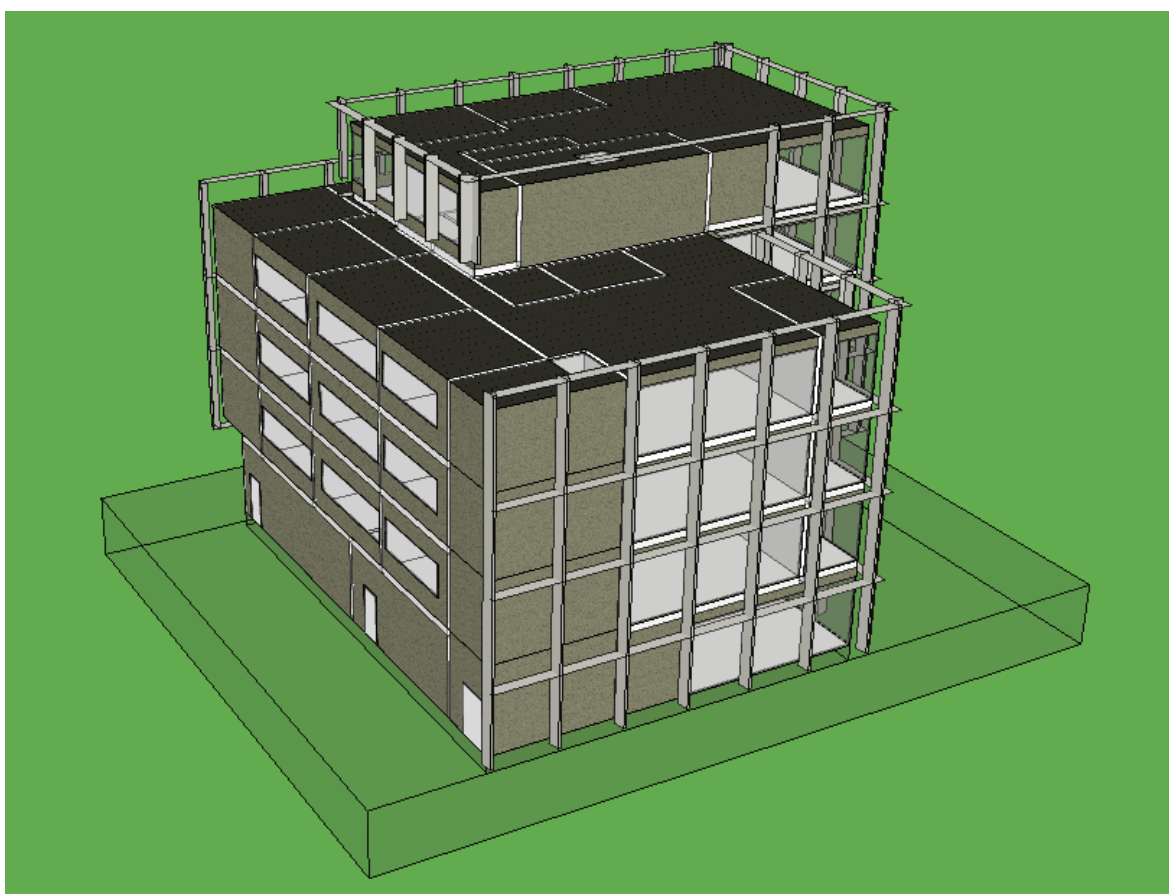
Joonis 6. Korterelamu simulatsioonimudel.

Enne 2000.a hoone omadused			Rekonstrueeritud hoone omadused		
Köetav pindala	2843	m ²	Köetav pindala	2843	m ²
Välispiirete soojusläbivus	1.0	W/(m ² ·K)	Välispiirete soojusläbivus	0.35	W/(m ² ·K)
Inimesed	0.0235	1/m ²	Inimesed	0.0235	1/m ²
Seadmed	3	W/m ²	Seadmed	3	W/m ²
Valgustus	8	W/m ²	Valgustus	6	W/m ²
Infiltratsioon	15	m ³ /sm ² 50Pa	Infiltratsioon	4	m ³ /sm ² 50Pa

Tabel 8. Korterelamu mudeli omadused.

2.4 Bürohoone mudel

Bürohoone referentshoone on kuuekorruseline suurpaneelilamu. Akende pindala moodustab 21,1% hoone välispiiretest. Hoone soojusläbivused, vabasoojused ning infiltratsioon on välja toodud tabelis 9. Ventilatsioonisüsteem töötab büroohoone kasutusajal täisvõimsusel ning 7.5% võimsusel muul ajal. Enne 2000 ehitatud hoone mudelis on arvestatud õhuhulgaga 0,5 l/s m² ning soojustagastusega. Rekonstrueeritud hoonel arvestatakse õhuhulgaga 2 l/s m² ning soojustagastusega. Hoone ilmakaared on rekonstrueeritud hoonel keeratud 90 kraadi.



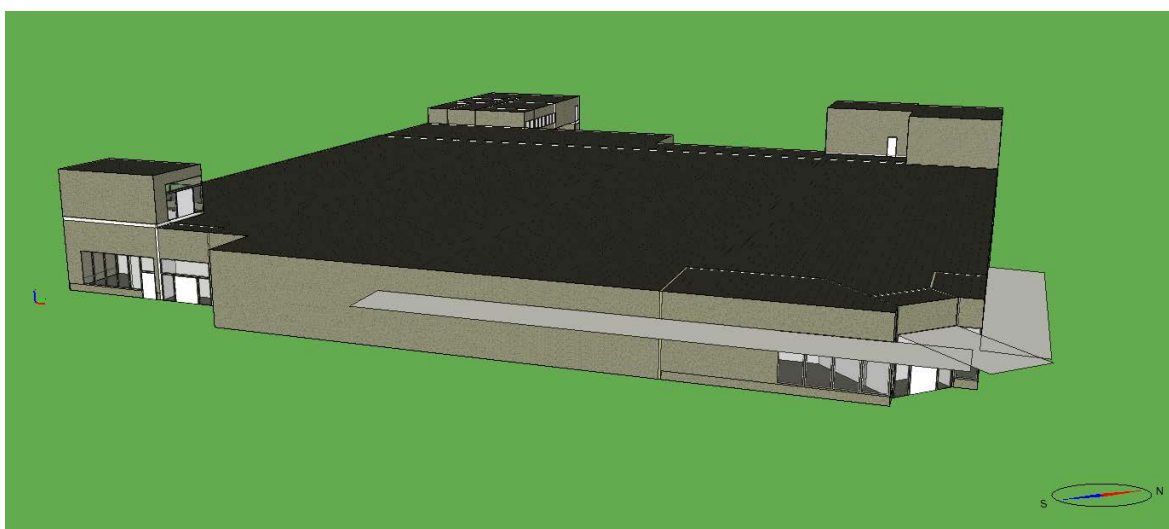
Joonis 7. Bürohoone simulatsioonimudel.

Enne 2000.a hoone omadused			Rekonstrueeritud hoone omadused		
Kõetav pindala	1759	m ²	Kõetav pindala	1759	m ²
Välispiirete soojusläbivus	0.55	W/(m ² ·K)	Välispiirete soojusläbivus	0.35	W/(m ² ·K)
Inimesed	0.0588	1/m ²	Inimesed	0.0588	1/m ²
Seadmed	12	W/m ²	Seadmed	12	W/m ²
Valgustus	12	W/m ²	Valgustus	10	W/m ²
Infiltratsioon	10	m ³ /sm ² 50Pa	Infiltratsioon	2	m ³ /sm ² 50Pa

Tabel 9. Bürohoone mudeli omadused.

2.5 Kaubandushoone mudel

Büroohoone referentshoone põhineb suurel kaubanduskeskusel, millest suurim pindala on müügisaal. Akende pindala moodustab 1,1% hoone välispiiretest. Hoone soojusläbivused, vabasoojused ning infiltratsioon on välja toodud tabelis 10. Ventilatsioonisüsteem töötab kaubandushoone kasutusajal täisvõimsusel ning 7.5% võimsusel muul ajal. Enne 2000 ehitatud hoone mudelis on arvestatud õhuhulgaga 0,5 l/s m² ning soojustagastusega. Rekonstrueeritud hoonel arvestatakse õhuhulgaga 1.5 l/s m² ning soojustagastusega. Miinimumnõuetele vastava õhuhulgaga 2 l/s m², oli keeruline panna kaubandushoonete energiatarbimine klappima statistikaga. Hoone ilmaaared on rekonstrueeritud hoonel keeratud 90 kraadi.



Joonis 8. Kaubandushoone simulatsioonimudel.

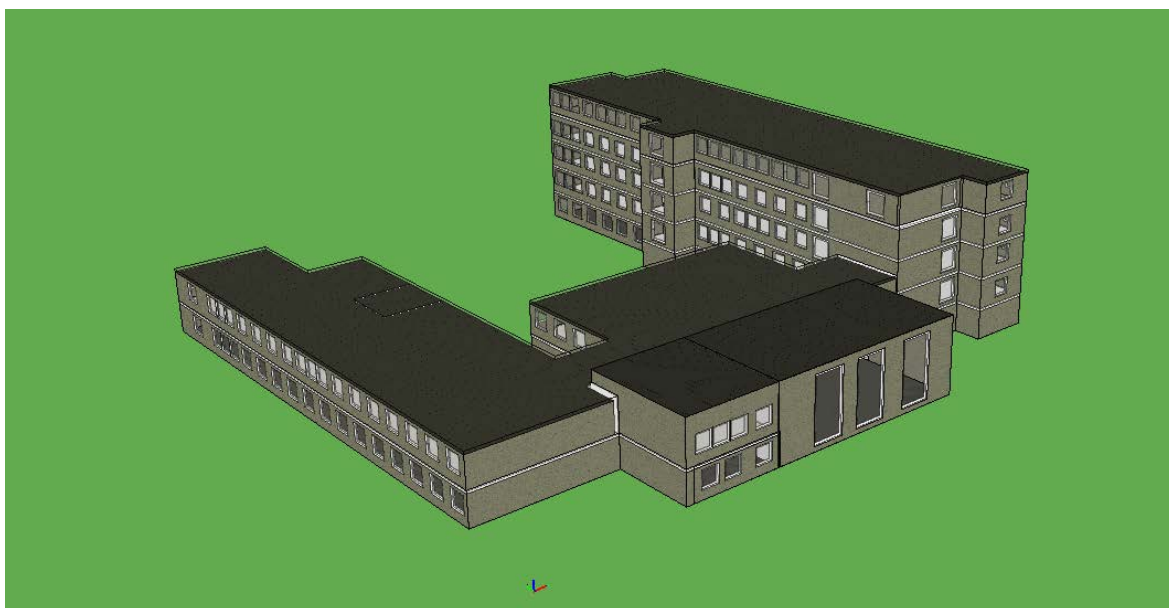
Enne 2000.a hoone omadused			Rekonstrueeritud hoone omadused		
Köetav pindala	5587	m ²	Köetav pindala	5587	m ²
Välispiirete soojusläbivus	0.4	W/(m ² ·K)	Välispiirete soojusläbivus	0.15	W/(m ² ·K)
Inimesed	0.0588	1/m ²	Inimesed	0.0588	1/m ²
Seadmed	1	W/m ²	Seadmed	1	W/m ²
Valgustus	20	W/m ²	Valgustus	17	W/m ²
Infiltratsioon	10	m ³ /sm ² 50Pa	Infiltratsioon	2	m ³ /sm ² 50Pa

Tabel 10. Kaubandushoone mudeli omadused.

2.6 Haridushoone mudel

Haridushoone referentshoone põhineb lasnamäe põhikoolil enne rekonstrueerimist. Akende pindala moodustab 11,2% hoone välispiiretest. Hoone soojusläbivused, vabasoojused ning infiltratsioon on välja toodud tabelis 11. Ventilatsioonisüsteem

töötav haridushoone kasutusajal täisvõimsusel ning 5% võimsusel muul ajal. Enne 2000 ehitatud hoone mudelis on arvestatud õhuhulgaga 0,5 l/s m² ning soojustagastusega. Rekonstrueeritud hoonel arvestatakse õhuhulgaga 3 l/s m² ning soojustagastusega.



Joonis 9. Haridushoone simulatsioonimudel.

Enne 2000.a hoone omadused			Rekonstrueeritud hoone omadused		
Köetav pindala	7553	m ²	Köetav pindala	7553	m ²
Välispiirete soojusläbivus	0.6	W/(m ² ·K)	Välispiirete soojusläbivus	0.25	W/(m ² ·K)
Inimesed	0.185	1/m ²	Inimesed	0.185	1/m ²
Seadmed	8	W/m ²	Seadmed	8	W/m ²
Valgustus	15	W/m ²	Valgustus	13	W/m ²
Infiltratsioon	15	m ³ /sm ² 50Pa	Infiltratsioon	2	m ³ /sm ² 50Pa

Tabel 11. Haridushoone mudeli omadused.

2.7 Energiatarbimise tunnitabel

Simulatsioonimudelid on iga hoone jaoks kaks, kuid energiatarbimise tunnitabelis rekonstrueeritud hooned jaotatud veel kaheks osaks: enne 2000. aastat ehitatud rekonstrueeritud hooned ja peale 2000. aastat ehitatud hooned.

Referentshoonete simulatsiooni tulemustest on energiatarbimise tabeliarvutusprogrammi võetud hoonete netoenergiatarve iga tunni kohta järgmiste katekooriate kaupa:

netoenergia Wh/m ²							
Aeg	Ruumide kütte	Soe tarbevesi	Ventilatsiooni kütte	Pumbad ja ventilaatorid	Jahutus	Seadmed	Valgustus
0	30.44	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00
1	33.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00
2	32.75	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00
3	32.29	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00

Tabel 12. Netoenergia.

Referentshoone energiakasutus on jagatud läbi hoone köetava pinnaga ja tabelis on arvud antud Wh/m²a igale tunnile aastas. Referentshoonete netoenergiatarbimise tunnitabeleid tuli kokku 10 tükki, iga hoonetüübi kohta kaks. Muude hoonete tunnitabeli vabasoojuse osa võeti määruse järgi, arvestades tööstus-, avalike-majutus- ning tervishoiuhoone kasutusprofiile vastavalt nende pindala osakaalule muudest hoonetest. Muude hoonete kütte osa kombineeriti varem simuleeritud hoonete põhjal arvestades muude hoonete vabasoojusi. Muudele hoonetele koostati samuti kaks netoenergiatarbimise tunnitabelit vastavalt enne ja peale rekonstrueerimist.

2.8 Muudetavad parameetrid

Selleks, et määrata kui suurt osa hoonefondist köetakse erinevate allikatega ning arvestada energiaallikate kasuteguritega on arvutustabelis igale hoonetüübile muudetavad parameetrid. Selleks et erinevate kütteallikate mõju hinnata ning arvestada tehnoloogilise arenguga on energiatarbimise tabelis kütte allikate osakaalud ning kasutegurid muudetavad.

Parameetrid	Elekter kütte	Maasoojus	Õhk-vesi	Väljtõmbe	Kaugkütte	Gaas	Puidukatel	Ahi	Biogaas	Õli	Süsi
kasutegur/cop	1.00	3.60	2.80	2.20	0.90	0.90	0.75	0.60	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop rek/2000	1.00	3.60	2.80	2.60	0.90	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.75
kütteallika osakaal	0.03	0.00	0.00	0.00	0.67	0.03	0.16	0.06	0.01	0.01	0.02
kütteallika osakaal rek	0.01	0.02	0.04	0.01	0.68	0.06	0.11	0.02	0.02	0.00	0.00
kütteallika osakaal >2000	0.01	0.04	0.05	0.01	0.69	0.06	0.07	0.02	0.02	0.00	0.00

Tabel 13. Parameetrid.

