



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja Arhitektuuri instituut

HOONE ENERGIATÕHUSUSE MIINIMUMNÕUETE MUUDATUSE MÕJU MAAGAASI KONKURENTSIVÕIMELE

THE IMPACT OF CHANGES IN THE REQUIREMENTS OF ENERGY EFFICIENCY OF BUILDING ON NATURAL GAS COMPETITIVENESS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Aleksandra Kislenkova

Üliõpilaskood: 144436

Juhendaja: Eduard Latõšov, dotsent

Kaasjuhendaja: Kalle Kuusk, vanem teadur

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

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

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

/nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (autori nimi) (sünnikuupäev:)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

_____ ,

(lõputöö pealkiri)

mille _____ juhendaja _____ on

_____ ,

(juhendaja nimi)

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

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

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

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

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

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Aleksandra Kislenkova, 144436
Õppekava, peeriala: EAKI02/09, hoonete sisekliima ja veetehnika
Juhendaja: dotsent, Eduard Latõšov, 6203908
Kaasjuhendaja: vanem teadur, Kalle Kuusk, 6202402

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Hoone energiatõhususe miinimumnõuete muudatuse mõju maagaasi konkurentsivõimele*

(inglise keeles) *The impact of changes in the requirements for energy efficiency of buildings on natural gas competitiveness*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida objekti energiatõhususarvu muutuseid seoses Hoone energiatõhususe miinimumnõuete muudatustega, kasutades erinevaid soojusallikaid (kaugküttet ja maagaasi).
2. Teostada ettepanekuid maagaasi konkurentsivõime parandamiseks
4. Rakendada ettepanekuid ning teostada kontrollarvutusi

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Energiatõhususarvu leidmine ja mudeli oluline rekonstrueerimine	11.11.19
2.	Rekonstrueeritud mudeli energiamärgiste leidmine ning võrdlemine, kasutades soojusallikana kaugküttet ning maagaasi	20.11.19
3.	Maagaasi konkurentsivõime parandamise ettepaneku esitamine, analüüs ning kokkuvõtte kirjutamine	20.12.19

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** " 6 "jaanuar 2020 a

Üliõpilane: Aleksandra Kislenkova ".....".....201.....a

/allkiri/

Juhendajad: Eduard Latõšov ".....".....201.....a

/allkiri/

Kalle Kuusk ".....".....201.....a

/allkiri/

Programmijuht: Martin Thalfeldt ".....".....201.....a

/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1 HOONETE ENERGIATÕHUSUS	10
1.1 Eesti energiatõhususarvu piirväärtused	10
1.2 Eesti energiakandjate kaalumistegurid	15
1.3 Eesti soojusallika kasutegurid	16
2 OLEMASOLEVA HOONE ENERGIATÕHUSUSE LEIDMINE	18
2.1 Uuritud objekti tutvustus	18
2.2 Arvutamise meetodika	20
2.2.1 Hoone välispiirete summaarne soojuserikadude arvutus	20
2.2.2 Hoone vabasoojuse eraldused	24
2.2.3 Hoone summaarne tarnitud energia	25
2.2.4 Energiatõhususarvu leidmine	27
3 ENERGIAKANDJATE JA TEHNOLOOGIATE MÕJUD HOONE ENERGIATÕHUSUSELE	28
3.1 Mudeli oluline rekonstrueerimine	28
3.2 Summaarse soojuserikadude arvutused	28
3.3 Hoone energiatõhususarvud	31
4 MIKRO KOOSTOOMISE RAKENDAMISE MÕJU HOONE ENERGIATÕHUSUSELE	35
4.1 Mikro-koostootmisjaam gaasimootoriga	35
4.2 SEJ süsteemi mõju energiatõhususarvule	39
5 BIOGAASI KASUTAMINE	48
5.1 Biogaas ja biometaan	48
5.2 Biometaani mõju energiatõhususele	49
KOKKUVÕTE	52

SUMMARY	54
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	56
LISAD	60

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida, kuidas on mõjutanud Hoone energiatõhususe miinimumnõuete muudatused maagaasi konkurentsivõimet. Gaasivarustuse projekteerimisel on lõputöö autor märganud gaasi väikest kasutatavust uusarendustes. Eestis on ilmunud koostootmisjaamade arendamise ideed, seetõttu selle töö raames vaadeldakse maagaasi mõju hoone energiatõhususele, võrreldakse teiste soojusallikatega ning käsitletakse soojusvarustuse uusi võimalusi. Korterelamu simulatsioonimudeli koostamiseks, rekonstrueerimiseks ning tulemuste mõõtmiseks kasutatakse simulatsiooniprogrammi Indoor Climate and Energy IDA ICE 4.8.

Lõputöö teema on pakkunud dotsent Eduard Latõšov.

Magistritöö autor tänab juhendajat Kalle Kuuske ning Eduardi Latõšovi.

SISSEJUHATUS

Kogu Euroopa Liidu energia lõpptarbimisest moodustab hoonete energiatarbimine 40%. Elatustaseme pideva kasvu tulemusel on hakatud pöörama rohkem tähelepanu hoonete energianõudluse parandamisele. Kliimamuutus ning kasvuhoonegaaside heitmed on üks tõsisematest probleemidest nii Euroopas kui ka maailmas. [1] Energiaressurside nappuse leevendamine, kliimamuutuse ning majanduskriisi vältimine on Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiivi 2012/27/EL, 25.10.2012 üks olulisemaid eesmärke. Energiatõhusad lahendused vähendavad primaarenergia tarbimist ja energiainporti. See aitab vähendada kasvuhoonegaaside heidet ning leevendada kliimamuutuse mõjusid. [2]

Vastavalt „Hoone energiatarbimise miinimumnõuded“ määrusele nr 63, RT I, 22.08.2019, 2 peavad peale 31. detsembrist 2019 kõik Eestis ehitatavad uued hooned vastama energiatarbimise A-klassi ehk liiginullenergia hoonetele kehtestatud nõuetele. [3] Selline strateegia on rakendatud ka olemasolevatele rekonstrueeritavatele hoonetele. Vastavalt Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiivi 2012/27/EL on ette nähtud investeerida kasutatavate elu- ja ärihoonete täielikule renoveerimisele, et suurendada nende hoonete energiatarbimist. [2]

Kehtivate hoone energiatarbimise nõuete täiendustega tuleb arvestada hoone küttesüsteemi ning hoone ehituslike omaduste valikul. Need muudatused on mõjutanud maagaasi konkurentsivõimet. Kaugküttepiirkonna laienemine võib mõjutada ka olemasolevate gaasitarbijate küttesüsteemide rekonstrueerimist. [4]

Eestis levinuimad soojusallikad on: maagaas, kaugküte ning elekter (soojuspumbad). Kuna soojuspumpade kasutusvõimaluste kohta on tehtud mitmeid uuringuid [5],[6] ning uuritud Nõukogudeaegne objekti soojusallikas on kaugküte. Sellest tulenevalt keskendub töö autor kaugküte ning maagaasi konkurentsivõime võrdlusele tuginedes määruse muudatusele. Hoone netoenergiavajaduste hindamiseks kasutatakse simulatsiooniprogrammi Indoor Climate and Energy IDA ICE 4.8 - uus simulatsiooni tööriist, mis viib hoone jõudluse järgmisele tasemele. Antud programm suudab täpselt modelleerida hoonet, selle süsteeme ja kontrollereid - tagades inimesele parima võimaliku mugavuse läbi madalaima võimaliku energia tarbimise. Seda programmi kasutatakse erinevate uuringute tegemisel. [7],[8],[9]

Antud töös teostatakse tüüpilise olemasoleva Nõukoguaegse korterelamu energiamärgise arvutus enne hoone olulist rekonstrueerimist. Oluline rekonstrueerimine eeldab hoone välispiirete mõistlikut soojuspidavuse tõstmist (akende vahetamine ja lisasoojustamine) ja on sarnane kõikidele kütuste-/energiaallikate valiku

alternatiividele. Rekonstrueerimise tulemusel saavutatud uute näitajate alusel teostatakse energiamärgise arvutus uuesti. Arvestades seejuures maagaasi ning kaugkütte soojusallikaid. Töö eesmärk on näidata, kuidas määruse muudatusega on muutunud uuritud objekti energiatõhusus, kasutades erinevaid soojusallikaid, analüüsida saadud tulemusi ning esitada ettepanekuid maagaasi konkurentsivõime parandamiseks. Konkurentsivõimekusele hinnangute andmisel võrreldakse maagaasi kasutava oluliselt rekonstrueeritud hoone energiatõhususarvu teistel energiaallikatel põhinevate küttelahendustega.

Käesoleva töö oluliseks erinevuseks võrdluses teiste sarnastel teemadel tehtud uuringute ja lõputöödega on see, et lisaks maagaasikateldele vaadeldakse maagaasil töötava mikro koostootmisjaamade mõjusid hoonete energiatõhususele.

Esimeses peatükis antakse ülevaade Euroopa Liidu tuleviku eesmärkidest ning seoses sellega hoone energiatõhususe miinimumnõuete muudatustest. Näidatakse soojusallikate kaalumistegurite ning kasutegurite muudatusi, mis omakorda mõjutavad töökäiku. Eesmärgiks on määrata ja kasutada arvutustes töö kirjutamise hetkel kehtivaid ja enne 01.01.2019 kasutusel olnud nõudeid ja arvutusloogikaid.

Teises peatükis kirjeldatakse uurimisobjekti, kasutatakse Hoone energiatõhususe arvutusmetoodikat ning selle põhjal teostatakse olemasoleva renoveerimata hoone energiaarvutus kasutades selleks simulatsiooniprogrammi Indoor Climate and Energy IDA ICE 4.8.

Kolmandas peatükis näidatakse uuritud objektile tehtud rekonstrueerimise arvutust ning uut energiamärgist vastavalt kehtetule „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ määrusele 55, RT I, 19.01.2018, 6 ja kehtivale „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ määrusele RT I, 22.08.2019, 2. Arvutused viiakse läbi arvestades erinevate soojusallikatega: kaugkütte ja maagaasiga. Uuritud objekti energiamärgise tulemusi võrreldakse ja analüüsitakse.

Neljandas peatükis käsitletakse erinevaid mikro-koostootmisjaamade süsteemide võimalusi, valitakse optimaalseimad alternatiivid ning teostatakse hoone energiatõhususarvu kontrollarvutus.