Arvutustes kasutatavad soojusallikate kasutegurid on pärit määruses nr 58. Kasutatud väärtused on toodud tabelis 14. [7]

Soojusallikas	Kasutegur
Kaugküte	0,9
Õli- või gaasikatel	0,85
Õli, kondensatsioonikatel	0,90
Gaas, kondensatsioonikatel	0,95
Pelletikatel	0,85
Muu tahkekütuse katel	0,75
Elekterküttega katel	1,0
Ahi	0,6

Tabel 14. Soojusallikate kasutegurid. Allikas: [7]

Soojusallikate osakaalud erinevates hoonetüüpides on võetud aruandest „Eestis küttesüsteemidele ja kliimaseadmetele rakendavate energiatõhususe meetmete ning nende tehnosüsteemide hüpoteetilise kohtustisliku ülevaatuse meetmete rakendamise samaväärsuse analüüs“. Aruandes on kokku võetud rahvaloenduse ja ehitusregistri andmed küttesüsteemidest Eestis. Mudelis on eeldatud, et kütteallikate jaotus, mis on hoonetes kasutuselevõtu aastaga alates 2015, jätkub aastani 2050. [2]

Kolmas oluline muutuja on rekonstrueerimise osakaal. See määrab kui suur osa enne 2000. aastat ehitatud hoonetest on rekonstrueeritud. Rekonstrueerimise osakaalu järgi arvutatakse kui suur on hoonetüübi pindalad vastavalt jaotusele: enne 2000 aastat ehitatud hooned, peale 2000 aastat ehitatud hooned ning rekonstrueeritud hooned.

Vastavalt määratud muutujatele arvutatakse uued aegread tarnitud energiaga igale hoonetüübile ning koostatakse tunnitabel igale energiakandjale. Energiatarbimise tabelis on tulemuste leht, kus lisaks muudetavatele parameetritele on kokkuvõtte hoonetüüpide kaupa hoonetüüpide energiatarbest ning pindaladest.

tarnitud energia (Wh/m ² 2000)											
Elekter kütte	Maasoojus	Õhk-vee	Väljatõn	Gaas	Puidukate	Ahi	Biog	Kaugküte	Õli	Süsi	Jahutus
0.18	0.21	0.07	0.22	1.11	0.41	0.29	0.39	15.79	0.00	0.00	0.00
0.18	0.21	0.07	0.22	1.12	0.42	0.29	0.39	15.89	0.00	0.00	0.00
0.17	0.20	0.07	0.22	1.10	0.41	0.29	0.39	15.64	0.00	0.00	0.00

Tabel 15. Tarnitud energia.

Sisestatud parameetrite ning netoenergia tunni tabeli järgi arvutatakse tarnitud energia tunnitabel. Tarnitud energia tabelisse arvutatakse tulemused vastavalt hoonetüübi netoenergiatarbest, kütteallika osakaalust ning kütteallika kasutegurist. Tarnitud energia suurus leitakse iga tunni jaoks vastava valemiga.

$$Tarnitud\ energia = Kütteallika\ osakaal * \frac{neto\ küttevõimsus}{kütteallika\ kasutegur}$$

Soojuspumpade energia leidmiseks on arvestatud ka soojuspumba osakaaluga küttest. Soojuspumba osakaalu väärtused on võetud määrusest nr 58. Soojuspumba tarnitud energiale liidetakse juurde elektriga köetav osa. Soojuspumpade osakaalud ning kasutegurid on esitatud tabelis 16.

	Soojuspumpade osakaal küttest		Soojuspumba kasutegur
	soojuspump	elekter	
Maa	0.98	0.02	3.60
Õhk	0.92	0.08	2.80
väljatõmbe	0.59	0.41	2.20

Tabel 16. Soojuspumpade osakaal küttes.

Tarnitud energia tabelleid koostati iga hoonetüübikohta kolm tükki. Tarnitud energia tabelite põhjal arvutatakse summaarsed hoonete energiatarbimised, kus on korrutatud tarnitud energia tabelites leitud energiakandjate pindaladega. Summaarseid tabelleid koostati kolm: elamud, mitteelamud ning kogu hoonefondi jaoks.

3. TULEMUSED

Käesolevas peatükis esitletakse tunnipõhise hoonefondi arvutuse mudelit ning võrreldakse hoonefondi praegust seisuga rekonstrueeritud hoonefondiga.

3.1 Energiabilansside leidmine

Hoonefondi simulatsiooni tulemuste sobitamiseks varem tehtud töödega ning energiatarbimise summaarsete andmetega summeriti iga hoonetüübi tarnitud energia tabelid aasta ulatuses ning võrreldi saadud tulemusi Rekonstrueerimise strateegia käigus tehtud arvutustega. Rekonstrueerimise strateegia arvutustest jäeti välja hoonete väljalangevus ning leiti enne 2000 aastat ehitatud hoonete aastane soojuse ning elektrienergia tarbimine ning samade hoonete tarbimine peale rekonstrueerimist. Saadud tulemusi võrreldi käesolevas töös tehtud simulatsioonidega ning muudeti simulatsioonimudelite sisendeid nii, et enne 2000 aastat ehitatud hoonefondi tarbimine vastaks Rekonstrueerimise strateegia andmetega. Aastabilansi võrdlus on toodud tabelis 17.

TWh/a	Hoonefondi tunnipõhine mudel		Rek. strateegia arvutused	
	Soojus	Elekter	Soojus	Elekter
Üksikelamu <2000	3.25	0.46	3.46	0.45
Üksikelamu rek	1.35	0.72	1.64	0.64
Korterelamu <2000	3.61	0.63	3.43	0.71
Korterelamu rek	1.51	0.75	1.41	0.77
Büroo <2000	0.43	0.24	0.44	0.24
Büroo rek	0.21	0.19	0.24	0.15
Kaubandus <2000	0.31	0.40	0.26	0.45
Kaubandus rek	0.18	0.27	0.18	0.27
Haridus <2000	0.41	0.09	0.41	0.09
Haridus rek	0.16	0.10	0.16	0.12
Muu <2000	2.03	1.06	1.92	0.90
Muu rek	0.79	0.88	0.90	0.77
Kokku enne 2000	10.03	2.89	9.91	2.83
Kokku rekonstrueeritud	4.19	2.89	4.52	2.71

Tabel 17. Koostatud mudeli võrdlus rekonstrueerimise strateegia arvutustega.

Tabelist on näha, et tulemused ei vasta üks ühele, kuid on samas suurusjärgus. Simulatsioonimudelite sobitamiseks muudeti mudelite neid sisendandmeid, mis ei olnud kindlaks määratud hoone tüüpilise kasutamisega. Muudeti omadusi nagu: õhulekke arv, tarindite soojusläbivused ning ventilatsioonisüsteemi omadused. Sisendeid

muudeti iteratiivselt niikaua kuni tulemus ühtis piisavalt Rekonstrueerimise strateegia arvutustega. Kasutatud mudelite omadused on täpsemalt välja toodud lisades.

Leitud tulemuste lisati hooned, mis on ehitatud peale aastat 2000 ning võrreldi läheandmetes toodud energia lõpptarbimisega tabelis 18. Hoonefondi mudeli ja andmebaasi energiatarbed on toodud tabelis. Esialgsel arvutusel oli kogu hoonefondi energiatarbimised väiksemad kui Statistikaameti andmed, sest eeldati et kõik hooned, mis on ehitatud peale aastat 2000 on sarnased C klassi tasemeni rekonstrueeritud hoonetega. Selle eelduse asemel korrutati nende hoonete soojusenergia teguriga 1.2, mis tähendab, et need hooned kuuluksid keskmiselt D klassi tasemele.

TWh/a	Hoonefondi tunnipõhine mudel		KE024	
	Soojus	Elekter	Soojus	Elekter
Elamud	8.25	1.74	8.26	1.73
Mitteelamud	4.02	2.53	4.00	2.59
Kokku	12.27	4.27	12.26	4.31

Tabel 18. Koostatud mudeli võrdlus Statistikaameti andmebaasiga.

Hoonetüüpide simulatsioonimudelite netoenergia tarbimine kategooriate kaupa on toodud tabelis 19.

Netoenergia kWh/m ² a	Ruumide küte	Soe tarbevesi	Ventilatsiooni küte	Ventilaatorid pumbad	Jahutus	Seadmed	Valgustus
Üksikelamu <2000	101	30.0	0.0	1.0	0.0	15.6	6.8
Üksikelamu rek />2000	57	30.0	4.4	6.9	0.0	15.6	5.1
Korterelamu <2000	117	30.0	0.0	1.0	0.0	15.6	6.8
Korterelamu rek />2000	44	30.0	4.9	7.8	0.0	15.6	5.1
Büroo <2000	99	6.0	17.1	10.1	22.1	18.8	24.6
Büroo rek />2000	57	6.0	3.5	10.0	13.8	18.8	15.7
Kaubandus <2000	62	4.0	65.1	15.7	4.2	2.8	56.3
Kaubandus rek />2000	10	4.0	45.9	13.1	1.5	2.8	47.8
Haridus <2000	111	10.0	17.3	4.0	0.0	7.2	14.9
Haridus rek />2000	44	10.0	4.6	10.0	0.0	7.2	12.7
Muu <2000	135.5	10.4	14.2	9.7	0.1	24.2	26.6
Muu rek />2000	45.5	10.4	11.4	14.0	1.8	24.2	22.6

Tabel 19. Hoonetüüpide simulatsioonimudelite netoenergia tarbimine.

3.2 Hoonefondi rekonstrueerimise tulemused

2020 aasta Eesti hoonefondi võrdlus 2050 aasta hoonefondiga koostatud mudeli põhjal on toodud tabelis 20. Mudel arvestab ainult vanade hoonete rekonstrueerimisega ning

jätab välja hoonefondi pindala muutuse, uute hoonete ehitamise ning vanade kasutuseset väljalangemise.

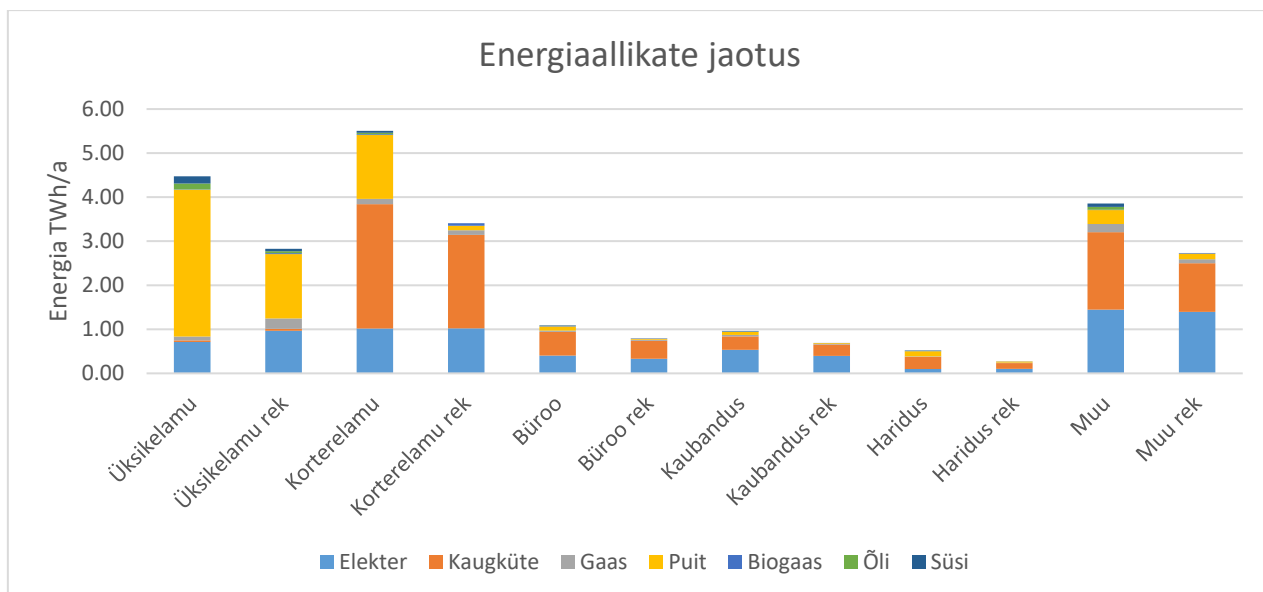
TWh/a	Hoonefond 2020		Hoonefond 2050		Muutus	
	Soojus	Elekter	Soojus	Elekter	Soojus	Elekter
Elamud	8.25	1.74	4.25	2.11	4.00	-0.37
Mitteelamud	4.02	2.53	2.18	2.16	1.84	0.36
Kokku	12.27	4.27	6.43	4.27	5.84	0.00

Tabel 20. Hoonefondi energiatarbimise muutus.

Mudeli järgi on võimalik hoonefondi rekonstrueerimisega kokku hoida 5,84 TWha soojusenergiat. Elektrienergia muutus on väga väike, sest see kasvab 0,37 TWha elamutes ning langeb 0,36 TWha mitteelamutes. Saadud tulemused on sarnased uuringus ENMAK 2030 saadud tulemustega kuluefektiivsel renoveerimisel, kus soojusenergia vähenes 6 TWha ning elektritarbimine 0.15 TWha. Hoonete rekonstrueerimise strateegia arvutustes vähenes soojusenergiatarbimine 6,3 ning elektri tarbimine 0,6 TWha.

3.3 Energiaallikate muutus hoonefondi rekonstrueerimisel

Hoonefondi mudelis keskenduti hoonefondi detailsele energiakasutusele ning määrati igale hoonetüübile energiaallikate osakaalud lähtudes Küttesüsteemide uuringust [2]. Uuringus ei olnud täpseid andmeid kasutatud hoonetüüpide ja pindalade põhised, kuid andsid üldise ülevaate hoonete kütteallikatest. Kütteallikate sisendit nii olemasolevale hoonefondile, kui ka tulevikus rekonstrueeritud hoonete saab täpsustada parameetrite muutmisel. Kütteallikate kasutamist mõjutab nende hind ning erinevad poliitikad, seetõttu on nende tulevikku raske ennustada. Käesolevas töös kasutatud parameetrid on toodud lisades. Energiaallikate aastane energia on toodud joonisel 10 ning tabelis 21.



Joonis 10. Energiaallikate muutus hoonetüüpides.

Elamute energiatarve TWh/a							
Hoonefond	Elekter	Kaugküte	Gaas	Puit	Biogaas	Õli	Süsi
2020	1.73	2.86	0.21	4.78	0.03	0.17	0.20
2050	1.99	2.17	0.34	1.56	0.08	0.04	0.05
Muutus %	15%	-24%	61%	-67%	225%	-73%	-73%

Mitteelamute energiatarve TWh/a							
Hoonefond	Elekter	Kaugküte	Gaas	Puit	Biogaas	Õli	Süsi
2020	2.48	2.88	0.26	0.60	0.03	0.08	0.11
2050	2.23	1.90	0.14	0.20	0.04	0.00	0.00
Muutus %	-10%	-34%	-46%	-67%	37%	-100%	-100%

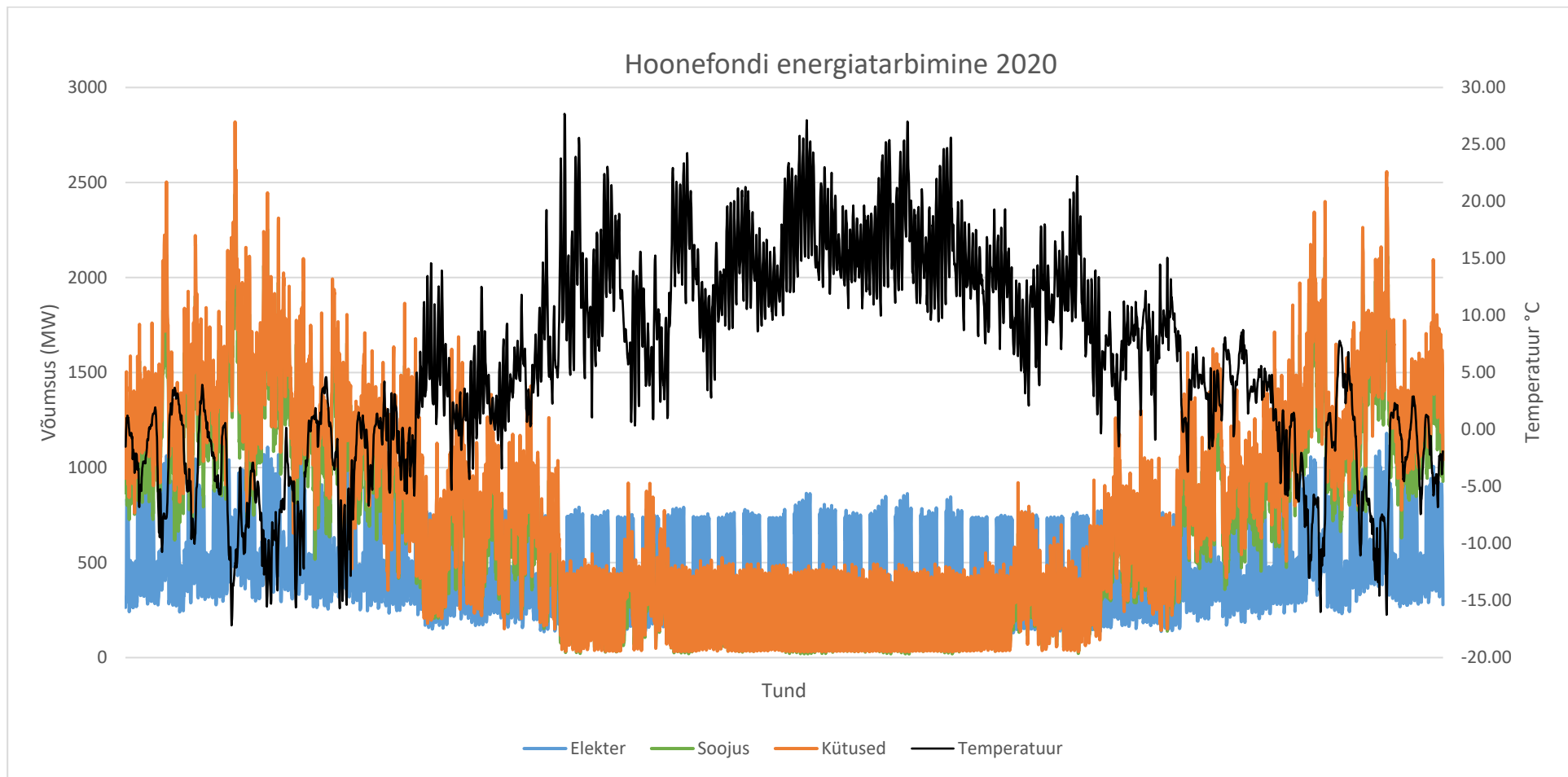
Hoonefondi energiatarve TWh/a							
Hoonefond	Elekter	Kaugküte	Gaas	Puit	Biogaas	Õli	Süsi
2020	4.22	5.74	0.47	5.37	0.05	0.25	0.31
2050	4.22	4.06	0.48	1.76	0.12	0.04	0.05
Muutus %	0%	-29%	2%	-67%	129%	-82%	-83%

Tabel 21. Hoonefondi energiatarve muutus.