Viiendas peatükis käsitletakse biometaani kasutust mikro-koostootmissüsteemides ja gaasivõrgus. Arvutustulemuste alusel tehakse lõplikud järeldused.

1 HOONETE ENERGIATÕHUSUS

1.1 Eesti energiatõhususarvu piirväärtused

Jälgides Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiivi 2012/27/EL, 25.10.2012 on kindlaks määratud Euroopa Liidus eesmärgid energiaressurside nappuse ja kliimamuutuse vähendamiseks ning majanduskriisi vältimiseks. Energiainpordi ja primaarenergia tarbimise vähendamise üheks lahenduseks on hoonete ja tehnosüsteemide energiatõhususe parandamine. Energiatõhususe parandamine aitab vähendada kasvuhoonegaaside heidet ja leevendada kliimamuutuste mõju. [2]

Vastavalt „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ määrusele 63 RT I, 22.08.2019, 2 (*edaspidi ETA2019 metoodika*), alates 2020 aastast peavad kõik Eestis ehitatavad uued hooned vastama liiginullenergia hoonetele kehtestatud tingimustele. Hooned tuleb ehitada energiasäästlikumaks, mis tähendab, et tarbijatel kulub antud hoone kasutamiseks vähem primaarengiat. Seoses sellega muutub ka hoone ehituslike tehnoloogiate ja energiaallikate valik. [3]

Vastavalt *ETA2019 metoodikale* riigi, kohaliku omavalitsuse üksuse, avalik-õigusliku juriidilise isiku kasutuses või omandis oleva sisekliima tagamisega hoone peab vastama liiginullenergiahoonele esitatud nõuetele, kui hoone ehitusloa taotlus või ehitusteatis esitatakse ja hoone püstitatakse pärast 2018. aasta 31. detsembrit. Kui sisekliima tagamisega hoone ehitusloa taotlus või ehitusteatis esitatakse ja hoone püstitatakse pärast 2019. aasta 31. detsembrit, siis peab hoone vastama liiginullenergiahoonele esitatud nõuetele. [3]

Sellised muudatused on suunatud ka kasutusesolevatele hoonetele ja nende rekonstrueerimisele, kuna olemasolevate hoonete energiatõhususe tõstmise tulemusel saaks ära kasutada suure energia säästu potentsiaali. Kogu Euroopa Liidu energia lõpptarbimisest moodustub hoonete energiatarbimine 40% ning selleks et kasutada ära tööhõive võimalusi ja edendada majanduskasvu on ette nähtud investeerida elamute ja ärihoonete renoveerimise tulemusena suurendada olemasolevate hoonete energiatõhusust. [2]

Alates 1.jaanuarist 2019 oluliselt rekonstrueeritav olemasolev hoone peab ehitamise või rekonstrueerimise järel vastama antud hetkel kehtivatele energiatõhususe miinimumnõuetele. Kui ehitamine toimus ehitusloa alusel, peab ehitus vastama loa andmise ajal kehtinud energiatõhususe miinimumnõuetele. [3]

„Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ määrus 55 RT I, 19.01.2018, 6 (*edaspidi ETA2018 metoodika*) kehtis perioodil 01.07.2015 kuni 01.01.2019. Hetkel kehtiv

ETA2019 meetodika on jõustunud 1.01.2019. Kehtivad ning varasemalt kehtinud määruse piirväärtused oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususarvude kohta on toodud tabelis 1.1. [3],[10]

Tabel 1.1 Energiatõhususarvu kehtivad ning kehtetud piirväärtused oluliselt rekonstrueeritud hoonetele. [3],[10]

<i>ETA2018</i>		<i>ETA2019</i>	
Hoone liik	Energiatõhususarv	Hoone liik	Energiatõhususarv
	kWh/(m ² ·a)		kWh/(m ² ·a)
Väikeelamu	210	Väikeelamu köetava pinnaga kuni 120 m ²	185
		Väikeelamu köetava pinnaga üle 120-220 m ² ja ridaelamu	160
		Väikeelamu köetava pinnaga üle 220 m ²	140
Korterelamu	180	Korterelamu	150
		Kasarmu	250
Büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	210	Kontorihoone	160
		Majutushoone	220
Ärihoone	270	Ärihoone	210
Avalik hoone	250	Avalik hoone	220
Kaubandushoone ja terminal	280	Kaubandushoone ja terminal	230
Haridushoone	200	Haridushoone	160

Tabel 1.1 järg

<i>ETA2018</i>		<i>ETA2019</i>	
Hoone liik	Energiatõhususarv	Hoone liik	Energiatõhususarv
	kWh/(m ² ·a)		kWh/(m ² ·a)
Koolieelne lasteasutus	240	Koolieelse lasteasutuse hoone	165
		Ravihoone	170
		Laohoone	100
		Tööstushoone	170
Tervishoiuhoone	460	Suure energiatarbega hoone	950

Kehtivad ning kehtetud liiginullenergiahoone energiatõhususarvude piirväärtused on toodud tabelis 1.2. [3],[10]

Tabel 1.2 Energiatõhususarvu kehtivad ning kehtetud piirväärtused liiginullenergia hoonetele [3],[10]

<i>ETA2018</i>		<i>ETA2019</i>	
Hoone liik	Energiatõhususarv	Hoone liik	Energiatõhususarv
	kWh/(m ² ·a)		kWh/(m ² ·a)
Väikeelamu	50	Väikeelamu köetava pinnaga kuni 120 m ²	145
		Väikeelamu köetava pinnaga üle 120-220 m ² ja ridaelamu	120
		Väikeelamu köetava pinnaga üle 220 m ²	100
Korterelamu	100	Korterelamu	105

Tabel 1.2 järg

<i>ETA2018</i>		<i>ETA2019</i>	
Hoone liik	Energiatõhususarv kWh/(m ² ·a)	Hoone liik	Energiatõhususarv kWh/(m ² ·a)
		Kasarmu	170
Büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	100	Kontorihoone	100
		Majutushoone	145
Ärihoone	130	Ärihoone	130
Avalik hoone	120	Avalik hoone	135
Kaubandushoone ja terminal	130	Kaubandushoone ja terminal	160
Haridushoone	120	Haridushoone	100
Koolieelne lasteasutus	140	Koolieelse lasteasutuse hoone	100
		Ravihoone	170
		Laohoone	65
		Tööstushoone	110
Tervishoiuhoone	300	Suure energiatarbega hoone	820

Kehtivad ning kehtetud madalenergiahoone energiatõhususarvude piirväärtused on toodud tabelis 1.3. [3],[10]

Tabel 1.3 Energiatõhususarvu kehtivad ning kehtetud piirväärtused madalenergia hoonetele [3],[10]

<i>ETA2018</i>		<i>ETA2019</i>	
Hoone liik	Energiatõhususarv kWh/(m ² ·a)	Hoone liik	Energiatõhususarv kWh/(m ² ·a)
Väikeelamu	120	Väikeelamu köetava pinnaga kuni 120 m ²	165
		Väikeelamu köetava pinnaga üle 120-220 m ² ja ridaelamu	140
		Väikeelamu köetava pinnaga üle 220 m ²	120
Korterelamu	120	Korterelamu	125
		Kasarmu	200
Büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	130	Kontorihoone	130
		Majutushoone	170
Ärihoone	160	Ärihoone	150
Avalik hoone	150	Avalik hoone	160
Kaubandushoone ja terminal	160	Kaubandushoone ja terminal	190
Haridushoone	120	Haridushoone	120
Koolieelne lasteasutus	140	Koolieelse lasteasutuse hoone	120

Tabel 1.3 järg

<i>ETA2018</i>		<i>ETA2019</i>	
Hoone liik	Energiatõhususarv	Hoone liik	Energiatõhususarv
	kWh/(m ² ·a)		kWh/(m ² ·a)
		Ravihoone	120
		Laohoone	80
		Tööstushoone	140
Tervishoiuhoone	300	Suure energiatarbega hoone	850

1.2 Eesti energiakandjate kaalumistegurid

Vastavalt määrusele nr 36 „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele“, RT I, 22-08.2019,4 energiakandja kaalumistegur on tegur, millega võetakse arvesse tarnitud energia tootmiseks vajaliku primaarenergia kasutust ning selle põhjustatavat keskkonnamõju. [11]

Mida madalam on kaalumistegur, seda madalam on primaarenergia kasutamine ja seda väiksem on hoone energivarustuse põhjustatud keskkonnajälg. Parima võimaliku ehituspraktika valikul on määravaks primaarenergia tegurite abil ühtlustatud erinevate energia- ja kütuseliikide kasutamise mõju. [12]

Järgides kehtivat redaktsiooni on muutunud ka erinevate energiakandjate kaalumistegurid. Kuna Eesti kaugküttesektori arengu peamiseks eesmärgiks on kasutada taastuvat kütust ning panustada energiatõhusa soojuse tootmisse ning jaotamisse on määratud kaugküttevõrkude jaoks kaalumistegurite tase, lähtudes tehnoloogiast ning kasutatavast kütusest. [13] Eesti energiakandjate kaalumistegurite muudatused on antud tabelis 1.4.

Tabel 1.4 Eestis hetkel kehtivad ning kehtetud soojusallikate kaalumistegurid [3],[10]

Soojusallikas	Kaalumistegur (2015-2018)	Kaalumistegur (alates 2019)
Kaugküte	0,9	0,9
Tõhus kaugküte	Ei rakendu	0,65
Kaugjahutus	Ei rakendu	0,4
Tõhus kaugjahutus	Ei rakendu	0,2
Vedelkütus, kütteõli, vedelgaas	1	1
Maagaas	1	1
Tahke fossiilkütus	1	1
Turvas ja turbabrikett	1	1
Elekter	2	2

1.3 Eesti soojusallika kasutegurid

Kasuliku soojuse tootmiseks ei saa ära kasutada kogu kütuses sisalduvat soojust. Osa soojusest paratamatult läheb kadudeks. Kui kasutegur on näiteks 0,85, siis sisalduvast energiast saadakse 85% soojust ja 15% läheb kadudeks. Mida suurem on soojusallika kasutegur, seda tõhusam on soojusallikas. [14]

Vastavalt küttesüsteemi kasutegurile ning abiseadmete elektritarbimisele arvutatakse küttesüsteemi elektri - ja soojuseenergiakasustus. Küttesüsteemi kasuteguriga võetakse arvesse soojusallika, soojuse jaotamisel ja väljastamisel ning ruumitemperatuuri reguleerimisel tekkiv kadu. [15] Määruse muudatustega on muutunud soojusallikate kasutegurit, vt tabel 1.5.

Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurid ning abiseadmete elektritarbimine ei muutunud.

Tabel 1.5 Eestis hetkel kehtivad ning kehtetud soojusallikate kasutegurid. [3],[10]

Soojusallikas (2015-2018)	Kasutegur (2015-2018)	Soojusallikas (alates 2019)	Kasutegur (alates 2019)
Kaugküte soojussõlm	1	Kaugküte	0,9
Õli-, gaasikatel	0,85	Õli-, gaasikatel	0,85
Õli, kondensatsioonikatel	0,90	Õli, kondensatsioonikatel	0,90
Gaas, kondensatsioonikatel	0,95	Gaas, kondensatsioonikatel	0,95
Pelletikatel	0,85	Pelletikatel	0,85
Muu tahkekütuse katel	0,75	Muu tahkekütuse katel	0,75
Elektriküttega katel	1,00	Elektriküttega katel	1,00
Ahi	0,60	Ahi	0,60

2 OLEMASOLEVA HOONE ENERGIATÕHUSUSE LEIDMINE

2.1 Uuritud objekti tutvustus

Lõputöös uuritud objektiks on võetud Mustamäel Sõpruse pst 244 asuv paneelmaja vaata (edaspidi vt) Joonis 2.1. Tegemist on nõukogudeajal ühe tüüpprojekti järgi ehitatud hoonega. Tulemused on rakendatavad ka teistele samal tüüpprojektil põhinevatele hoonetele.



Joonis 2.1 Mustamäe korterelamu, Sõpruse pst 244

Uuritava objekti üldandmed on täpsustatud tabelis 2.1. Olemasoleva hoone välisseinad on ehitatud raudbetoonpaneelidest 0,11m ning vananenud TEP plaatidest 0,14m. Katusekate on vahetatud kuid lisasoojustust ei ole paigaldatud ning soojustamata on ka hoone parapett. Majas on soojustamata kelder, uksed ja aknad on vahetamata.

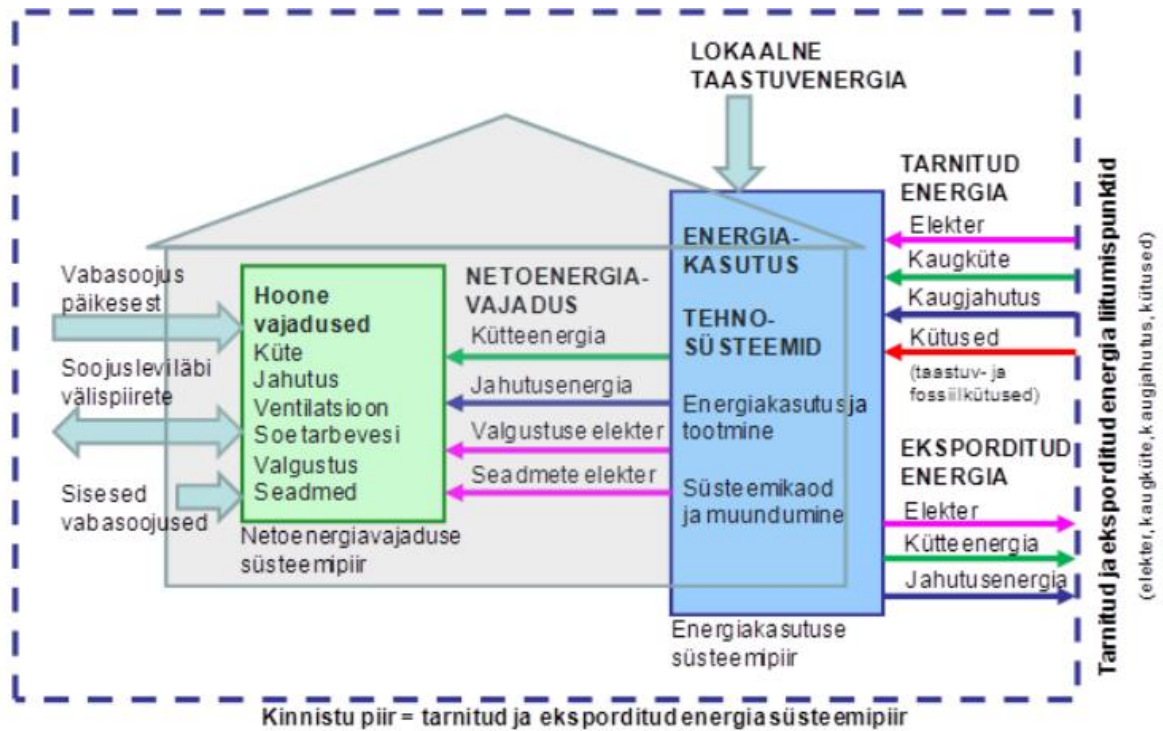
Hoones on loomulik ventilatsioon, õhu sissevool toimub läbi akende avamise ja läbi ebatihiduste hoone konstruktsioonis, heitõhu väljavool teostatakse läbi ventilatsiooni-korstende köögist ja sanitaarplokkidest. Majas on radiaatorküttesüsteem – malmist ribidega radiaatorid. [16] Olemasoleva hoone küttesüsteemiks arvestatakse kaugkütte soojussõlme, gaasivarustust ei vaadelda.

Tabel 2.1 Mustamäe korterelamu üldandmed [16]

Otstarve	Korterelamu
Hoone aadress	Sõpruse pst 244, Tallinn, 13412
EHR kood	101010963
Hoone netopindala	3519,4 m ²
Hoone köetav pindala	2842,8 m ²
Korruste arv	5
Hoone maht	10698 m ³
Elanike arv	ca 180
Keldri olemasolu	Jah
Põhiline kütteviis	Kaugküte

Olemasolevale hoonele tehakse energiaarvutus. Energiaarvutuste eesmärgiks on selgeks teha, kas antud hoone energiamärgis vastab Hoone energiatõhususe miinimumnõuetele. Joonisel 2.2 on näidatud tarnitud ja eksporditud süsteemipiir, mis määrab energiavoogude omavahelised seosed.

Hoone energiavajadused on modelleeritud IDA ICE 4.8. programmiga. Kuna energiaarvutus ei eelda hoone detailset tsoonideks jagamist, on moodustatud 65 tsooni.[15] Hoone energiaarvutus teostatakse vastavalt „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“, RT I, 19.01.2018, 7 määrus 58.



Joonis 2.2. Hoone tarnitud ja eksporditud süsteemi piir.[15]

2.2 Arvutamise metoodika

2.2.1 Hoone välispiirete summaarne soojuserikadude arvutus

Kasutades simulatsioonprogrammi Indoor Climate and Energy IDA ICE 4.8 (*edaspidi IDA ICE 4.8*) on arvatatud uurimisobjekti piirete soojusläbivused ehk U-arvud. Vastavalt IDA ICE 4.8 saadud tulemustele on arvatatud renoveerimata mudeli soojuserikad läbi piirdetarindite kasutades valemeid (2.1) ja (2.2). Saadud tulemused on antud tabelis 2.2.

Piirdetarindite soojuserikadu. Piirdetarindite soojuserikadu on leitav valemiga (2.1) [17]

$$H_{juhtivus} = U_i \times A_i \quad (2.1)$$

kus $H_{juhtivus}$ - piirdetarindite soojuserikadu, W/K,

U_i - tarindi soojusjuhtivus, W/(m²·K),

A_i - tarindiosa pindala, m².

Piirdetarindite summaarne soojuserikadu on leitav valemiga (2.2) [17]

$$H_{juhtivus,kokku} = \sum H_{juhtivus} \quad (2.2)$$

kus $H_{juhtivus,kokku}$ - summaarne soojuserikadu, W/K.

Tabel 2.2 Soojuskaod läbi piirdetarindite

Soojuserikaod läbi piirdetarindite				
Piirdetarind	g	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K
Välissein		1,1	1335,4	1468,9
Välissein vastu pinnast		1,35	163	220,1
Katuslagi		0,79	611,9	483,4
Pörand pinnasel		0,4	640,6	256,2
Välisuks		1,1	17,6	19,4
Aken (N)	0,62	1,8	226,6	407,9
Aken (E)	0,62	1,8	21	37,8
Aken (S)	0,62	1,8	254,4	457,9
Aken (W)	0,62	1,8	523	941,4
		Hjuhtivus, kokku, W/K		4292,9

Külmasildade joonsoojusläbivused. Külmasildade joonsoojusläbivused olid mõõdistatud auditi käigus [16]. Vastavalt sellele on tehtud soojuserikadude arvutus läbi külmasildade, kasutades valemeid (2.3) ja (2.4). Saadud tulemused on välja toodud tabelis 2.3.

Külmasildade soojuserikadu on leitav valemiga (2.3) [17]

$$H_{külmasild} = \psi_j \times l_j \quad (2.3)$$

kus $H_{külmasild}$ – külmasildade soojuserikadi, W/K,

ψ_j – külmasilla joonsoojusjuhtivus, W/(m·K).

l_j – punktkülmsildade arv, m

Külmasildade summaarne soojuserikadu on leitav valemiga (2.4) [17]

$$H_{k\ddot{u}lmasild,kokku} = \sum H_{k\ddot{u}lmasild} \quad (2.4)$$

kus $H_{k\ddot{u}lmasild,kokku}$ – külmasildade summaarne soojuserikadu, W/K.

Tabel 2.3 Soojuskaod läbi külmasildade

Soojuserikaod läbi külmasildade			
Külmasild	Y_j	l_j	$H_{k\ddot{u}lmasild}$
	W/(m·K)	M	W/K
Välisseina välisnurk	0,7	61,7	43,2
Välisseinea rõdu liitekoht	0,2	144	28,8
Välisseina-siseseina liitekoht	0,3	586,1	175,8
Välisseina-vahelae liitekoht	0,5	1243,1	621,6
Katuse ja välisseina liitekoht	0,5	131,7	65,9
Pörand-pinnase ja välisseina liitekoht	0,06	144	8,6
Akna seinakinnitus	0,13	1554,2	202
Ukse seinakinnitus	0,13	33,6	4,4
Katuse ja siseseina liitekoht	0	286,1	0,7
$H_{k\ddot{u}lmasild}, W/K$			1150,9

Õhulekke. Õhulekke arv on võetud baasväärtusena vastavalt „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“, RT I, 19.01.2018, 7, § 9, tabel 6, olemasolev hoone. Õhulekkearv näitab kui palju vahetub hoones õhk ühes tunnis välispiirde pindala kohta, kui rõhkude erinevus sise- ja väliskeskonna vahel on 50Pa. Infiltratsiooni õhuhulk sõltub otseselt õhulekkearvust. [17] Saadud tulemused on antud tabelis 2.4.

Hoone välispiirete sisepindala on leitav valemiga (2.5)

$$A_{vp} = \sum A_i \quad (2.5)$$

kus A_{vp} - hoone välispiirete sisepindala, m²,

A_i - tarindiosa pindala, m².

Infiltratsiooni õhuvooluhulga väärtus on leitav valemiga (2.6). [17]

$$V_{inf} = \frac{q_{50}}{3600 \times X} \times A_{vp} \quad (2.6)$$

kus V_{inf} - infiltratsiooni õhuvooluhulk, m³/s,

q_{50} - hoone välispiirde keskmine õhulekkearv m³(h·m²),

X-on tegur, mis on viiekorruselisele hoonele 15.

Õhulekkekohtade soojuserikadu on leitav valemiga (2.7). [17]

$$H_{\text{õhulekke}} = c \times p \times V_{inf} \quad (2.7)$$

kus $H_{\text{õhulekke}}$ - õhulekkekohtade soojuserikadu, W/K,

c - õhu erisoojus, 1005 J/(kg·K).

p - õhutihedus, 1,2 kg/m³.

Tabel 2.4 Soojuskaod läbi õhulekkekohtade

Soojuserikaod läbi õhulekkekohtade		
Nimetus	Omadus	Suurus
Õhulekke baasväärtus	q_{50}	6
Hoone välispiirde sisepindala	A_{vp} , m ²	3793,5
Korrustearv	-	5
Infiltratsioon õhuhulk	V_{inf} , m ³ /s	0,4215
	$H_{\text{õhulekke}}$, W/K	508,3

Summaarne soojuserikadu. Välispiirete summaarne soojuserikadu on piirdetarindite, külmsildade ning õhulekkekohtade summaarne soojuserikadu ning on leitav valemiga (2.8) [17]. Saadud tulemused on antud tabelis 2.5.

$$\sum H = \sum (H_{juhtivus} + H_{külmsild} + H_{õhuleke}) \quad (2.8)$$

kus H – piirdetarindite, külmsildade ja õhulekkekohtade summaarne soojuserikadu, W/K.

Välispiirete keskmine soojuserikadu on leitav valemiga (2.9) [7]

$$H_{ks} = \sum H / A_{vp} \quad (2.9)$$

kus H_{ks} – välispiirete keskmine soojuserikadu, W/K.

Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava ruutmeetri pinna kohta on leitav valemiga (2.10) [17]

$$\sum H_{kp} = \sum H / A_{köetav} \quad (2.10)$$

kus H_{kp} – välispiirete keskmine soojuserikadu köetava pinna kohta, W/(m²·K),

$A_{köetav}$ – köetavate ruumide netopind, m².

Tabel 2.5 Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta

Välispiirete summaarne soojuserikadu	$\sum H$, W/K	5952,2
Välispiirete keskmine soojuserikadu	H_{ks} , W/K	1,6
Hoone köetav pind	$A_{köetav}$, m ²	2842,8
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta	H_{kp} , W/(m ² ·K)	2,09

2.2.2 Hoone vabasoojuse eraldused

Hoonete standardkasutus ja sellele vastav seadmete, valgustite ja inimeste soojuseraldus on antud tabelis 2.6. Antud tabelis on toodud hoone kasutustundide arv ööpäevas ja kasutuspäevade arv nädalas ning maksimaalsed valgustuse, seadmete ja

inimeste soojuseraldused hoone kasutusajal. Soojuseraldused ei sisalda tehnosüsteemide soojuseraldusi. [15]

Inimeste, seadmete ja valgustuse aastane soojuseraldus on leitav valemiga (2.11) [15]
Saadud tulemused on koondatud tabelis 2.7.

$$Q = kP \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7} \frac{8760}{1000} \quad (2.11)$$

kus k – kasutusaste,

P – soojuseraldus, W/m²,

τ_d – hoone kasutustundide arv ööpäevas h,

τ_w – hoone kasutuspäevade arv nädalas d.

Tabel 2.6 Hoonete standardkasutusele vastavad maksimaalsed vabasoosused köetava pinna ruutmeetri kohta.[15]

Vabasoosused	Inimesed	Seadmed	Valgustus	Kasutusaste	Kasutusaeg	
					päeva nädalas	tundi päevas
Korterelamu	W/m ²	W/m ²	W/m ²		d	h
	3	3 ^b	8 ^a	0,6	7	24

^a – elamute valgustuse kasutusaste on 0,1

^b – elamute seadmete elektritarbimise saamiseks jagada soojuseraldus läbi teguriga 0,7

Sooja tarbevee netoenergiavajadus köetava pinna ruutmeetri kohta on võetud vastavalt „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ määrus nr 58.

Tabel 2.7 Hoone aastased soojuseraldused

Soojuseraldus	kWh/ m ² a
Inimesed	22,53
Seadmed	22,53
Valgustus	7,01

2.2.3 Hoone summaarne tarnitud energia

Küttesüsteemi arvutuse koosseisus arvutatakse ruumide kütte ja tarbevee soojendamise energiakasutus. Energiakasutus arvutatakse lähtudes netoenergiavajadusest. [15]

Ruumide kütte netoenergiavajaduse väärtus on saadud IDA ICE 4.8 simulatsiooniprogrammi kaudu. Sooja tarbevee netoenergiavajadus köetava pinna ruutmeetri kohta on võetud vastavalt „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“, RT I, 19.01.2018, 7, § 7, tabel 5. Hoone aastased netoenergia vajadused on välja toodud tabelis 2.8.

Tabel 2.8 Hoone aastased netoenergiavajadused

Netoenergiavajadus	kWh/ m²a	kWh/a
Ruumide küte	118,85	337856
Tarbevee soojendamine	30,00	85284

Küttesüsteemi energiakasutus saadakse netoenergiavajaduse jagamisel küttesüsteemi kasuteguriga. Küttesüsteemide kasutegur saadakse soojusallika kasuteguri ja soojuse jaotamise ja väljastamise kasuteguri korrutisena. Uuritud objekti soojusallikaks on kaugkütte soojussõlm. Küttesüsteemi soojusallika ning soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurid on antud tabelis 2.9. [15]

Tabel 2.9 Küttesüsteemi soojusallika kasutegur, jaotamise ja väljastamise kasutegur ning veeküttesüsteemide ringluspumba elektritarbimine. [15]

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur	Veeküttesüsteemide ringluspumba elektritarbimine, kWh/m
Ruumide küte	1	0,97	0,5

Saadud tulemused summaarse elektri ning soojuse eneargiakasutuse kohta on toodud tabelis 2.10.

Tabel 2.10 Hoone aastased summaarsed energiakasutused ja erikasutused köetava pinna kohta

Summaarne energiakasutus	Elekter kWh	Soojus kWh	Elekter kWh/m ²	Soojus kWh/m ²
Ruumide küte		348305		21,91
Tarbevee soojendamine		85284		30
Abiseadmed	5886		0,5	
Valgustus	19922		7,01	
Seadmed	64036		22,53	
Tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	89644	433589	30,03	152,52

Lähtudes arvutustest tabelites 2.10 on kogu uuritud objekti summaarne tarnitud energia 523 233 kWh/a ning tarnitud energia köetava pinna ruutmeetri kohta energia on 182,6 kWh/(m²).

2.2.4 Energiatõhususarvu leidmine

Energiatõhuksarv (*edaspidi* ETA) arvutatakse, jagades summaarse kaalutud tarnitud energiakasutuse ja summaarse kaalutud eksporditud energiakasutuse vahe köetava pinna ruutmeetrite väärtusega. [15]

Olemasoleva hoone ETA arvutamisel arvestatakse, et olemasoleva hoone soojusallikaks on kaugküttesõlm. ETA leidmiseks kasutatakse soojusallika kaalumistegurit (vt tabel 1.4) ning kasutegurit (vt tabel 1.5)

ETA on leitav valemiga (2.12). [15]

$$ETA = \frac{\sum(E_{tar,i} - E_{eks,i})f_i}{A_{köetav}} \quad (2.12)$$

kus $E_{tar,i}$ – energiakandjaga i tarnitud energia, kWh/a,

$E_{eks,i}$ – energiakandja i eksporditud energia, kWh/a,

f_i – energiakandja i kaalumistegur.

Olemasoleva hoone ETA on vähemalt 197 kWh/(m²a). Tegelikult võib antud arv olla suurem, kuna arvutustes arvestati standardijärgse netoenergiavajadusega tarbevee soojendamiseks ruutmeetri kohta. Saadud tulemus ei vasta „Hoone energiakandjate miinimumnõuetele“. Mudelit tuleb oluliselt rekonstrueerida.

3 ENERGIAKANDJATE JA TEHNOLOOGIATE MÕJUD HOONE ENERGIATÕHUSUSELE

3.1 Mudeli oluline rekonstrueerimine

Mudeli energiatõhususarvu parandamiseks tuleb lähtuda oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususele seatud kriteeriumitest.

Kasutades simulatsiooniprogrammi IDA ICE 4.8. on koostatud mudelile rekonstrueerimise lahenduse. Välisseinu on ette nähtud soojustada 300 mm mineraalvilla kihiga. Katusele paigaldatakse 340mm paksune soojustuse kiht. Aknad on ette nähtud vahetada 3-pakett akende vastu. Hoone ventilatsiooni süsteemi paigaldatakse mehaaniline sisepuhke ja väljatõmme ventilatsiooniseade.