Tabelist on näha, et praeguste trendide jätkumisel hoonefondid rekonstrueerimisel on kõige suuremas languses fossiilsed kütused nagu puit, õli ja süsi. Pääaegu muutumatu on elektri tarbimine, sest sisekliima tagamine nõuab teataval määral elektrienergiat. Gaasi kasutamise kasv elamutes on seotud sellega, et enne 2000 ehitatud hoonetes oli gaasikatlaid väga vähe.

3.4 Energiatarbimise tunnitabel

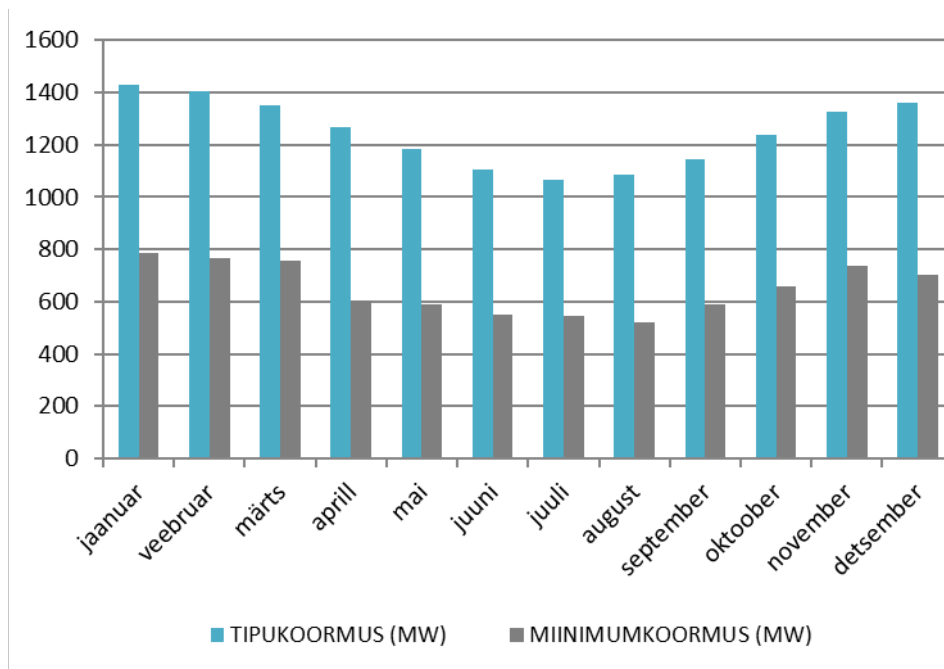
Lõputöö eesmärk oli koostada hoonefondi mudel, mis näitaks hoonete energiatarbimise jaotust vastavalt eesti hoonefondile ning testaasta kliimale. Hoonefondi energiatarbimine aasta jooksul on esitatud joonisel 11. Joonisele on lisatud testaasta temperatuur näitamaks kuidas hoonete energiatarbimine sõltub temperatuurist. Jooniselt on näha, et elektritarbimine kõigub üldiselt vastavalt simuleeritud hoonete kasutusprofiilidele ning kasvab külmade temperatuuridega ning pisut kõige kuumemate temperatuuridega suvel. Soojusenergia ning kütuste tarbimine on mudelis samasugune ning sõltub põhiliselt väli temperatuurist ning sooja tarbevee tootmise graafikust. Graafikul 6 on selgelt näha energiatarbimise sõltuvus temperatuurist, aastaajast ning kasutusgraafikutest, kuid sellelt on raske leida tarbimise tippe ning kogu energiat. Seetõttu on edaspidi sarnaseid graafikuid näidatud kestvusgraafikuna, kus võimused on sorteeritud kasvavalt.



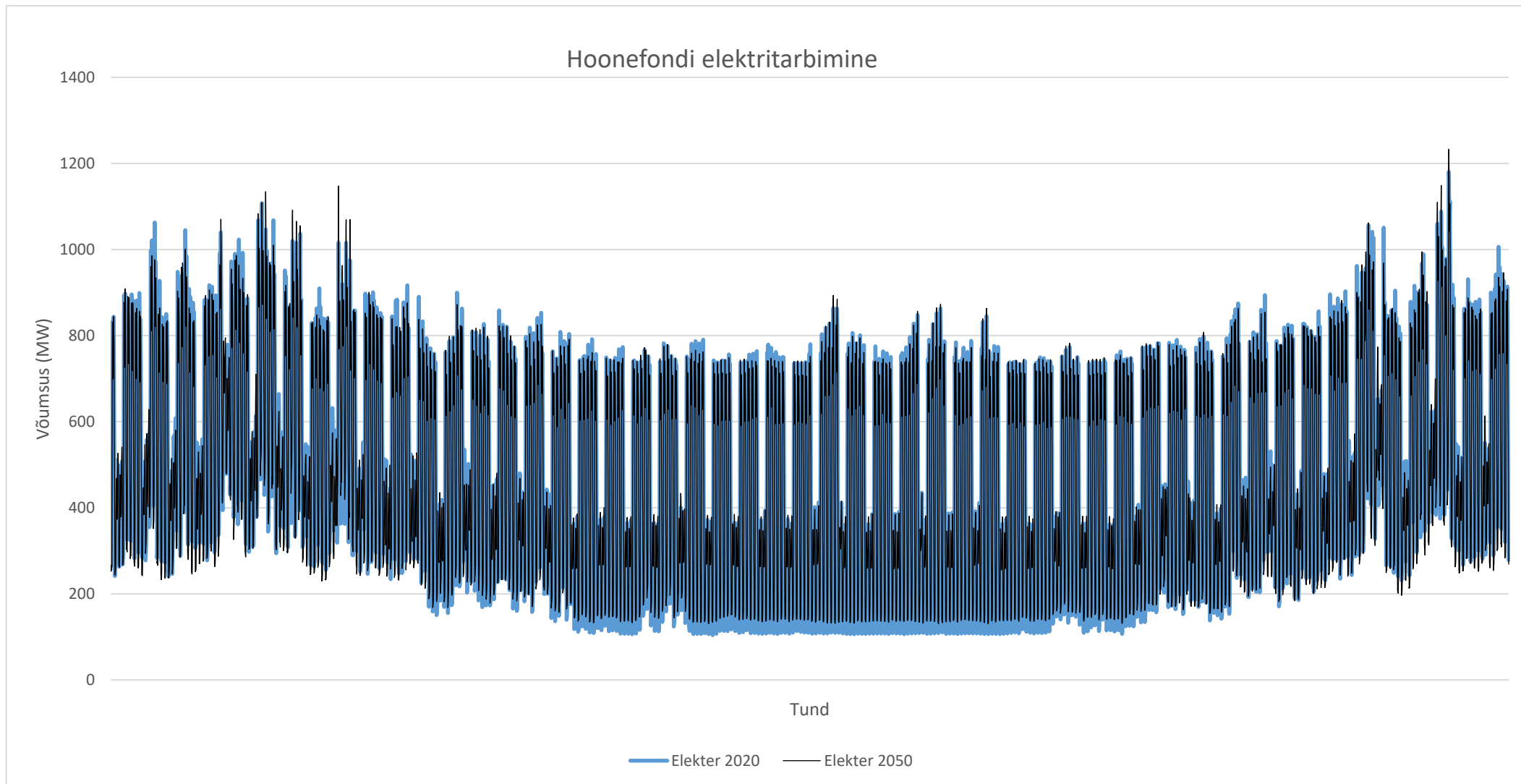
Joonis 11. Hoonefondi energiatarbimine.

3.5 Hoonefondi elektri tarbimine

Eleringi andmetele jäi kogu Eestis tarbitava elektrienergia tipukoormus aastatel 2010 kuni 2020 vahemikku 1400 kuni 1600 MW. Energiatarbimise simulatsioonimudeli järgi tuleb hoonefondi tipukoormus 1180 MW. Lähtudes sellest, et simulatsioonimudel arvestab hoonetele 60% Eestis tarbitavast elektrienergiast on tulemuse suurusjärg õige kui tipukoormus on üsna kõrge. Arvesse tuleb, et elektrienergia, mis tarbitakse teistes sektorites, ei sõltu nii suures osas ilmast ja välistemperatuurist ning tipukoormused ei pruugi ühtida hoonete tarbimisega. Eeldus, mis mõjutab elektritarbimise tipukoormuseid on mudelis kasutatud soojuspumpade lihtsustatud valem, kus arvestati ainult soojuspumba kasuteguri ning elektrikütte osakaaluga. Realsuses toimub soojuspumpades väga külma ilma korral sulatamine ning muud protsessid, mis langetavad kasutegurit ning suurendavad elektriküttevõimsust. Kui võrrelda mudeli tulemusi Elering koostatud prognoosoga aastaks 2022 on hoonefondi mudeli maksimaalsed koormused 85% kogu tarbimise tipukoormusest, mis on natukene kõrge arvestades et prognoos sisaldab võrgukadusid. Miinimumkoormus on hoonefondi mudelis on umbes 100 MW, see on 20% prognoositud miinimumkoormusest. Võib järeldada, elektri tarbimine tööstuses ning mujal on ilmselt ühtlasemad kui hoonefondis. [16]



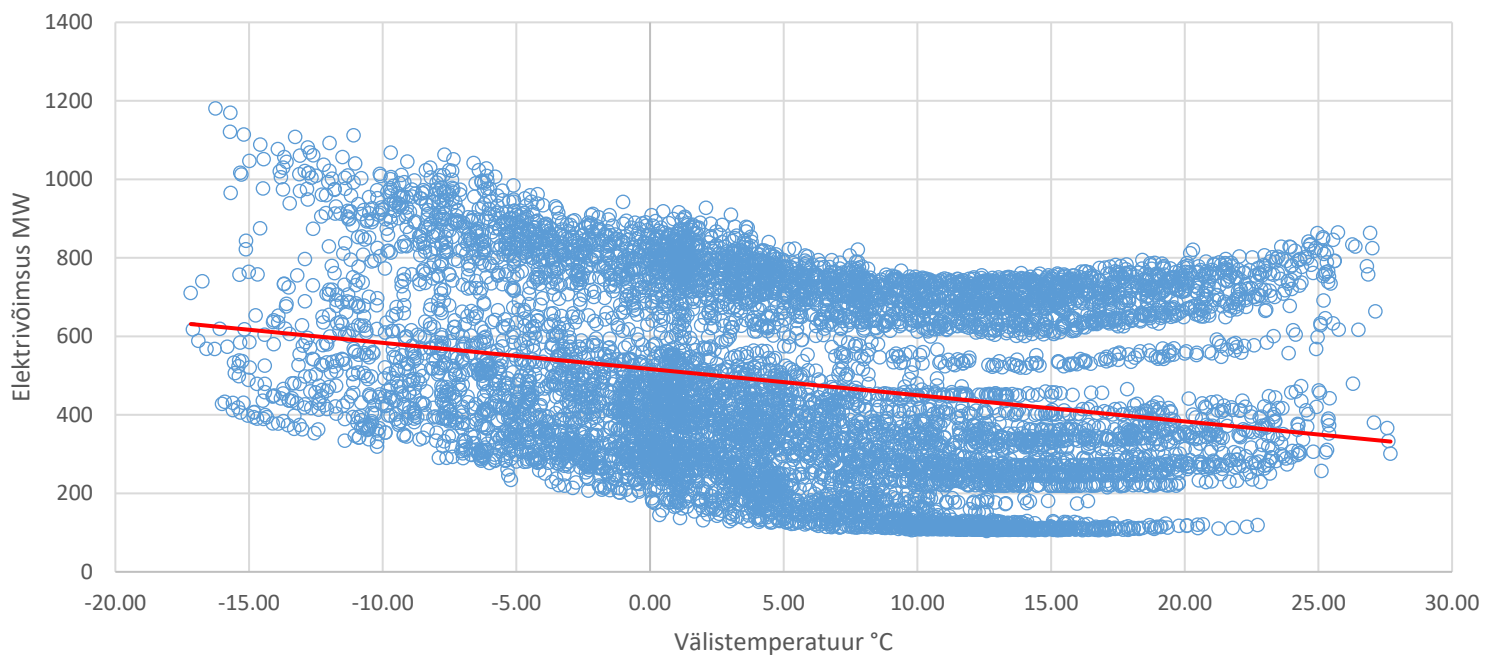
Joonis 12. Eesti tarbimise prognoos aastaks 2022 koos võrgukuludega. Allikas: [16].



Joonis 13. Hoonefondi elektritarbimine aastal 2020 ning 2050.