Vastavalt hoone välispiirete ja ventilatsioonisüsteemi renoveerimise pakatile arvutatakse uued energiatõhususarvud *ETA2018 metoodika* ning *ETA2019 metoodika* järgi. Arvutused on tehtud kahe alternatiiv soojusallika peale - kaugkütet ning maagaasi. Arvutused näitavad kuidas muutub hoone energiatõhusus arvestades ülal mainitud aspektide muutmist ja kuidas see mõjutab maagaasil töötavate lahenduste energiatõhususarvudele võrreldes teiste energiaallikatega.

3.2 Summaarse soojuserikadude arvutused

Planeeritud renoveerimistöödega kaasnevad muudatused on rakendatud uuritava renoveerimata objekti IDA ICE 4.8 mudelile. Arvutuste tulemusena on leitud uued soojusläbivuse väärtused. Arvutuste metoodika on sarnane, mis renoveerimata hoone korral (ptk 2.2.), ehk:

- Soojuserikadude arvutus läbi piirdetarindite on tehtud kasutades valemeid (2.1) ja (2.2). Saadud tulemused on toodud tabelis 3.1.
- Külmasildade joonsoojusläbivused on võetud vastavalt Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika, RT I, 19.01.2018, 7, § 12, tabel 7, oluliselt rekonstrueeritud hoone. Vastavalt sellele on tehtud soojuskadude arvutus läbi külmasildade.
- Soojuserikaod läbi külmsildade on arvutatud vastavalt valemite (2.3) ja (2.4).

Saadud tulemused on toodud tabelis 3.2.

Tabel 3.1 Oluliselt rekonstrueeritud mudeli soojuskaod läbi piirdetarindite

Soojuserikaod läbi piirdetarindite				
Piirdetarind	G	U _i	A _i	Hjuhtivus
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K
Välissein		0,15	1335,4	200,3
Välissein vastu pinnast		1,35	163,0	220,1
Katuslagi		0,06	611,9	36,7
Põrand pinnasel		0,40	640,6	256,2
Välisuks		1,10	17,6	19,4
Aken (N)	0,61	0,85	226,6	192,6
Aken (E)	0,61	0,85	21,0	17,9
Aken (S)	0,61	0,85	254,4	216,2
Aken (W)	0,61	0,85	523,0	444,6
		Hjuhtivus, kokku, W/K		1603,9

Tabel 3.2 Oluliselt rekonstrueeritud mudeli soojuserikaod läbi külmasildade

Soojuserikaod läbi külmasildade			
Külmasild	Y _j	l _j	H _{külmasild}
	W/(m·K)	m	W/K
Välisseina välisnurk	0,20	61,7	12,3
Välisseina rõdu liitekoht	0,20	144,0	28,8
Välisseina-siseseina liitekoht	0,10	586,1	58,6
Välisseina-vahelae liitekoht	0,20	1243,1	248,6
Katuse ja välisseina liitekoht	0,20	131,7	26,3
Põrand-pinnase ja välisseina liitekoht	0,06	144,0	8,6

Tabel 3.2 järg

Soojuserikaod läbi külmasildade			
Külmasild	γ_j	l_j	$H_{\text{külmasild}}$
	W/(m·K)	m	W/K
Akna seinakinnitus	0,10	1554,2	155,4
Ukse seinakinnitus	0,10	33,6	3,4
Katuse ja siseseiina liitekoht	0,00	286,1	0,7
Akna seinakinnitus	0,10	1554,2	155,4

Seoses „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ muudatustega, on muutunud ka õhulekke arvu arvestamine. Kuna välispiirde õhuleket ei ole mõõdetud ja tõestatud võetakse õhulekkearv vastavalt „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“, RT I, 19.01.2018, 7, § 9, tabel 6, oluline rekonstrueerimine ning vastavalt „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“, RT I, 22.08.2019, 5, § 9, tabel 6, oluline rekonstrueerimine. Soojuskaod läbi õhulekkekohtade on arvutatud vastavalt valemitele (2.5) (2.6) ja (2.7). Saadud tulemused on toodud tabelis 3.3.

Tabel 3.3 Oluliselt rekonstrueeritud mudeli soojuskaod läbi õhulekkekohtade *ETA2018* ja *ETA2019 meetodika* järgi

Soojuskaod läbi õhulekke kohtade		<i>ETA2018 meetodika</i>	<i>ETA2019 meetodika</i>
Nimetus	Omadus	Suurus	Suurus
Õhulekke baasväärtus	q_{50}	3	2,5
Hoone välispiirde sisepindala	A_{vp}, m^2	3793,5	
Korruste arv		5	
Infiltreruv õhuhulk	$v_{inf}, m^3/s$	0,2107	0,1756
$H_{\text{külmasild}}$	W/K	254,2	211,8

ETA2019 meetodika järgi õhulekke on baasväärtus muutunud väiksemaks. Madalam baasväärtus tuleneb infiltreeruva õhuhulga vähenemisest ning sellest tulenevalt

soojuserikadude vähenemisest läbi õhulekkekohtade. See mõjutab otseselt välispiirete summaarseid soojuserikadusid.

Vastavalt valemile (2.8) välispiirete summaarne soojuserikadu *ETA2018 metoodika* järgi on 2400,9 W/K ning summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta 0,84 W/(m²K) . *ETA 2019 metoodika* järgi on 2358,5 W/K ja summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta 0,83 W/(m²K).

Pärast hoone välisseinte ja katuse soojustamist ning kõikide akende vahetamist on soojuserikaod läbi piirdetarindite vähenenud 2890 W/K võrra.

Külmasillad on kohad, kus soojusläbivus on märgatavalt suurem võrreldes hoone teiste ehituslike osadega ning see põhjustab madalamat sisepinna temperatuuri. Selle tulemusel suureneb suhteline niiskus hoone seinal. Suur suhteline niiskus põhjustab tarindi sisepindadel mikroorganismide kasvu ja veeauru kondenseerumist. Külmasillad suurendavad hoone energiakulusid. Summaarsed soojuskaod läbi külmsildade, mis on saadud kasutades standardset joonsoojusläbivuse väärtuseid, on 2 korda väiksemad kui olemasoleva hoone summaarsed soojuserikaod läbi külmasildade. [18]

Soojuserikaod läbi õhulekkekohtade renoveerimata hoonel on kaks korda suuremad renoveeritavast hoonest. See on tingitud sellest, et arvutustes kasutatakse õhulekke arvuna olemasoleva hoone baasväärtust 6. Oluliselt rekonstrueeritud hoonel on baasväärtus 2 korda väiksem. Sellest järeldub, et summaarne hoone soojuserikadu on vähenenud ca 3600 W/K võrra ning hoone kütmiseks on vaja ligi kaks korda vähem energiat.

3.3 Hoone energiatõhususarvud

Hoone ETA leidmiseks teostatakse arvutused võttes arvesse erinevate soojusallikate, kaugkütte ja maagaasi kasutamist. Arvutused on tehtud *ETA2019 metoodika* ja *ETA2018 metoodika* järgi. Alates jaanuarist 2019 kehtib tõhusa kaugkütte jaoks uus kaalumistegur. Kui hoone tarnib sooja tõhusast kaugkütte võrgust, siis selle hoone kasutatav arvutuslik primaarenergia hulk väheneb.

Euroopa Liidu energiapoliitika osadeks oleva kliimapoliitika ja energiasõltumatuse eesmärkide saavutamisel on oluline, et taastuvatel allikatel põhinevat tõhusat kaugkütet kasutataks rohkem. Saavutamaks 2030. aastaks seatud riiklike eesmärke suurendatakse taastuvkütuste osakaalu ja vähendatakse kasvuhoonegaaside hulka heitmetes. 2030. aasta eesmärgiks on 80% tarbitavast soojusest saada taastuvatest energiaallikatest. Kaugkütteklientidele tagab see efektiivse ja keskkonnasäästliku küttelehenduse tulevikuks. Kliimasõbralikku energiatootmist edendab soojuse tootmine

taastuvatest energiaallikatest, mis aitab vähendada energeetikasektori CO2 jalajälge. [19]. Seetõttu on alates 2020. aastast uutele hoonetele kasulikum liituda tõhusa kaugküte võrguga, mis peavad vastama A-klassile ehk liiginullenergia hoonele kehtestatud nõuetele. Arvutuse käigus on näidatud, kuidas erineb energiatõhususarv kasutades kaugkütet ja maagaasi *ETA2018 metoodika* ja *ETA2019 metoodika* järgi. Tõhusa kaugküte kaalumistegur on langenud ca 17%, vt tabel 1.4. Kaalumisteguri langus on tingitud soojuse tootmiseks vähemalt 50% taastuveneeriat või heitsoojuse kasutamisest, 75% soojust on saadud koostootmisest või sellise energia ja soojuse kombinatsiooni. [20] Maagaasi kaalumistegur on jäänud samaks (vt tabel 1.4). Aastaga ei ole hoone energiatõhusus muutunud. Hästi soojustatud hoone netoenergiavajadus ruumi kütmiseks on langenud 277 450 kWh/a võrra. Enne rekonstrueerimist oli hoonel loomulik ventilatsioon. Oluliselt rekonstrueeritud hoone neljale trepikokale on paigaldatud ventilatsiooni agregaat soojustagastusega. Soojustagastus toimib läbi plaatsoojusvaheti.

Kirjeldatud olukorras lisandub neto soojusenergia vajadusele ka ventilatsiooniõhu soojendamine. Saadud tulemused on antud tabelis 3.4. Sooja tarbevee netoenergiavajadus köetava pinna ruutmeetri kohta jäi määruse muutumisega samaks, seega väärtus on võetud vastavalt „Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika“, RT I, 19.01.2018, 7, § 7, tabel 5. Kasutades valemit (1.11) ning tabelit 2.6. teostatakse inimeste, seadmete, valgustuse ja ventilaatori aastane soojuseralduse arvutus. Saadud tulemused on toodud tabelis 3.6. Ventilatsiooni süsteemi andmed on toodud tabelis 3.5.

Tabelist nähtub, et oluliselt rekonstrueeritud hoone soojusvajadus tarbevee soojendamiseks on suurem, kui ruumide kütmiseks ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks.

Tabel 3.4 Oluliselt rekonstrueeritud hoone netoenergiavajadus

Netoenergiavajadus	kWh/ m²a	kWh/a
Ruumide kütmiseks	21,25	60406
Ventilatsiooniõhu soojendamine	13,46	38262
Tarbevee soojendamine	30,00	85284

Tabel 3.5 Ventilatsiooni süsteemi andmed

Ventilatsiooni süsteem	Õhuvooluhulk sisepuhke/väljatõmme	Ventilaatori kasutegur sisepuhke/väljatõmme	Soojustagasti suhtarv	Süsteemi SFP	Sisepuhke temperatuur
	m ³ /s	%		kW/(m ³ s)	°C
Ventagregaat plaatsoojustagastiga	1,42	87	0,7	1,30	18

Tabel 3.6 Inimeste, seadmete, valgustuse ja ventilaatorite aastane soojuseralduse arvutus

	kWh/a	kWh/am ²
Inimesed	64036	22,5
Seadmed	64036	22,5
Valgustus	19922	7,0
Ventilaatorid	16187	5,7

ETA leidmiseks *ETA2018 meetodika* järgi kasutatakse valemit (2.12) ning *ETA2019 meetodika* järgi valemit (3.1). [21]

$$ETA = \frac{\sum E_{tar,i} \times f_i}{A_{kõetav}} \quad (3.1)$$

Energiaarvutuse väärtused vt Lisa 1 ning Lisa 2. Energiatõhususarvud on toodud tabelis 3.7

Tabel 3.7 Kaugküte ja maagaasi ETA arvutus *ETA2019* ja *ETA2018 meetodika* järgi

Energialiik	ETA, kehtetu (enne 01.01.19)	ETA, kehtiv (peale 1.01.19)
Maagaas	140	140
Kaugküte	130	ei rakenda
Tõhus kaugküte	ei rakenda	119

Summaarne tarnitud energia pärast hoone olulist rekonstrueerimist on vähenenud kaks korda.

Kõik 4 tulemust vastavad hoone energiatarbimise miinimumnõutele, vt tabel 1.1, kuid hoone on energiatarbimise osas, kui soojusallikana kasutatakse kaugkütet. *ETA 2018 meetodika* järgi olid tingimused korterelamu energiatarbimisele karmimad võrreldes

ETA2019 meetodika. Rekonstrueeritud mudel, kus soojusallikana on kasutusel tõhus kaugküte *ETA2019 meetodika* järgi vastab B-klassi hoonele, ehk madalenergia hoonele.

ETA2018 meetodika järgi on sama energiavajadusega hoone, kus soojusallikana on maagaas vaja rohkem kasutada tarnitud ning primaarenergiat. *ETA2019 meetodika* järgi on vastupidi. Kaugkütte sõlme kasuteguri langemise tulemusel on tõusnud soojuse energiakasutus. Antud maja on energiatõhusam, sest tõhus kaugkütte tarbib vähem primaarenergiat. Peale kaugkütte kaalumisteguri väärtuse alandamist on hoone energiatõhususarv vähenenud ca 9%.

4 MIKRO KOOSTOOMISE RAKENDAMISE MÕJU HOONE ENERGIATÕHUSUSELE

4.1 Mikro-koostootmisjaam gaasimootoriga

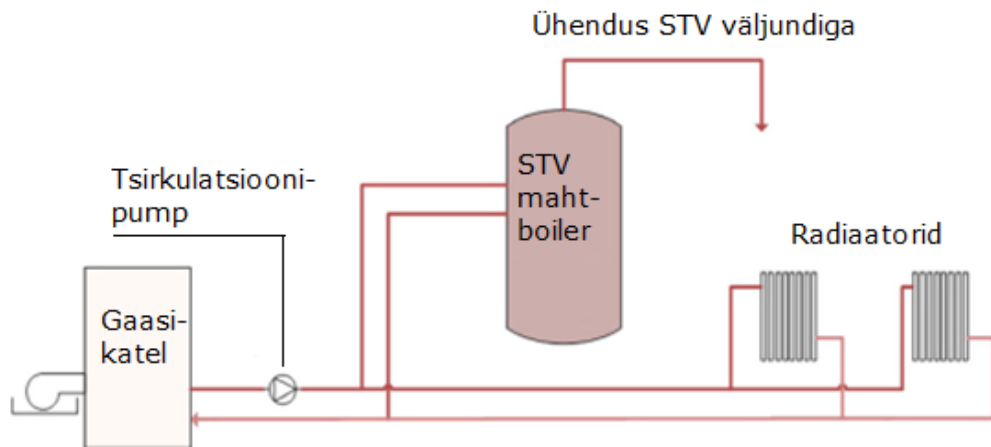
Hoone energiatõhusus paraneb, kui kasutatakse hoone energiavajaduse katmiseks vähem primaarenergiat. Maagaas on fossiilne kütus ja sellele omistatud kaalumistegur ei soodusta maagaasi kasutamist hoonete kütmiseks pärast hoone rekonstrueerimist ja uusarendus piirkondades. Maagaasi kasutades on primaarenergia erikasutus uuritaval objektil võrreldes kaugkütte ja tõhusa kaugküttega vastavalt 14% ja 31% kõrgem. Maagaasi kasutamise efektiivsuse tõstmiseks tehakse arvutused koostootmise rakendamise lahendustele ja hinnatakse nende mõjusid hoonete energiatõhususele.

Soojuse ja elektri koostootmine on protsess, kus ühest seadmest väljastatakse samaaegselt mehaanilist ja soojusenergiat. Soojusenergiat kasutatakse ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning ruumide kütmiseks. Mehaaniline energia reeglina läheb elektrienergia tootmiseks (mõnikord ka otseselt pumpade ja ventilaatorite käitamiseks). [22] Kui tavapärane elektrijaam toodab elektrit, kaob osa kasulikust soojusest, kuid koostootmisjaam suudab elektrit ja soojust koos varustada. [23] Soojuselektrijaamade elektriline kasutegur jääb üldjuhul vahemikku 30..45% (Auvere elektrijaamas umbes 40%), kuid koostootmise kasuliku energia tootmiseefektiivsus on umbes 90% (vt joonis 4.1). Koostootmissüsteemid parandavad primaarenergia kasutamist. Koostootmissüsteemid klassifitseeritakse nende poolt toodetava maksimaalse elektrivõimsuse järgi. Kuna soojuse ja elektri koostootmine on hästi tõestanud tehnoloogia, seetõttu mikro-koostootmise käsitlemine võib olla edukaks lahenduseks elamuehitussektorile. [24] Mikro-koostootmise (*edaspidi SEJ*) võimsus on kuni 50kW. [25]

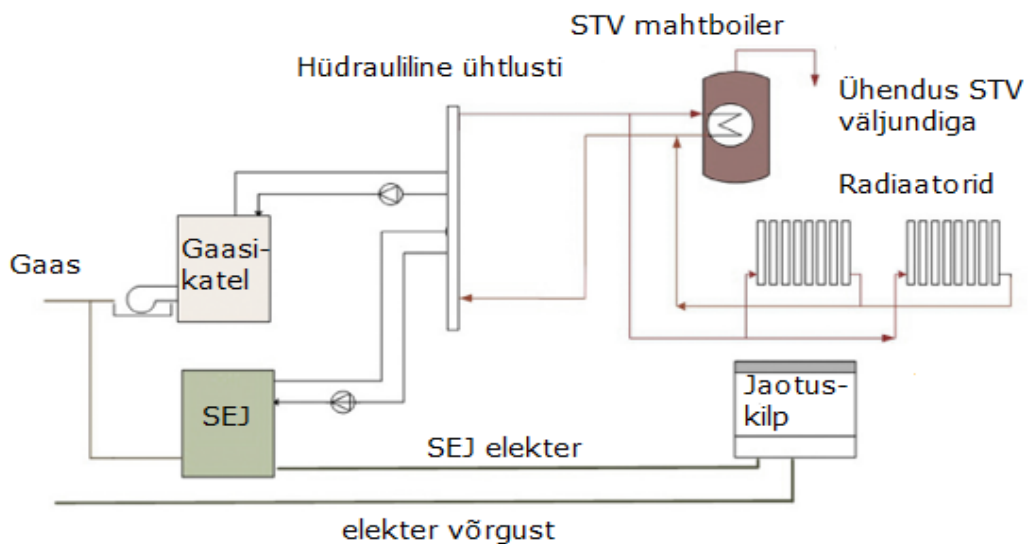
SEJ on väga tõhus viis gaasi kasutamiseks kütteks ja elektritootmiseks. [26] SEJst toodetud soojust kasutatakse ruumi kütmiseks, ventilatsiooni õhu ja tarbevee soojendamiseks, elektrit kasutatakse hoones pumpade, ventilaatorite käitamiseks, üleliigne toodetud elekter suunatakse võrku. [27] SEJ paigaldatakse sageli süsteemidena, mis töötavad paralleelselt teise soojusallikaga ehk SEJ katab baaskoormust ning ülejäänud vajalik soojus toodetakse/tarnitakse juurde. [28], [29] Joonistel 4.1 ja 4.2 on näidanud tavalise gaasikatla küttesüsteemi ning SEJ süsteemi koos täiendava gaasikatlaga.