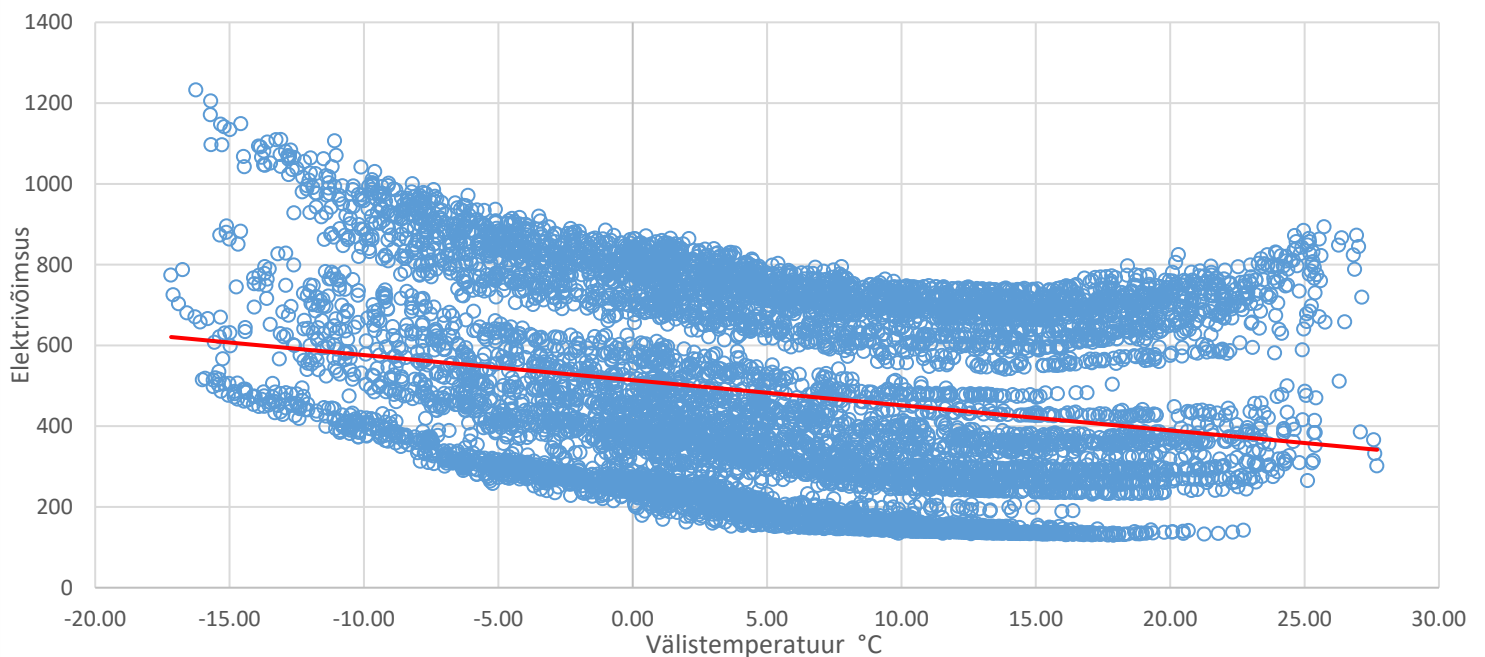
Hoonefondi täielikul rekonstrueerimisel on elektrienergia maksimaalne koormus 1230 MW. Elektrienergia jaotus on samuti väga sarnane praeguse olukorraga. Elektrienergia miinimumkoormus on tõusnud 130 MW-ni. See tuleneb ilmselt ventilaatorite kasutusest elamutes. Nagu eelmises peatükis mainitud jäi summaarne elektri tarbimine samaks. Elektri tarbimine langes tänu efektiivsema valgustuse kasutamisele, samas tõusis soojuspumpade osakaal küttest ning ventilaatorite tarbitav energia parema sisekliima tagamiseks.

Elektrivõimsuse ja välistemperatuuri korrelatsioon



Joonis 15. Elektrivõimsuse ja välistemperatuuri korrelatsioon aastal 2020.

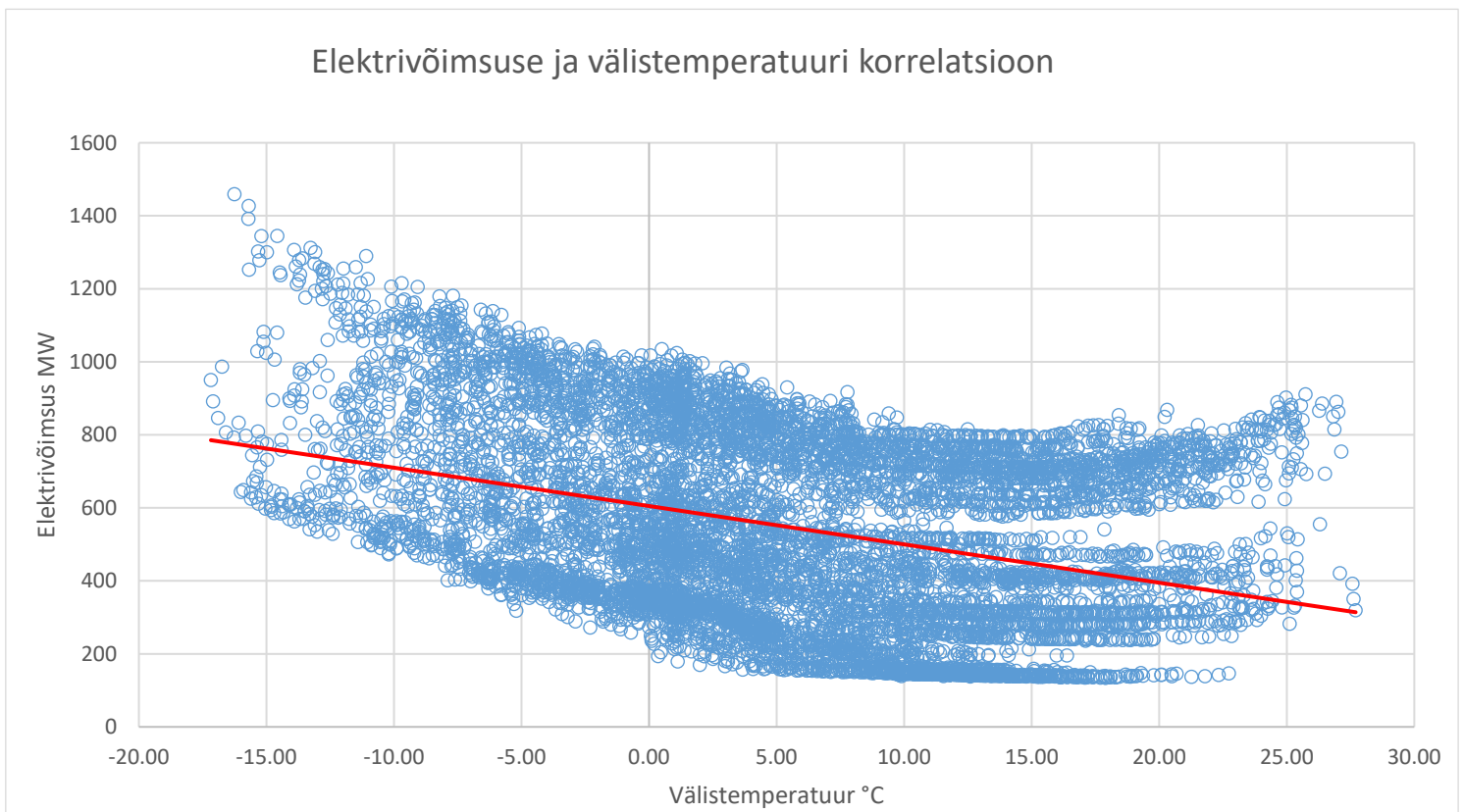
Elektrivõimsuse ja välistemperatuuri korrelatsioon 2050



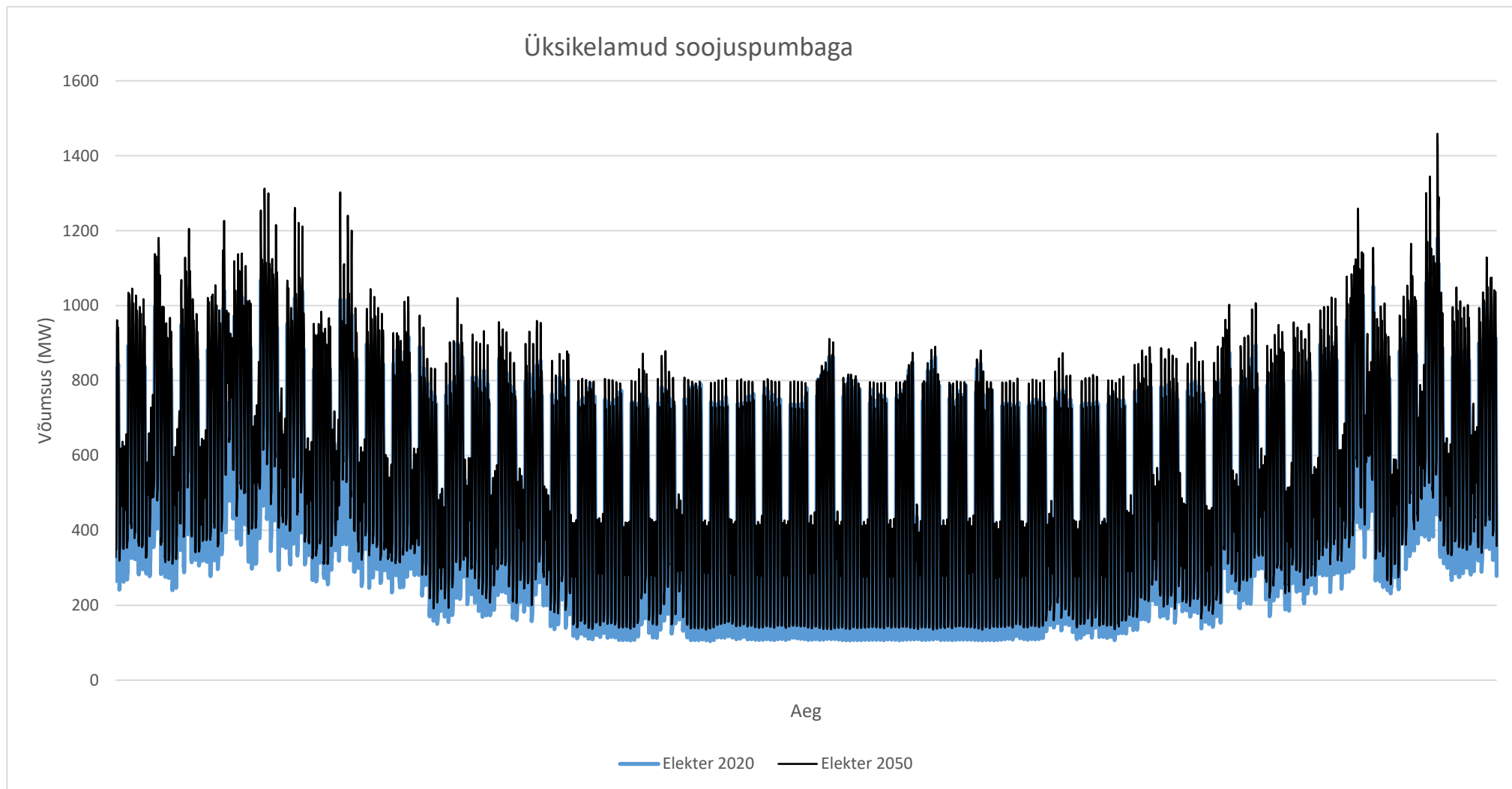
Joonis 14. Elektrivõimsuse ja välistemperatuuri korrelatsioon 2050.

Joonistel on esitatud kogu hoonefondi elektrivõimsuse korrelatsioon välistemperatuuriga aastal 2020 ning 2050 rekonstrueeritud hoonefondiga. Korrelatsioon on negatiivne ning väga nõrk, mõlemal juhul ligikaudu -0.24 . See tähendab, et elektri tarbimine on suurem, kui temperatuur on madalam, kuid seos ei ole eriti tugev. Enamik elektritarbimisest tuleb seadmetest, valgustusest ning sooja tarbevee tootmisest, mis ei sõltu välistemperatuurist. Lisaks on punktipilvest näha, et elektritarbimine suureneb kõrgetel temperatuuridel seoses jahutusega. Kui jahutuseks vajalik elekter välja jätta, oleks elektrivõimsuse korrelatsioon välistemperatuuriga tugevam.

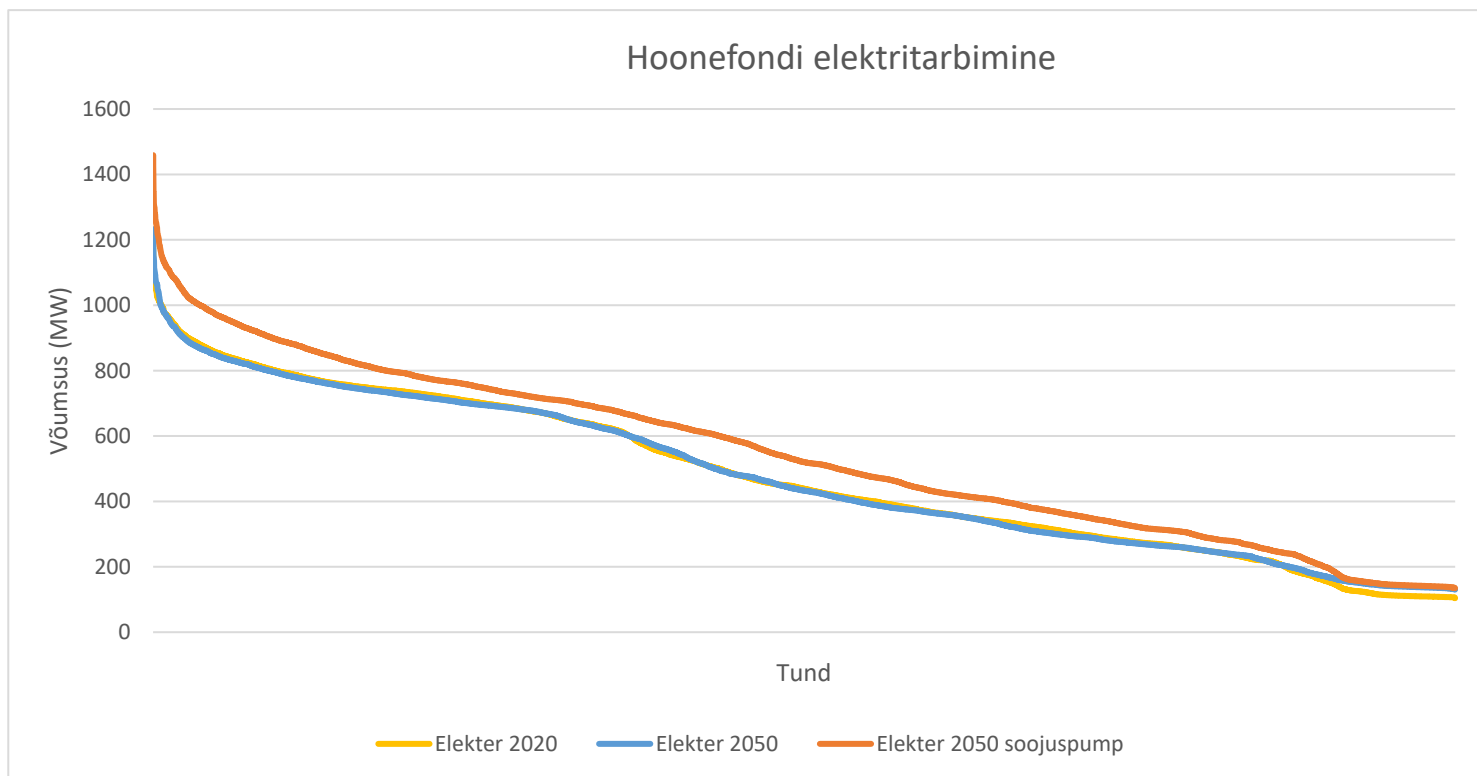
Soojuspumpade mõju hindamiseks elektritarbimisele koostati stsenaarium, kus kogu üksikelamute küteenergia oli toodetud õhk-vesi soojuspumpadega. Sellise stsenaariumi järgi kasvaks hoonete elektritarbimine $0,6$ TWh võrra aastas ning soojusenergia tarbimine langeks $1,9$ TWh võrra aastas. Elektritarbimine aasta jooksul sellise stsenaariumiga, kus üksikelamute soojusallikaks on ainult õhk-vesi soojuspumbad on toodud joonisel 16. Suurim tarbitav võimsus sellisel juhul on 1460 MW, arvestades, et soojuspumpade elektri tarbimine on lihtsustatud. Lisaks on antud stsenaariumis tugevam korrelatsioon välistemperatuuri ning elektrivõimsuse vahel -0.36 .



Joonis 16. Elektrivõimsuse ja välistemperatuuri korrelatsioon 2050 juhul, kui eramaju köetakse ainult soojuspumpadega.