Kui genereeritud võimsus on väiksem kui elektriline koormus, siis antakse energiasüsteemi võimsust ebapiisava koormuse kompenseerimiseks. Kui genereeritud võimsus on suurem kui elektriline koormus, siis liigne võimsus tarnitakse võrku. [23]

Süsteem koosneb koostootmisjaamast, koostootmise boilerist ning soojussalvestist. Tavaliselt abistav boiler ning soojussalvesti võimaldavad korralikult hoone soojusvajadusi katta. [25] Termiline säilitamine suurendab CO₂ kokkuhoidu. Õige suurus ning kalibreerimine vähendab ka gaasikatla kasutamist ning elektrienergia võrgust impordi, mis aitab kütuseelemendi töötada kauem.[22]



Joonis 4.1 Hoone gaasikütte süsteem [28]



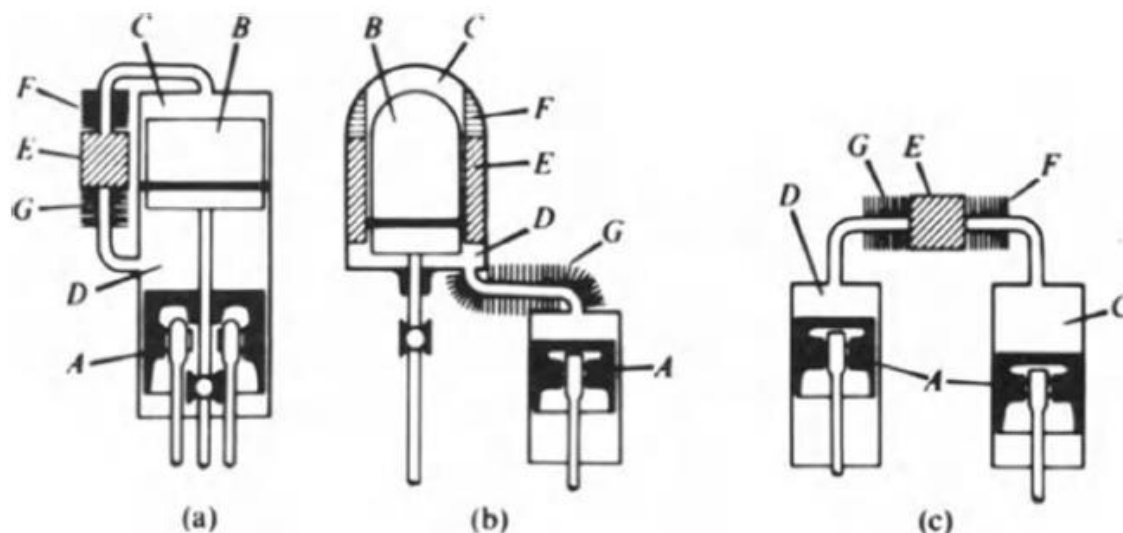
Joonis 4.2 Hoone SEJ küttesüsteem täiendava gaasikatlaga [28]

Euroopas kasutatakse SEJ tooteid tavaliselt kütteseadmetena elamutes, äärelinnades, maapiirkondades või ärihoonetes. Võrreldes tavalise katlaga toodab mikro-

koostootmisjaam elektrit soojuse kaudu väga suure kasuteguriga ja aitab seega säästa kütust, vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid ja vähendada energiakulusid. [27]

SEJ põhinevad Stirlingi mootori, mikroturbiini või sise põlemismootori (ICE) tehnoloogiatel iseloomustatakse kõrge soojuse ja võimsuse suhe, mis teeb nad sobilikuks olemasolevatesse hoonetesse paigaldamiseks. [26] Kõige levinum mikrokoostootmise rakendamise viis on gaasimootorite kasutamise. On levinud ja mikroturbiinide rakendamine.

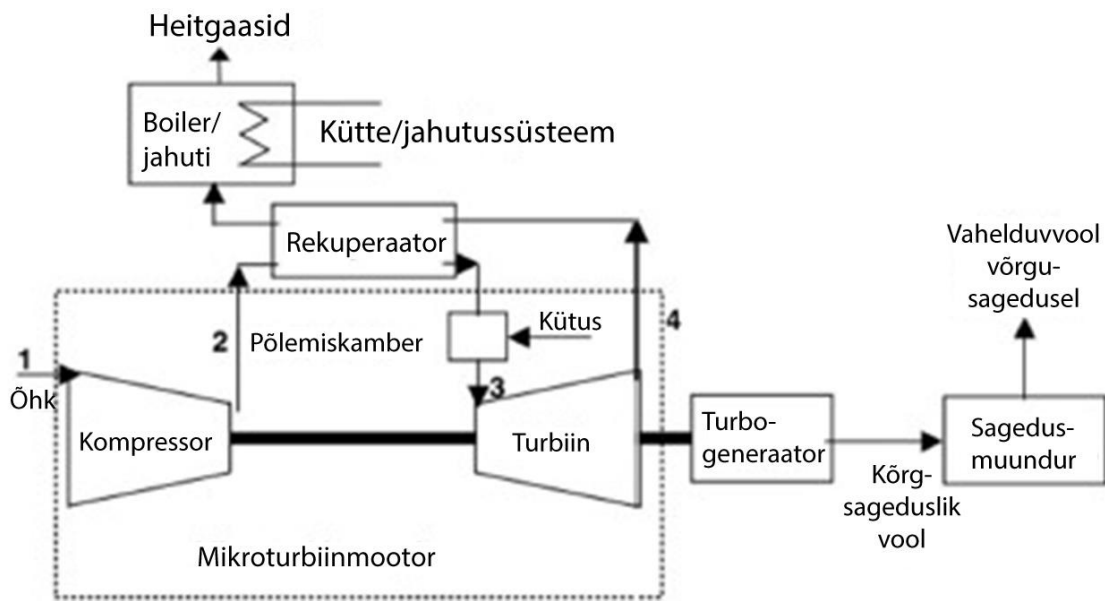
Stirling mootor. Stirling mootor koosneb silindrist, regeneraatorist, kolbist ning nihutajast. Kütust põletakse mootorist väljaspool ning toodetud soojus hoiab ühte osa silindrist kõrgel temperatuuril, teine osa jahutatakse veega. Võimsus saadakse kolvi mõjutava gaasi rõhukõikumistest. Stirling mootor on taastav soojusmasin ning voolu reguleerimine toimub sisemise mahu muutuse kaudu. Stirlingi mootor on välispõlemismootor, mis võimaldab põlemisprotsessi hoolikat juhtimist ning kütuse kõrget kohanemisvõimet. See muudab need sobivaimaks lahenduseks taastuvate ressursside integreerimisel. Joonisel 4.3. välja toodud kolm Stirling mootori konfiguratsiooni nende põhikomponentidega. A – nihutaja, B- kolb, C – nihkevarras, D – paisumisruum, E – kokkusurumise tühik, F – regeneratiivne rõngas ja G – piirpind.[25], [30]



Joonis 4.3 Stirling mootori konfiguratsioonid. [25]

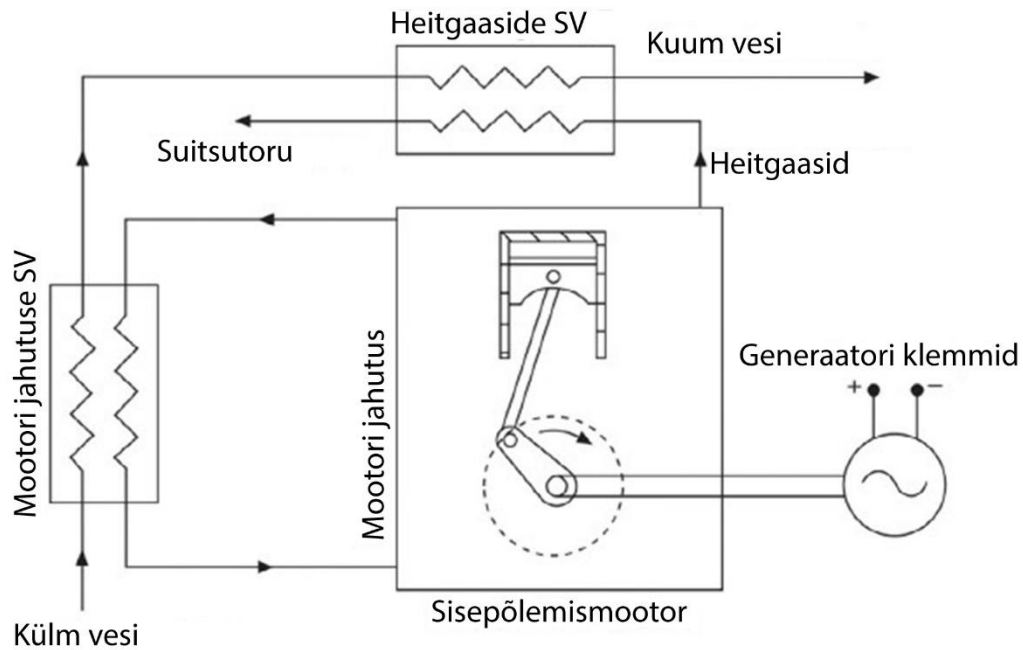
Mikroturbiin. Mikroturbiin on väike põlemisturbiin, mis võib kasutada gaasilisi või vedelkütuseid. Õhk juhitakse läbi kompressori ja segatakse kütusega põlemiskambris ning põlemisproduktid eemaldatakse läbi kompressori. Mikroturbiin sobib eluhoonetele ning eelduseks on kompaktne suurus, väike müratase ja mitme kütuse kasutamise

võimalused, kuid suure koormuse all võib tekkida kasuteguri langemine. Rekuperatsioonisüsteem on nädanud pildil 4.3. Saabuv suruõhk kuumutatakse rekuperaatoris. Eelkuumutatud õhk läbib põlemiskambri, kus kokku surutud maagaas viiakse kõrge rõhu alla. Eelkuumutatud kõrge rõhuga gaas viiakse läbi turbiini, mis eraldab energiat. Seda energiat kasutatakse kompressori ning võllile paigaldatud vahelduvvoolugeneraatori juhtimiseks. [25]



Joonis 4.4 Ühe võlli rekuperatsioonisüsteemi näidis. [25]

ICE tehnoloogia (Otto mootor). Otto mootor kasutab sädet eelsegatud laengu süütamiseks silindris kindlal rõhul. Tavaliselt nimetatakse Otto mootoriks sädesüütesüsteemiks. Heitgaasidest võib soojust eraldada kuuma vee või madalrõhuaauruga temperatuuril umbes 100-120°C. Heitgaaside temperatuur sõltub mootori koormusvahemikust. Madala koormuse korral on temperatuurid tõhusa soojustagastuse saavutamiseks piisavalt kõrged. See tehnoloogia sobib eriti maagaasile, samas kui muude kütustega võib tekkida korrosioon. [25] Joonisel 4.5 kirjeldatakse soojustagastuseks mõeldud ICE tehnoloogiat.