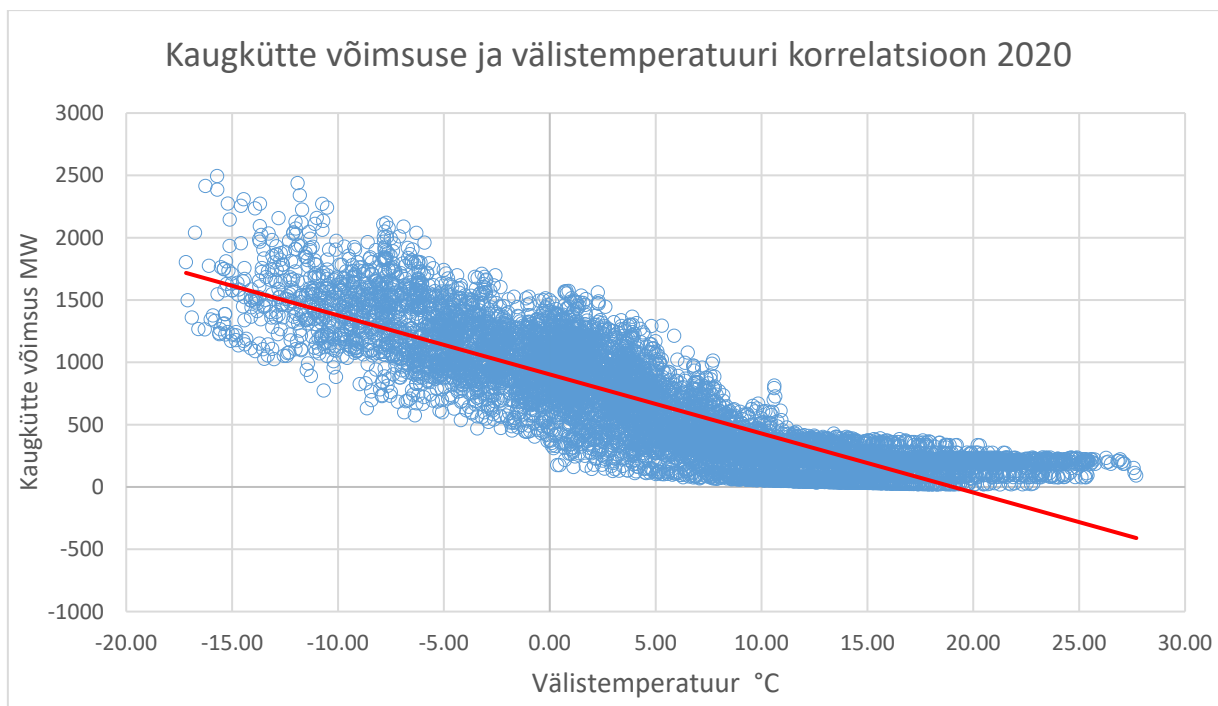
Joonis 17. Hoonefondi elektritarbimine soojuspumpadega üksikelamutega 2050.



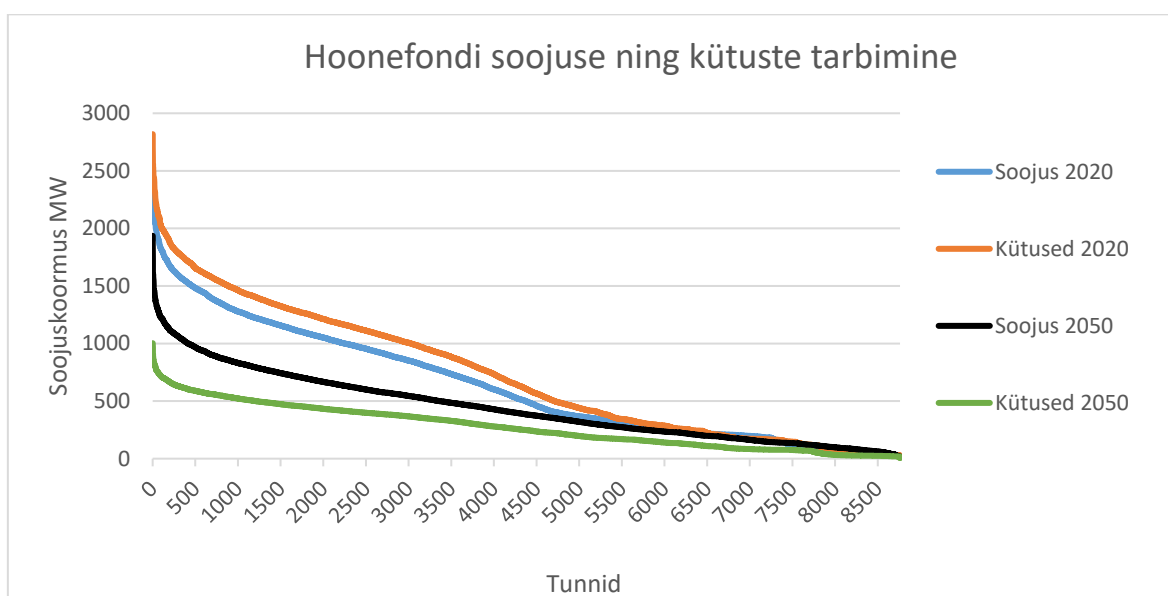
Joonis 18. Hoonefondi elektritarbimise püsivusgraafikud.

3.6 Hoonefondi soojuste ja kütuste tarbimine

Hoonete soojuste ning kütuste tarbimisvõimsus koostatud mudelis jaotuvad aasta peale väga sarnaselt. Kaugkütte ning soojusenergia sõltub põhiliselt välistemperatuurist ning sooja vee tarbimisest. Välistemperatuur ning kaugkütte võimsuse korrelatsioon on umbes -0.85 . See on sama ka kütuste tarbimise nii praeguse hoonefondi kui rekonstrueeritud hoonefondi puhul. Ainukene põhjus, miks see korrelatsioon ei ole -1 on sooja tarbevee tootmine, mis sõltub hoonete kasutusajast. Mudelis on arvestatud, hoonete kasutus ajas ei muutu, mis tähendab et sooja tarbevee tootmine on sama rekonstrueerimata ja rekonstrueeritud hoonetes. Hoonefondi kütteenergia vähenemisel ligi kaks korda jääb tarbevee tootmiseks vajalik energia samaks. 85% sooja vee tarbimisest toimub elamutes. Hoonete neto kütteenergiast moodustab sooja vee tootmine 18% rekonstrueerimata hoonefondis ning 29% rekonstrueeritud hoonetes. Hoonefondi kaugkütte- ning soojusenergia on esitatud joonisel 19. Joonis on esitatud kestvusgraafikuna, kütuste tarbimise ajaline muutus on sama mis joonisel 11.

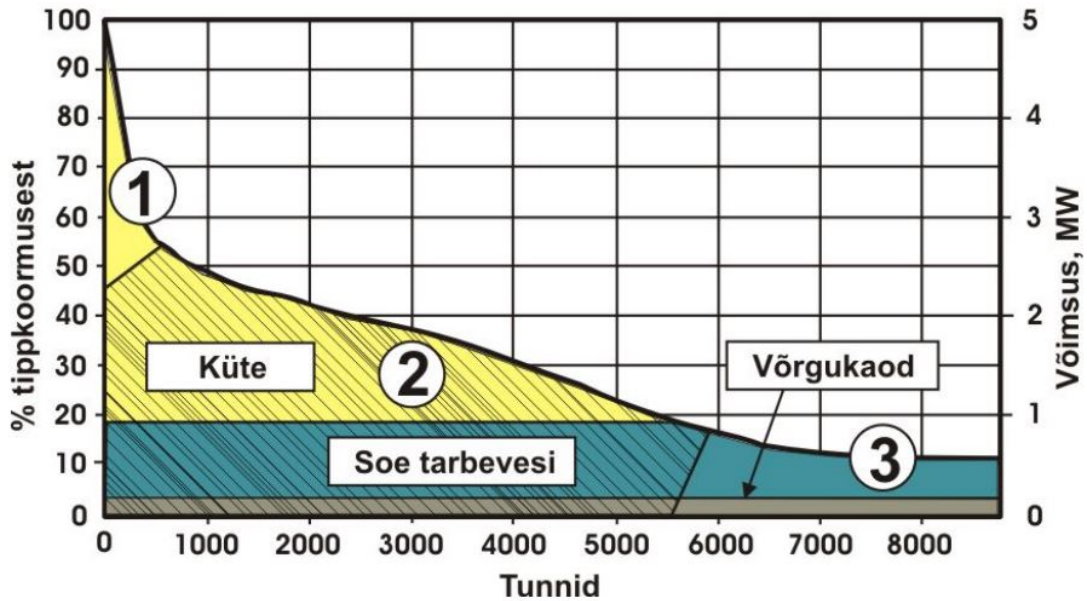


Joonis 19. Hoonefondi kaugkütte võimsuse seos välistemperatuuriga.



Joonis 20. Hoonefondi soojuse ja kütuse tarbimise kestvusgraafikud.

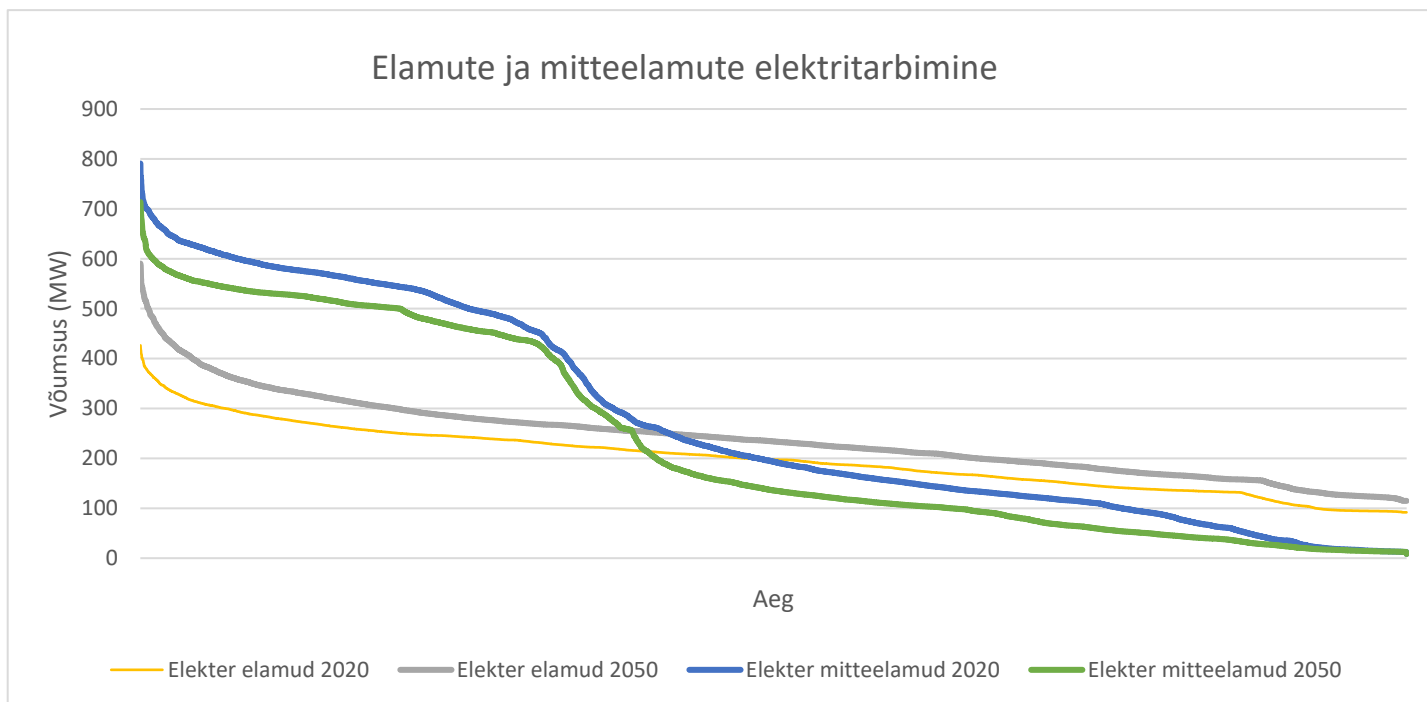
Kaugkütte maksimaalne tarbimine on mudelis 2500 MW praeguses hoonefondis ning 1940 MW rekonstrueeritud hoonefondis. Mudelis on arvestatud, et kaugkütte osakaal kogu tarbitud soojusest kasvab praegusest osakaalust 47% osakaaluni 66%. Kütuste tarbimine väheneb rohkem ning maksimaalne kütuste tarbimine muutub hoonefondi rekonstrueerimisel 2820 MW tunnis 1000 MW-ni. Võrreldes mudelist leitud kestuskõverat käsiraamatus toodud kõveraga kaugkütte tüüpilisest koormusest joonisel 21, on tulemused sarnased.



Joonis 21. Kaugkütte soojuskõormuse kestusgraafik. Allikas: [17].

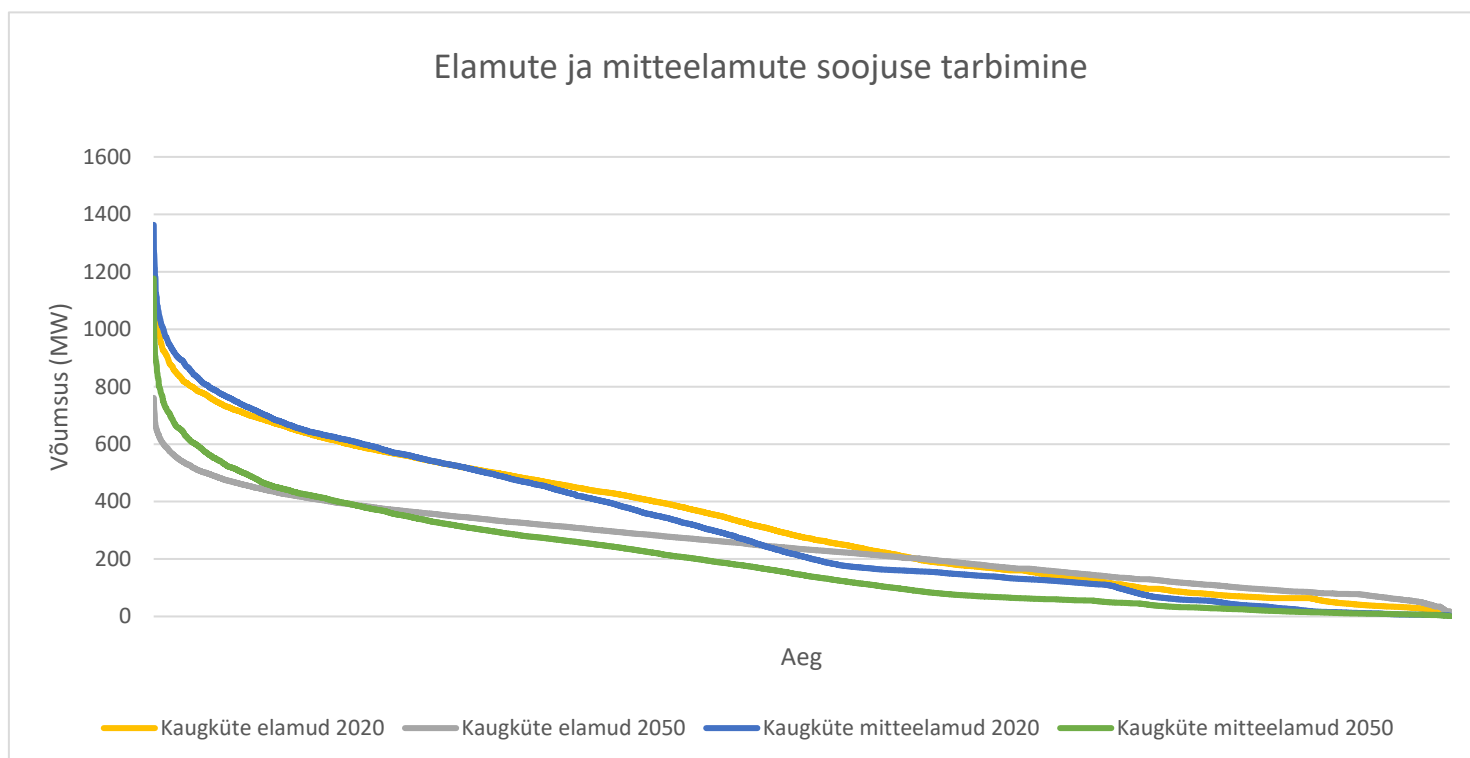
3.7 Elamute ja mitteelamute energiatarbimine

Pindala järgi on Eestis 59% eluhooneid ning 41% mitteeluhooneid. Energiatarbimise osas moodustavad eluhooned 67% soojusenergia tarbimisest ning 41% elektritarbimisest rekonstrueerimata hoonetes. Hoonefondi rekonstrueerimisel jääb elamute soojusenergia tarbimise suhe samaks, kui elektri tarbimise osakaal tõuseb 49%-ni. Elamute elektritarbimise taga mudelis, on ventilatsioonisüsteemi lisamine rekonstrueeritud hoonetele. Lisaks ventilaatorite energiale kasutatakse elamutes ventilatsiooniõhu lisakütteks tavaliselt elektrit. Suurim elektritarbimise võimsus elamutes oli 426 MW praeguses seisus ning 590 MW rekonstrueeritud seisus. Kaugkütte maksimaalne võimsus elamutes langes 1170 MW rekonstrueerimata hoonetes 760 MW-ni rekonstrueeritud hoonetes. Suurim elektritarbimise võimsus mitteelamutes langes 790 MW-lt 710 MW-ni rekonstrueerimisel. Kaugkütte maksimaalne võimsus mitteelamutes langes 1360 MW rekonstrueerimata hoonetes 1175 MW-ni rekonstrueeritud hoonetes.

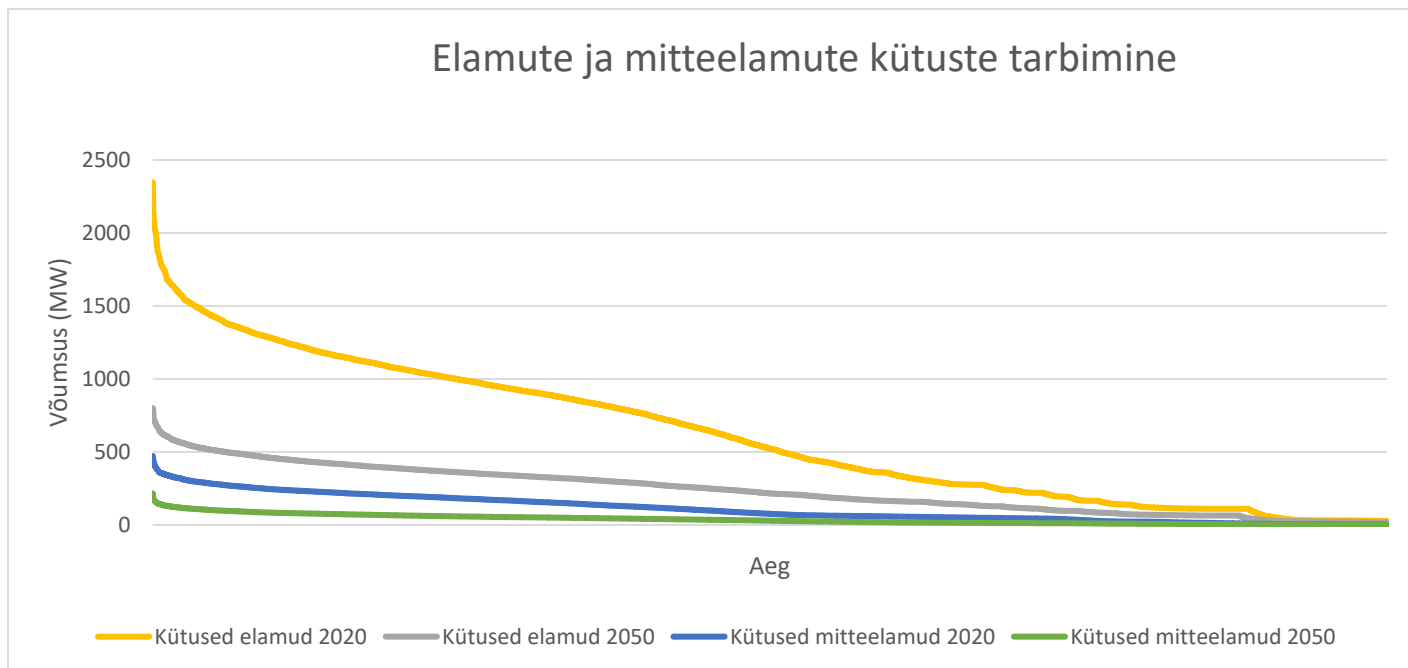


Joonis 23. Elamute ja mitteelamute elektritarbimise kestvusgraafik.

Kui hoonefondi summaarne elektritarbimise graafik muutus rekonstrueerimisel vähe, siis elamute ning mitteelamute lõikes joonistuvad erinevused rohkem välja. Lisaks on näha, et mitteelamutes on suur vahe kasutusaegsel ning kasutusajavälisel tarbimisel. Elamutes on elektritarbimine ühtlasem.



Joonis 22. Elamute ja mitteelamute soojuse tarbimise kestvusgraafik.



Joonis 24. Elamute ja mitteelamute kütuste tarbimise kestvusgraafik.

Elamute ning mitteelamute soojuse ning kütuse tarbimises nii suuri erinevusi kui elektri tarbimises osas, sest need sõltuvad põhiliselt välistemperatuurist. Kütuste tarbimise graafiku varjutab joon, mis iseloomustab kütuste tarbimist rekonstrueerimata elamutes, sest vastavalt tehtud eeldustele väheneb üldiselt kütuste osakaal, kui eriti palju väheneb ahjude osakaal, mis on madala kasuteguriga. Selle tõttu langeb elamute kütuste tarbimine rekonstrueerimisel 66%. Täpsemad kütuste energia tarbimise muutused toodi tabelis 21.

KOKKUVÕTE

Eesti hoonete rekonstrueerimine on tähtis nii kliimamuutuste vähendamiseks, kui ka inimeste elukeskkonna parandamiseks. Hoonefondi rekonstrueerimisel on oluline teada lisaks kogu energia säästmisele ka hoonefondi detailne energiakasutus ning energia tarbimise muutus uueneva hoonefondiga.

Lõputöö käigus koostati mudel, mis leiab tunnipõhiselt elektri ja soojuse tarbimise hoonefondis vastavalt valitud parameetritele. Mudeli koostamiseks kasutati kümne referentshoone simulatsioonimudelit. Hoonefondi jaotati viieks hoonetüübiks: üksikelamu, korterelamul, büroohoone, kaubandus- ja teenindushoone ning haridushoone. Iga hoonetüübi kohta koostati kaks mudelit, üks tüüpiline, enne 2000. aastat ehitatud hoone ning teine, sama geomeetriaga, kuid rekonstrueeritud hoone. Hoonefondi mudeli muudetavateks parameetriteks jäeti soojusallikate osakaalud ja kasutegurid ning rekonstrueerimise tase. Iga soojusallika osakaal määrab kui suurt osa antud hoonetüübist köetakse selle soojusallikaga. Rekonstrueerimise tase määrab kui suur osa enne 2000. aastat ehitatud hoonefondi pindalast on rekonstrueeritud vähemalt energiatõhususklassini C.

Mudeli koostamise sisendiks oli EHR avaandmebaasist võetud hoonefondi netopinnad ja Statistikaameti andmebaasi KE024 lõpptarbimise andmed. Hoonete kasutusastmete ning vabasoojuste leidmisel kasutati määrust nr 58. Arvutustes kasutatud soojusallikate osakaalud tuletati küttesüsteemide ja kliimaseadmete uuringust. Simulatsioonimudelid sobitati varem tehtud uuringutega ning üldistati kogu hoonefondile.

Tulemustest selgus, et koostatud mudel sobib piisavalt hästi olemasolevate andmetega nii aasta lõikes üldistatult, kui energiatarbimise maksimume ning miinimume vaadates. Võrreldes hoonefondi mudelit Eleringi lähiaastate elektritootmise prognoose, moodustab mudel 60% kogu elektritarbimisest ning 85% elektri tipukoormusest. Suures plaanis väheneb hoonefondi rekonstrueerimisel soojuse tarbimine kaks korda ning seda põhiliselt kütuste tarbimise arvelt. Praeguste kütteallikate trendide alusel jääks elektritarbimine hoonetes kokkuvõttes samale tasemele. Mitteelamutes vähenes elektritarbimine efektiivsema valgustuse arvelt. Elamutes seevastu tõusis elektritarbimine tänu ventilatsioonisüsteemi uuendamisele ning soojuspumpade suuremale osakaalule. Stsenaariumis, kus üksikelamute osa köeti tulevikus ainult soojuspumbaga tõusis hoonefondi elektritarbimine 14%. Hoonefondi maksimaalne energiatarbimine oli mudelis 1180 MW praeguse hoonefondiga, 1230 MW 2050 aasta hoonefondiga ning 1460 MW 2050 hoonefondiga, stsenaariumis, kus üksikelamuid köetakse soojuspumbaga.

Elektri tarbimine aasta jooksul oli nõrgalt seotud välistemperatuuriga ja sõltus pigem hoonete kasutusajast. Soojusenergia tarbimine korreleerus tugevalt välistemperatuuriga sõltudes lisaks sooja vee tarbimisest.

Tulemuste tõlgendamisel tasub meeles pidada töös tehtud oletused ja piirangud. Simulatsioonimudel arvestab energiaarvutuste baasaastaga, mis jätab välja ekstreemsed kliimatingimused. Soojuspumpade elektritarbimine on leitud lihtsustatud meetodil, mis vähendab elektri tipukoormusi. Mudelis on kõigile hoonetele rakendatud üksiku hoonele mõeldud inimeste, seadmete, valgustuse ja tarbevee profiile, mis suurema arvu hoonete puhul tegelikkuses natukene ühtlustub. Toodud piiranguid ning täpsemaid sisendandmeid saab adresseerida edasistes töödes.

SUMMARY

Reconstruction of Estonian building stock is important to reduce climate change and to improve people's living environment. It is important to know not only the total energy savings but also the detailed energy use of the building stock and the change in energy consumption with the reconstructed building stock.

In the dissertation, a model was compiled that finds the hourly electricity and heat energy consumption in the building stock according to the selected parameters. Ten reference building simulation models were used to build the model. The building fund was divided into five building types: detached house, apartment building, office building, commercial building and educational building. For each building type, two models were developed, one a typical building built before 2000 and the other a building with the same geometry but reconstructed. The proportions and efficiencies of heat sources and the level of reconstruction were left as the parameters to be changed in the building fund model. The proportion of each heat source determines how much of a given building type is heated by that heat source. The level of reconstruction determines how much of the floor area of the building fund built before 2000 has been reconstructed to at least energy efficiency class C.

Input for compiling the model was the net areas of the building stock taken from the EHR open database and the final consumption data of Statistics Estonia's database KE024. Act No. 58 was used to find the occupancy rates and internal gain of buildings. The shares of heat sources used in the calculations were derived from the survey of heating systems and air-conditioning systems. The simulation models were adapted to previous studies and generalized to the entire building stock.

The results showed that the model fits well with the available data both in general results and by looking at the maximum and minimum energy consumption. Comparing Elering's electricity generation forecasts for the next few years with the building fund model, the model accounts for 60% of total electricity consumption and 85% of peak electricity load. In general, the consumption of heat will be reduced by a factor of two during the reconstruction of the building stock, mainly at the expense of fuel consumption. Based on current trends in heating sources, electricity consumption in buildings would remain broadly unchanged. In non-residential buildings, electricity consumption decreased due to more efficient lighting. In residential buildings, on the other hand, electricity consumption increased due to the renewal of the ventilation system and the higher share of heat pumps. In the scenario where all detached houses were heated only by heat pumps in the future, the electricity consumption of the building stock increased by 14%. The maximum energy consumption of the building

stock in the model was 1180 MW with the current building stock, 1230 MW with the building stock of 2050 and 1460 MW with the building stock of 2050, in a scenario where detached houses are heated by heat pumps.

Electricity consumption during the year was weakly related to the outside temperature and depended more on the usage rates in the buildings. Heating energy consumption correlated strongly with the outside temperature, but also with hot water consumption.

When interpreting the results, it is worth keeping in mind the assumptions and limitations made in the thesis. The simulation model takes into account the base year for energy calculations, which excludes extreme climatic conditions. The electricity consumption of heat pumps has been calculated in a simplified method that reduces peak electricity loads. The model applies the profiles of people, equipment, lighting and domestic water intended for a single building to all buildings, which in practice is slightly smoothed out for a large number of buildings. These limitations and more detailed input data can be addressed in further research.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

[1] Tallinna Tehnikaülikool. "Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia", Tallinn, 2020. Loetud aadressil: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ee_ltrs_2020.pdf. Kasutatud: 11.10.2021.

[2] J. Kurnitski, "Eestis küttesüsteemidele ja kliimaseadmetele rakendatavate energiatõhususe meetmete ning nende tehnosüsteemide hüpoteetilise kohustusliku ülevaatuse meetme rakendamise samaväärsuse analüüs (1.09.2018–19.11.2018)", Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2018.

[3] E. Arumägi, R. Simson, K. Kuusk, T. Kalamees, J. Kurnitski, "Hoonete kuluoptimaalsete energiatõhususe miinimumtasemetega analüüs", Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2018.

[4] Energiamaajanduse arengukava aastani 2030, 20.10.2017. Loetud aadressil: https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf. Kasutatud: 09.10.2021.

[5] K., B. Lindberg, G. Doorman, "Hourly load modelling of non-residential building stock", The Norwegian University of Science and Technology, Norway, 2013.

[6] K. Ahmeda, A. Akhondzada, J. Kurnitskia, B. Olesen, "Occupancy schedules for energy simulation in new prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 standards", *Sustainable Cities and Society*, vol. 35, pp. 134–144, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.010>. Kasutatud: 20.10.2021.

7 Riigi Teataja. 2020. Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika.

[8] M. Kavgic, A. Mavrogianni, D. Mumovic, A. Summerfield, Z. Stevanovic, M. Djurovic-Petrovic. „A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector“ *Building and Environment*, vol. 45, pp 1683-1697, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021>. Kasutatud: 01.12.2021.

[9] D. Wang, J. Landolt, G. Mavromatidis, K. Orehounig, J. Carmeliet. „CESAR: A bottom-up building stock modelling tool for Switzerland to address sustainable energy transformation strategies“ *Energy and Buildings*, vol. 169, pp 9-26, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.020>. Kasutatud: 01.12.2021.

[10] J. Kurnitski, K. Kuusk, T. Tark, A. Uutar, T. Kalamees, E. Pikas. „Energy and investment intensity of integrated renovation and 2030 cost optimal savings“, *Energy and Buildings*, vol. 75, pp 51-59, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.044>. Kasutatud: 01.12.2021.


[11] IPCC. 2021. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Loetud aadressil: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/?fbclid=IwAR0iSDJJ8e8ur2kaQ7NmKlEnS_Rf7kV9KpoiNejf3cY296uiEycJxTE7S6Q#TS. Kasutatud: 11.11.2021.

[12] Statistika Andmebaas KE024. Energiabilanss kütuse või energia liigi järgi, TERADŽAULI (1999-2018).

- [13] T. Kalamees, J. Kurnitski. „Estonian test reference year for energy calculations“. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2005.
- [14] K. Ahmed, A. Akhondzada, J. Kurnitski, B. Olesend. „Occupancy schedules for energy simulation in new prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 standards“. *Sustainable Cities and Society*, vol. 35, pp 134-144, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.010>. Kasutatud: 01.12. 2021.
- [15] E. Fuentes, L. Arce, J. Salom. „A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis“. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 81, pp 1530-1547, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.229>. Kasutatud: 24.11.2021.
- [16] Elektri tarbimine ja tootmine Elering. Loetud aadressil <https://elering.ee/elektri-tarbimine-ja-tootmine>
- [17] Villu Vares, Ülo Kask, Peeter Muiste, Tõnu Pihu, Sulev Soosaar. „Biokütuse kasutaja käsiraamat“ Tallinna Tehnikaülikool, 2005
- [18] Elering, „Eesti elektrisüsteemi tarbimishinnade rahuldamiseks vajalikule tootmisvaru hinnang 2013“
- [19] Eesti energia , „Aastaruanne 2020“

LISAD

Lisa 1. Üksikelamu raportid

		Input data Report	
Project		Building	
Energy performance of buildings, Estonia. -The modeling is based to water radiator heating with district heating system. -q50 for detached house 4.0 m3/[h m2(envelope)] -Building height app. 6 meters -The EP regulation based part of standard equipment load(which has none heat gain) is modeled in "Extra energy and losses" (for detached house). -Window airing with special control macro can be turned on in this building template(detached house) window (see detailed description for using the macro by opening the control macro "EST WindowOpenCtrlForH21C27"). By default window airing is not used in this building template. -No electric sauna stoves		Model floor area	141.6 m ²
Customer		Model volume	316.2 m ³
Created by	Miikael Einstein	Model ground area	70.1 m ²
Location	Tallinn (EST 2019)	Model envelope area	300.3 m ²
Climate file	Estonia_(EST 2019)	Window/Envelope	6.3 %
Case	Üksikelamu	Average U-value	0.5014 W/(m ² K)
Simulated	23-Dec-21 16:06:14	Envelope area per Volume	0.9495 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate				834.723 l/s at 50.000 Pa	
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total	
Walls above ground	113.00	0.30	33.46	22.23	
VS 0.3	113.00	0.30	33.46	22.23	
Walls below ground	0.00	0.00	0.00	0.00	
Roof	95.88	0.30	28.77	19.11	
KL 0.3	95.88	0.30	28.77	19.11	
Floor towards ground	70.08	0.36	25.55	16.97	
PP 0.6	70.08	0.36	25.55	16.97	
Floor towards amb. air	0.00	0.00	0.00	0.00	
Windows	19.00	2.00	38.00	25.24	
0.76 U2	19.00	2.00	38.00	25.24	
Doors	2.30	1.48	3.40	2.25	
VU 1.5	2.30	1.48	3.40	2.25	
Thermal bridges			21.37	14.19	
Total	300.25	0.50	150.54	100.00	


Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
NNE	4.50	2.00	2.00	2.00	9.00	0.76
ESE	3.75	2.00	2.00	2.00	7.50	0.76
SSW	6.25	2.00	2.00	2.00	12.50	0.76
WNW	4.50	2.00	2.00	2.00	9.00	0.76
Total	19.00	2.00	2.00	2.00	38.00	0.76

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU	700.00/560.00	0.70/0.70	1.00/0.80	0.80/0.00

Delivered Energy Overview

	Purchased energy		Peak demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	992	7.0	0.23	1985	14.0
Equipment, facility	760	5.4	0.11	1520	10.7
Electric cooling	0	0.0	0.0	0	0.0
HVAC aux	127	0.9	0.04	255	1.8
Electric heating	14211	100.4	6.84	28422	200.7
DHW, electric	4246	30.0	1.44	8492	60.0
Total, Facility electric	20336	143.6		40674	287.3
Total	20336	143.6		40674	287.3
Equipment, tenant	2217	15.7	0.33	4434	31.3
Total, Tenant electric	2217	15.7		4434	31.3
Grand total	22553	159.3		45108	318.6

Lisa 2. Rekonstrueeritud Üksikelamu raportid

		Input data Report	
Project		Building	
Energy performance of buildings, Estonia. -The modeling is based to water radiator heating with district heating system. -q50 for detached house 4.0 m ³ /[h m ² (envelope)] -Building height app. 6 meters -The EP regulation based part of standard equipment load(which has none heat gain) is modeled in "Extra energy and losses" (for detached house). -Window airing with special control macro can be turned on in this building template(detached house) window (see detailed description for using the macro by opening the control macro "EST WindowOpenCtrlForH21C27"). By default window airing is not used in this building template. -No electric sauna stoves		Model floor area	141.6 m ²
Customer		Model volume	316.2 m ³
Created by	Miikael Einstein	Model ground area	70.1 m ²
Location	Tallinn (EST 2019)	Model envelope area	300.3 m ²
Climate file	Estonia_(EST 2019)	Window/Envelope	6.3 %
Case	Üksikelamu rek	Average U-value	0.3158 W/(m ² K)
Simulated	12-Dec-21 1:18:21	Envelope area per Volume	0.9495 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate		333.513 l/s at 50.000 Pa		
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	113.00	0.20	22.60	23.84
VS 0.2	113.00	0.20	22.60	23.84
Walls below ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Roof	95.88	0.20	19.20	20.25
KL 0.2	95.88	0.20	19.20	20.25
Floor towards ground	70.08	0.19	13.24	13.97
PP 0.24	70.08	0.19	13.24	13.97
Floor towards amb. air	0.00	0.00	0.00	0.00
Windows	19.00	1.20	22.80	24.05
Saint-Gobain T4-12 m. two PLANITHERM ULTRA+ar	19.00	1.20	22.80	24.05
Doors	2.30	0.99	2.30	2.42
VU 1.5	2.30	0.99	2.30	2.42
Thermal bridges			14.68	15.48
Total	300.25	0.32	94.82	100.00


Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
ENE	4.50	0.70	3.20	1.20	5.40	0.50
SSE	3.75	0.70	3.20	1.20	4.50	0.50
WSW	6.25	0.70	3.20	1.20	7.50	0.50
NNW	4.50	0.70	3.20	1.20	5.40	0.50
Total	19.00	0.70	3.20	1.20	22.80	0.50

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU	700.00/560.00	0.70/0.70	1.00/0.80	0.80/0.00

Delivered Energy Overview

	Purchased energy		Peak demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	745	5.3	0.17	1489	10.5
Equipment, facility	759	5.4	0.11	1519	10.7
Electric cooling	0	0.0	0.0	0	0.0
HVAC aux	1094	7.7	0.2	2187	15.5
Electric heating	8739	61.7	4.63	17477	123.4
DHW, electric	4247	30.0	1.03	8494	60.0
Total, Facility electric	15584	110.1		31166	220.1
Total	15584	110.1		31166	220.1
Equipment, tenant	2215	15.6	0.33	4430	31.3
Total, Tenant electric	2215	15.6		4430	31.3
Grand total	17799	125.7		35596	251.4

Lisa 3. Korterehamu raportid

		<h3>Input data Report</h3>	
Project		Building	
Customer		Model floor area	2842.8 m ²
Created by	Kalle Kuusk	Model volume	9093.9 m ³
Location	Tallinn	Model ground area	640.7 m ²
Climate file	Synthetic (winter)	Model envelope area	3203.7 m ²
Case	sõpruse 244	Window/Envelope	16.3 %
Simulated	26-Dec-21 23:59:00	Average U-value	1.268 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.3523 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate			28432.042 l/s at 50.000 Pa	
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	1247.54	1.03	1282.10	31.57
välissein soojustamata 0.8	1133.29	0.80	907.80	22.36
soklipaneel	114.25	3.28	374.30	9.22
Walls below ground	163.01	1.35	219.69	5.41
soklipaneel	163.01	1.35	219.69	5.41
Roof	611.94	0.80	489.00	12.04
katuslagi soojustamata 0.8	611.94	0.80	489.00	12.04
Floor towards ground	640.66	0.40	259.39	6.39
põrand pinnasel	640.66	0.40	259.39	6.39
Floor towards amb. air	0.00	0.00	0.00	0.00
Windows	522.98	2.00	1045.96	25.76
0.7	522.98	2.00	1045.96	25.76
Doors	17.60	1.11	19.54	0.48
uks	17.60	1.11	19.54	0.48
Thermal bridges			745.15	18.35
Total	3203.73	1.27	4060.83	100.00

Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
NNE	21.00	1.90	2.40	2.00	42.00	0.70
ESE	254.42	1.90	2.40	2.00	508.84	0.70
SSW	21.00	1.90	2.40	2.00	42.00	0.70
WNW	226.56	1.90	2.40	2.00	453.12	0.70
Total	522.98	1.90	2.40	2.00	1045.96	0.70


Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU	6.00/10.00	1.00/1.00	0.01/0.01	0.00/1.00

DHW use	kWh/m2 floor area and year	Total, [l/s]
	30.000	0.047

Delivered Energy Overview

	Purchased energy		Peak demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	35556	7.0	8.12		
Cooling	0	0.0	0.0		
HVAC aux	3829	0.8	0.98		
Electric heating	594372	117.1	300.0		
DHW Energy meter	152217	30.0	36.91	152217	30.0
Total, Facility electric	785974	154.9		152217	30.0
Total	785974	154.9		152217	30.0
Equipment, tenant	80014	15.8	12.18		
Total, Tenant electric	80014	15.8		0	0.0
Grand total	865988	170.7		152217	30.0

Lisa 4. Rekonstrueeritud Korterelamu raportid

		Input data Report	
Project		Building	
Customer		Model floor area	2842.8 m ²
Created by	Kalle Kuusk	Model volume	9093.9 m ³
Location	Tallinn	Model ground area	640.7 m ²
Climate file	Synthetic (winter)	Model envelope area	3203.7 m ²
Case	sõpruse 244	Window/Envelope	16.3 %
Simulated	27-Dec-21 0:21:44	Average U-value	0.3831 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.3523 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate			3771.118 l/s at 50.000 Pa	
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	1247.54	0.17	215.20	17.53
välissein 15 cm	1247.54	0.17	215.20	17.53
Walls below ground	163.01	0.15	24.57	2.00
välissein 15 cm	163.01	0.15	24.57	2.00
Roof	611.94	0.26	159.30	12.98
katuslagi	611.94	0.26	159.30	12.98
Floor towards ground	640.66	0.14	90.48	7.37
põrand pinnasel 0.22	640.66	0.14	90.48	7.37
Floor towards amb. air	0.00	0.00	0.00	0.00
Windows	522.98	1.00	522.98	42.61
aknad 1	0.50	1.00	0.50	0.04
aknad	522.48	1.00	522.48	42.57
Doors	17.60	1.11	19.54	1.59
uks	17.60	1.11	19.54	1.59
Thermal bridges			195.30	15.91
Total	3203.73	0.38	1227.38	100.00


Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
N	226.56	1.00	1.00	1.00	226.56	0.62
E	21.00	1.00	1.00	1.00	21.00	0.62
S	254.42	1.00	1.00	1.00	254.42	0.62
W	21.00	1.00	1.00	1.00	21.00	0.62
Total	522.98	0.99	0.99	1.00	522.98	0.62

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU	480.00/420.00	0.60/0.60	0.80/0.70	0.85/1.00

Delivered Energy Overview

	Purchased energy		Peak demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	18309	5.3	4.18		
Cooling	0	0.0	0.0		
HVAC aux	33833	9.7	6.78		
Electric heating	233044	66.9	97.46		
DHW Energy meter	104517	30.0	25.34	104517	30.0
Total, Facility electric	389703	111.9		104517	30.0
Total	389703	111.9		104517	30.0
Equipment, tenant	54929	15.8	8.36		
Total, Tenant electric	54929	15.8		0	0.0
Grand total	444632	127.6		104517	30.0

Lisa 5. Bürohoone raportid

		Input data Report	
Project		Building	
Customer		Model floor area	1759.3 m ²
Created by	Mikk Tasa	Model volume	8846.7 m ³
Location	EVS844_Tallinn	Model ground area	938.4 m ²
Climate file	Eesti	Model envelope area	3789.8 m ²
Case	Büroo	Window/Envelope	21.1 %
Simulated	12-Dec-21 9:42:29	Average U-value	0.5507 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.4284 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate			10982.191 l/s at 50.000 Pa	
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	538.17	0.25	132.78	6.36
M_VS_2_garaaz	5.16	0.33	1.68	0.08
M_VS_2 0.25	533.01	0.25	131.10	6.28
Walls below ground	339.77	0.19	63.52	3.04
M_VS_2_garaaz	339.77	0.19	63.52	3.04
Roof	1029.80	0.21	211.29	10.12
M_KL_2_garaaz	577.60	0.17	96.69	4.63
M_KL_2 0.25	452.20	0.25	114.60	5.49
Floor towards ground	938.40	0.24	222.20	10.65
M_PO_2_garaaz	938.40	0.24	222.20	10.65
Floor towards amb. air	120.09	0.12	14.32	0.69
M_PO_1	120.09	0.12	14.32	0.69
Windows	800.83	1.50	1201.25	57.56
g=0.5 u2	800.83	1.50	1201.25	57.56
Doors	22.70	1.20	27.22	1.30
UKS U=1.2	22.70	1.20	27.22	1.30
Thermal bridges			214.34	10.27
Total	3789.76	0.55	2086.93	100.00


Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
N	236.86	1.50	1.50	1.50	355.29	0.50
E	189.24	1.50	1.50	1.50	283.87	0.50
S	83.52	1.50	1.50	1.50	125.28	0.50
W	286.82	1.50	1.50	1.50	430.23	0.50
R	4.38	1.50	1.50	1.50	6.57	0.50
Total	800.83	1.50	1.50	1.50	1201.25	0.50

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU1	500.00/500.00	0.50/0.50	1.00/1.00	0.00/-5.00

Delivered Energy Overview

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m ²	kW
■	Lighting, facility	43354	24.6	18.46
■	Electric cooling	38807	22.1	86.24
■	HVAC aux	6700	3.8	2.17
■	Electric heating	179245	101.9	103.0
Total, Facility electric		268106	152.4	
Total		268106	152.4	
□	Equipment, tenant	33064	18.8	14.08
□	Heating, tenant	10585	6.0	4.73
Total, Tenant electric		43649	24.8	
Grand total		311755	177.2	

Lisa 6. Rekonstrueeritud Büroohoone raportid

		Input data Report	
Project		Building	
Customer		Model floor area	1759.3 m ²
Created by	Mikk Tasa	Model volume	8846.7 m ³
Location	EVS844_Tallinn	Model ground area	938.4 m ²
Climate file	Eesti	Model envelope area	3789.8 m ²
Case	Büroo rek	Window/Envelope	21.1 %
Simulated	12-Dec-21 12:58:39	Average U-value	0.3502 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.4284 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate			2207.120 l/s at 50.000 Pa	
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	538.17	0.13	68.63	5.17
M_VS_2_garaaz	5.16	0.33	1.68	0.13
M_VS_0.12	533.01	0.13	66.95	5.04
Walls below ground	339.77	0.19	63.60	4.79
M_VS_2_garaaz	339.77	0.19	63.60	4.79
Roof	1029.80	0.15	150.59	11.35
M_KL_2_garaaz	577.60	0.17	96.69	7.29
M_KL_1	452.20	0.12	53.90	4.06
Floor towards ground	938.40	0.24	221.69	16.70
M_PO_2_garaaz	938.40	0.24	221.69	16.70
Floor towards amb. air	120.09	0.12	14.32	1.08
M_PO_1	120.09	0.12	14.32	1.08
Windows	800.83	0.80	640.66	48.27
g=0.25	800.83	0.80	640.66	48.27
Doors	22.70	1.20	27.22	2.05
UKS U=1.2	22.70	1.20	27.22	2.05
Thermal bridges			140.60	10.59
Total	3789.76	0.35	1327.32	100.00


Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor
N	236.86	0.80	0.80	0.80	189.49	0.25
E	189.24	0.80	0.80	0.80	151.40	0.25
S	83.52	0.80	0.80	0.80	66.82	0.25
W	286.82	0.80	0.80	0.80	229.46	0.25
R	4.38	0.80	0.80	0.80	3.50	0.25
Total	800.83	0.80	0.80	0.80	640.66	0.25

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU1	150.00/150.00	0.20/0.20	0.75/0.75	0.85/-5.00

Delivered Energy Overview

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m ²	kW
■	Lighting, facility	27545	15.7	11.73
■	Electric cooling	23658	13.5	90.75
■	HVAC aux	17871	10.2	5.54
■	Electric heating	77893	44.3	76.6
	Total, Facility electric	146967	83.5	
	Total	146967	83.5	
□	Equipment, tenant	33058	18.8	14.08
□	Heating, tenant	10585	6.0	4.73
	Total, Tenant electric	43643	24.8	
	Grand total	190610	108.3	

Lisa 7. Kaubandus- ja teenindushoone raportid

		<h3>Input data Report</h3>	
Project		Building	
Customer		Model floor area	5586.6 m ²
Created by	Mari Muhel	Model volume	32162.4 m ³
Location	Tallin-Harku_260380 (ASHRAE 2013)	Model ground area	5081.5 m ²
Climate file	EST_TALLINN_260380(IW2)1	Model envelope area	13037.8 m ²
Case	muldel 100 vabasoojus	Window/Envelope	1.1 %
Simulated	13-Dec-21 20:37:40	Average U-value	0.4186 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.4054 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate			35474.375 l/s at 50.000 Pa	
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	2361.49	0.47	1105.17	20.25
VS- sandwich	20.33	0.25	5.06	0.09
Laagri VS- sandwich	212.24	0.25	52.85	0.97
VS- sandwich 0.5	2042.44	0.50	1026.00	18.80
Laagri VS-2 sokkel	86.48	0.25	21.26	0.39
Walls below ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Roof	5230.79	0.46	2431.20	44.55
Laagri KL-1	557.48	0.20	111.20	2.04
KL- 0.5	4673.31	0.50	2320.00	42.51
Floor towards ground	5081.47	0.20	1020.56	18.70
P-01	5081.47	0.20	1020.56	18.70
Floor towards amb. air	169.38	1.83	310.58	5.69
VL2-p	102.06	2.23	228.00	4.18
P-01	20.30	3.61	73.38	1.35
VL-5 kontor	47.01	0.20	9.20	0.17
Windows	145.87	1.95	284.77	5.22
SGG Planitherm Ultra-N 2+1-panes	137.05	1.98	271.10	4.97
Glass 1	8.82	1.55	13.67	0.25
Doors	48.78	1.16	56.44	1.03
laagri uks metall	48.78	1.16	56.44	1.03
Thermal bridges			248.57	4.55
Total	13037.77	0.42	5457.30	100.00


Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
NE	45.60	0.91	11.60	1.98	90.20	0.52
E	12.16	0.91	11.60	1.98	24.05	0.52
SE	63.00	0.99	10.26	1.92	120.84	0.52
SW	13.86	0.91	11.60	1.98	27.42	0.52
NW	11.25	0.91	11.60	1.98	22.25	0.52
Total	145.87	0.94	11.02	1.95	284.77	0.52

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
SV2	750.00/500.00	0.50/0.50	1.50/1.00	0.00/1.00

Delivered Energy Overview

	Used energy		Purchased energy		Peak demand
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kW
■ Lighting, facility	314518	56.3	314518	56.3	61.45
■ Electric cooling	5924	1.1	5924	1.1	65.22
■ HVAC aux	58978	10.6	58978	10.6	15.42
Total, Facility electric	379420	67.9	379420	67.9	
■ Fuel heating	847848	151.8	847848	151.8	495.5
Total, Facility fuel*	847848	151.8	847848	151.8	
Total	1227268	219.7	1227268	219.7	
□ Equipment, tenant	15718	2.8	15718	2.8	4.88
Total, Tenant electric	15718	2.8	15718	2.8	
	Generated energy		Sold energy		Peak generated
■ CHP electricity	0	0.0	0	0.0	0.0
Total, Produced electric	0	0.0	0	0.0	
Grand total	1242986	222.5	1242986	222.5	

Lisa 8. Rekonstrueeritud kaubandus- ja teenindushoone raportid

		<h3>Input data Report</h3>	
Project		Building	
Customer		Model floor area	5586.6 m ²
Created by	Mari Muhel	Model volume	32162.4 m ³
Location	Tallin-Harku_260380 (ASHRAE 2013)	Model ground area	5074.4 m ²
Climate file	EST_TALLINN_260380(IW2)1	Model envelope area	13030.7 m ²
Case	mudel 100 vabasoojus	Window/Envelope	1.1 %
Simulated	14-Dec-21 0:23:09	Average U-value	0.1471 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.4052 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate			7100.386 l/s at 50.000 Pa	
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	2361.49	0.14	332.30	17.34
VS- sandwich	20.33	0.25	5.06	0.26
Laagri VS- sandwich	212.24	0.25	52.85	2.76
0.125	2068.75	0.13	259.60	13.55
Laagri VS-2 sokkel	60.18	0.25	14.79	0.77
Walls below ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Roof	5230.79	0.13	692.10	36.11
Laagri KL-1	557.48	0.20	111.20	5.80
kl 0.125	4673.31	0.12	580.90	30.31
Floor towards ground	5074.39	0.09	432.19	22.55
pp 0.19	5074.39	0.09	432.19	22.55
Floor towards amb. air	169.38	1.42	241.05	12.58
VL2-p	102.06	2.23	228.00	11.90
pp 0.19	20.30	0.19	3.85	0.20
VL-5 kontor	47.01	0.20	9.20	0.48
Windows	145.87	1.02	148.35	7.74
SGG Planitherm Ultra-N 2+1-panes	137.05	1.02	139.53	7.28
Glass 2	8.82	1.00	8.82	0.46
Doors	48.78	1.16	56.44	2.94
laagri uks metall	48.78	1.16	56.44	2.94
Thermal bridges			13.96	0.73
Total	13030.70	0.15	1916.40	100.00


Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
NNE	45.60	0.91	2.00	1.02	46.42	0.52
ENE	12.16	0.91	2.00	1.02	12.38	0.52
ESE	63.00	0.92	1.86	1.02	63.98	0.52
SSW	13.86	0.91	2.00	1.02	14.11	0.52
WNW	11.25	0.91	2.00	1.02	11.45	0.52
Total	145.87	0.91	1.94	1.02	148.35	0.52

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
SV2	500.00/250.00	0.50/0.50	1.00/0.50	0.85/-5.00

Delivered Energy Overview

		Used energy		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kW
■	Lighting, facility	267230	47.8	267230	47.8	52.23
■	Electric cooling	8492	1.5	8492	1.5	101.2
■	HVAC aux	98049	17.6	98049	17.6	18.31
	Total, Facility electric	373771	66.9	373771	66.9	
■	Fuel heating	399946	71.6	399946	71.6	367.4
	Total, Facility fuel*	399946	71.6	399946	71.6	
	Total	773717	138.5	773717	138.5	
□	Equipment, tenant	15719	2.8	15719	2.8	4.88
	Total, Tenant electric	15719	2.8	15719	2.8	
		Generated energy		Sold energy		Peak generated
■	CHP electricity	0	0.0	0	0.0	0.0
	Total, Produced electric	0	0.0	0	0.0	
	Grand total	789436	141.3	789436	141.3	

Lisa 9. Haridushoone raportid

		Input data Report	
Project		Building	
Energy performance of buildings, Estonia. -The modeling is based to water radiator heating with district heating system. -q50 for school building 3.0 m3/[h m2(envelope)] -Building height app. 6 meters -Compressor-driven cooler with COP 3.5 and 1.05 electricity use factor of auxiliary devices resulting COP(with aux.) 3.0.		Model floor area	7553.1 m ²
Customer		Model volume	23995.5 m ³
Created by	gerli	Model ground area	2592.6 m ²
Location	Tallinn (EST 2012)	Model envelope area	10036.4 m ²
Climate file	Estonia_(EST 2012)	Window/Envelope	11.2 %
Case	Haridus	Average U-value	0.6062 W/(m ² K)
Simulated	14/12/2021 23:05:03	Envelope area per Volume	0.4183 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate			41814.868 l/s at 50.000 Pa	
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	2810.36	0.48	1345.46	22.12
VS juurdeehitav (0,14)	39.04	0.14	5.46	0.09
sokkel (0,5)	2771.32	0.48	1340.00	22.03
Walls below ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Roof	2591.41	0.40	1027.00	16.88
KL (0,4)	2591.41	0.40	1027.00	16.88
Floor towards ground	2592.60	0.24	624.27	10.26
Kelder VL (0,6)	2592.60	0.24	624.27	10.26
Floor towards amb. air	891.99	0.59	525.50	8.64
Kelder VL (0,6)	891.99	0.59	525.50	8.64
Windows	1119.19	1.97	2203.53	36.22
0,5 1	1119.19	1.97	2203.53	36.22
Doors	30.90	1.10	33.99	0.56
Vuks (1,1)	30.90	1.10	33.99	0.56
Thermal bridges			323.52	5.32
Total	10036.45	0.61	6083.27	100.00


Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
ENE	405.72	1.00	3.60	1.99	808.79	0.50
SSE	111.36	1.00	3.60	1.99	221.99	0.50
WSW	473.58	1.00	3.60	1.99	944.06	0.50
NNW	128.53	1.00	3.60	1.78	228.69	0.50
Total	1119.19	1.00	3.60	1.97	2203.53	0.50

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU	1050.00/700.00	0.70/0.70	1.50/1.00	0.00/0.00

Delivered Energy Overview

	Purchased energy		Peak demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	102597	13.6	64.4	205194	27.2
Electric cooling	0	0.0	0.0	0	0.0
HVAC aux	24284	3.2	9.96	48568	6.4
Electric heating	945055	125.1	547.9	1890110	250.2
DHW, electric	75539	10.0	50.0	151078	20.0
Total, Facility electric	1147475	151.9		2294950	303.8
Total	1147475	151.9		2294950	303.8
Equipment, tenant	54721	7.2	34.35	109442	14.5
Total, Tenant electric	54721	7.2		109442	14.5
Grand total	1202196	159.2		2404392	318.3

Lisa 10. Rekonstrueeritud haridushoone raportid

		Input data Report	
Project		Building	
Energy performance of buildings, Estonia. -The modeling is based to water radiator heating with district heating system. -q50 for school building 3.0 m3/[h m2(envelope)] -Building height app. 6 meters -Compressor-driven cooler with COP 3.5 and 1.05 electricity use factor of auxiliary devices resulting COP(with aux.) 3.0.		Model floor area	8173.9 m ²
Customer		Model volume	24497.5 m ³
Created by	gerli	Model ground area	2319.5 m ²
Location	Tallinn (EST 2012)	Model envelope area	9773.1 m ²
Climate file	Estonia_(EST 2012)	Window/Envelope	12.2 %
Case	Haridushoone rek	Average U-value	0.2501 W/(m ² K)
Simulated	14/12/2021 23:58:45	Envelope area per Volume	0.3989 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate		5419.704 l/s at 50.000 Pa		
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	3117.34	0.13	408.95	16.73
VS juurdehitatav (0,14)	377.08	0.14	52.75	2.16
VS (0,13)	2740.26	0.13	356.20	14.57
Walls below ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Roof	2214.44	0.13	287.70	11.77
KL (0,13)	2214.44	0.13	287.70	11.77
Floor towards ground	2319.46	0.13	298.90	12.23
PP (0,2)	2319.46	0.13	298.90	12.23
Floor towards amb. air	896.01	0.14	125.40	5.13
Kelder VL (0,14)	896.01	0.14	125.40	5.13
Windows	1194.97	0.85	1014.56	41.51
Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 165+ar+PLANITHERM ULTRA	1194.97	0.85	1014.56	41.51
Doors	30.90	1.10	33.99	1.39
Vuks (1,1)	30.90	1.10	33.99	1.39
Thermal bridges			274.90	11.25
Total	9773.14	0.25	2444.40	100.00

Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
ENE	464.04	0.70	1.09	0.85	393.98	0.31
SSE	161.76	0.70	1.09	0.85	137.34	0.31
WSW	518.94	0.70	1.09	0.85	440.59	0.31
NNW	50.23	0.70	1.09	0.85	42.65	0.31
Total	1194.97	0.70	1.09	0.85	1014.56	0.31

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU	700.00/350.00	0.70/0.70	1.00/0.50	0.80/-5.00

Delivered Energy Overview

	Purchased energy		Peak demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
■ Lighting, facility	96333	11.8	63.76	192666	23.6
■ Electric cooling	15	0.0	0.26	30	0.0
■ HVAC aux	82521	10.1	37.31	165041	20.2
■ Electric heating	308057	37.7	443.0	616113	75.4
■ DHW, electric	81736	10.0	9.33	163472	20.0
Total, Facility electric	568662	69.6		1137322	139.1
Total	568662	69.6		1137322	139.1
□ Equipment, tenant	59275	7.3	39.24	118550	14.5
Total, Tenant electric	59275	7.3		118550	14.5
Grand total	627937	76.8		1255872	153.6

Lisa 11. Mudelis kasutatud parameetrid

Üksikelamu											
	Elekter küte	Maasoojus	Õhk-vesi	Väljtõmbe	Gaas	Puidukatel	Ahi	Biogaas	Kaugküte	Õli	Süsi
kasutegur/cop	1.00	3.60	2.80	2.20	0.90	0.75	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop rek	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop >2000	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kütteallika osakaal	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.27	0.58	0.00	0.01	0.05	0.05
kütteallika osakaal rek	0.01	0.12	0.18	0.00	0.11	0.26	0.25	0.01	0.02	0.02	0.02
kütteallika osakaal >2000	0.01	0.12	0.18	0.00	0.11	0.26	0.25	0.01	0.02	0.02	0.02

Korterelamu											
	Elekter küte	Maasoojus	Õhk-vesi	Väljtõmbe	Gaas	Puidukatel	Ahi	Biogaas	Kaugküte	Õli	Süsi
kasutegur/cop	1.00	3.60	2.80	2.20	0.90	0.75	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop rek	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop >2000	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kütteallika osakaal	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.20	0.00	0.61	0.01	0.01
kütteallika osakaal rek	0.02	0.03	0.01	0.11	0.03	0.02	0.01	0.02	0.75	0.00	0.00
kütteallika osakaal >2000	0.02	0.04	0.01	0.02	0.06	0.02	0.01	0.02	0.80	0.00	0.00

Korterelamu											
	Elekter küte	Maasoojus	Õhk-vesi	Väljtõmbe	Gaas	Puidukatel	Ahi	Biogaas	Kaugküte	Õli	Süsi
kasutegur/cop	1.00	3.60	2.80	2.20	0.90	0.75	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop rek	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop >2000	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kütteallika osakaal	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.20	0.00	0.61	0.01	0.01
kütteallika osakaal rek	0.02	0.03	0.01	0.11	0.03	0.02	0.01	0.02	0.75	0.00	0.00
kütteallika osakaal >2000	0.02	0.04	0.01	0.02	0.06	0.02	0.01	0.02	0.80	0.00	0.00

Büroohoone											
	Elekter küte	Maasoojus	Õhk-vesi	Väljtõmbe	Gaas	Puidukatel	Ahi	Biogaas	Kaugküte	Õli	Süsi
kasutegur/cop	1.00	3.60	2.80	2.20	0.90	0.75	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop rek	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop >2000	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kütteallika osakaal	0.10	0.00	0.00	0.00	0.03	0.13	0.02	0.01	0.68	0.01	0.02
kütteallika osakaal rek	0.01	0.03	0.03	0.11	0.03	0.04	0.01	0.02	0.72	0.00	0.00
kütteallika osakaal >2000	0.01	0.04	0.01	0.02	0.06	0.02	0.01	0.02	0.81	0.00	0.00

Kaubandus ja teenindushoone											
	Elekter küte	Maasoojus	Õhk-vesi	Väljtõmbe	Gaas	Puidukatel	Ahi	Biogaas	Kaugküte	Õli	Süsi
kasutegur/cop	1.00	3.60	2.80	2.20	0.90	0.75	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop rek	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop >2000	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kütteallika osakaal	0.37	0.00	0.00	0.00	0.05	0.09	0.02	0.01	0.43	0.01	0.02
kütteallika osakaal rek	0.10	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02	0.72	0.00	0.00
kütteallika osakaal >2000	0.12	0.04	0.01	0.02	0.06	0.02	0.01	0.01	0.71	0.00	0.00

Haridus ja teadushoone											
	Elekter küte	Maasoojus	Õhk-vesi	Väljtõmbe	Gaas	Puidukatel	Ahi	Biogaas	Kaugküte	Õli	Süsi
kasutegur/cop	1.00	3.60	2.80	2.20	0.90	0.75	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop rek	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop >2000	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kütteallika osakaal	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.16	0.06	0.01	0.67	0.01	0.02
kütteallika osakaal rek	0.04	0.02	0.04	0.01	0.06	0.11	0.02	0.02	0.68	0.00	0.00
kütteallika osakaal >2000	0.04	0.04	0.05	0.01	0.06	0.07	0.02	0.02	0.69	0.00	0.00

Muu											
	Elekter küte	Maasoojus	Õhk-vesi	Väljtõmbe	Gaas	Puidukatel	Ahi	Biogaas	Kaugküte	Õli	Süsi
kasutegur/cop	1.00	3.60	2.80	2.20	0.90	0.75	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop rek	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kasutegur/cop >2000	1.00	3.60	2.80	2.60	0.95	0.85	0.60	0.90	0.90	0.90	0.75
kütteallika osakaal	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.02	0.00	0.63	0.03	0.03
kütteallika osakaal rek	0.05	0.02	0.08	0.03	0.06	0.06	0.01	0.01	0.68	0.00	0.00
kütteallika osakaal >2000	0.05	0.04	0.08	0.01	0.06	0.06	0.01	0.01	0.68	0.00	0.00