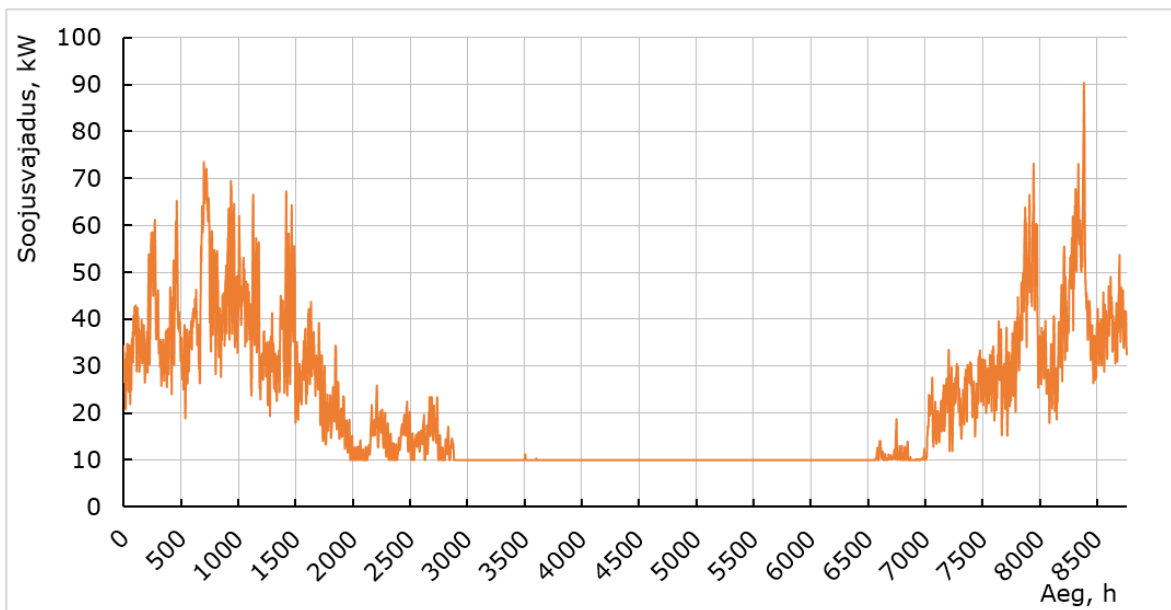
Joonis 4.5 ICE tehnoloogia soojustagastusega. [25]

4.2 SEJ süsteemi mõju energiatõhususarvule

SEJ süsteemi korterelamute integreerimine oli varem ka vaadeldatud teistes uuringutes. [23], [31], [32]

Hoone aastased ventilatsiooniõhu ning hoone kütmiseks netoenergiavajadused ja elektrivajaduse väärtused on saadud kasutades simulatsiooniprogrammi IDA ICE 4.8. Kuna saadud simulatsiooniprogrammi kaudu netosoojusenergia tarbevee soojendamiseks tulemused on üsna konstantsed (päevakeskmised tarbimised), arvestatakse väärtust, mis on arvutatud tabelis 3.4 ning jagatakse 8760 tunniga.

Aastane netosoojusenergia vajadus on näidatud joonisel 4.6. Talve- ja sügisperioodil vajab hoone rohkem soojust kütteks, soojusvajadus on kuni 90 kW. Suveperioodil pole siseruumides kütet praktiliselt vaja. Sooja tarbevett kasutatakse järjepidavalt. Sooja tarbevee päevakeskmise koormus on 10 kW.

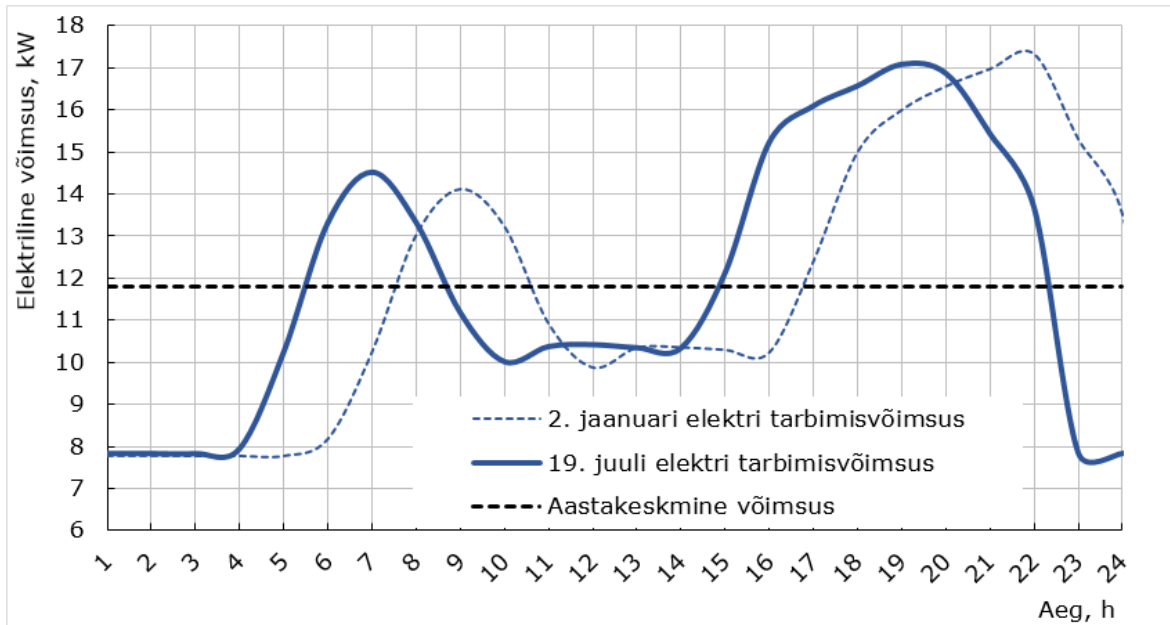


Joonis 4.6 Aastane soojuskoormuse graafik, kW

Aastased elektrivajadused on toodud tabelis 4.7. Arvutusprogramm IDA ICE 4.8. võimaldab teha tunniste intervallidegaga elektritarbimise arvutamist. Modelleerimise tulemusel on leitud hoone tarnitud elektrienergia vajadus, milleks on 103 365 kWh/a.

Lisaks mudeli väljundile olid tehtud elektri summaarne energiakasutus. Arvutuste tulemusena on saadud 101 567 kWh/a (vt Lisa 2). Tulemuste erinevus 1,8% näitab arvutusalgortimide sarnasust. Edasistes arvutustes kasutame IDA ICE 4.8 poolt väljastatud tulemusi.

Analüüsid elektritarbimise andmeid mis tulenevad IDA ICE 4.8. modelleerimisest näeme, et keskmine päevane elektritarbimine vaatamata aastaajast on peaaegu sama, selle tõestamiseks tuuakse näide ühe suve- ning talvapäeva kohta. Talveperioodil inimesed hakkavad kasutama elektriseadmeid varem, kuna õues on pimedam võrreldes suveperioodiga. Tulenevalt sellest, arvestatakse keskmise väärtusega hoone aastane elektrivajadus 103 365 kWh/a jagatud 8760 tunniga - 11,80kW (joonis 4.2). On eeldatud, et elektri päevased kõikumused on kompenseeritud objektile paigaldatud akupaagiga.



Joonis 4.7. Näide suvisest ja talvisest päevastest elektrivajaduse profiilidest ning aastakeskmine tarbimine, kW

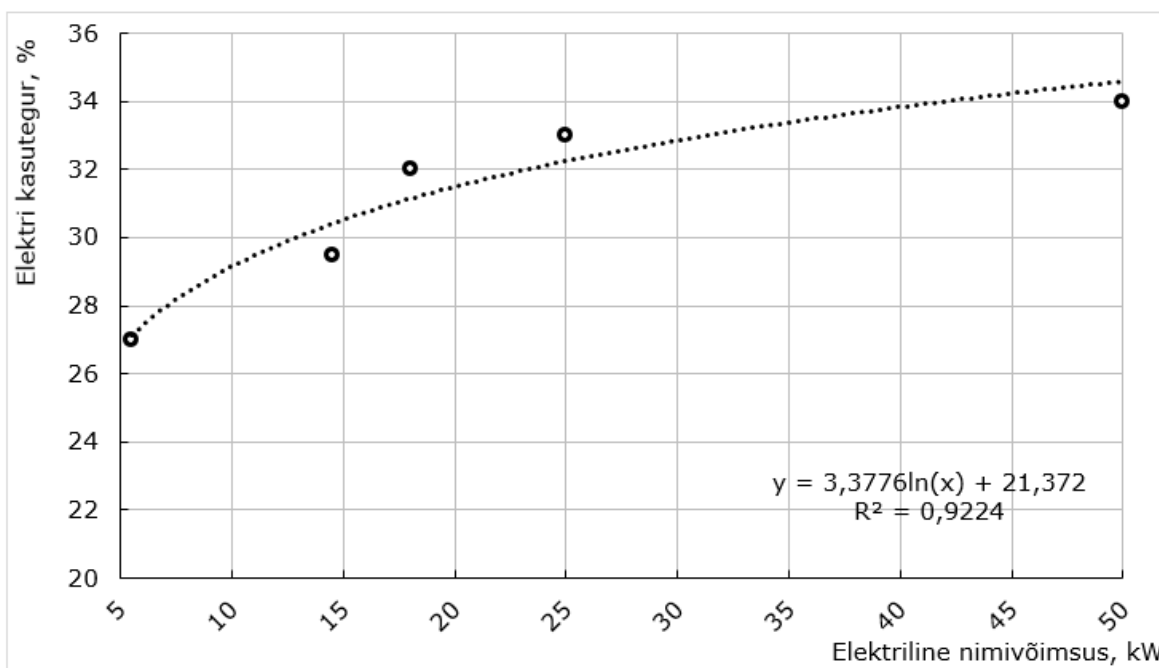
SEJ süsteemi võimsuse valiku mõjude hindamiseks energiatõhususarvule, vaadeldakse 5 erinevat SEJ mudelit erinevate võimsuste ning elektrilise kasuteguritega. Tabelis 4.1 on toodud mõned näitajad turul pakutavatest gaasimootoritel põhinevatest SEJ lahendustest.

Tabel 4.1 Gaasimootoritel põhinevate SEJ-de kommertsilahenduse[33], [34], [35], [36]

Model	Soojuslik võimsus	Elektriline võimsus	Soojuse kasutegur	Elektri kasutegur	Kogu kasutegur
	kW	kW	%	%	%
EC Power A/S, XRGI 15	30,8	14,5	62,3	29,5	91,8
Senertec Dachs 5.5	14,7	5,5	72	27	99
Yanmar CP25WE	38,7	25	51	33	86
Buderus Loganova EN50	79	50	54	34	88
Viessmann Vitobloc 200	36	18	64	32	96

Vaadeldes 5 erinevat SEJ lahendust nähtub, et elektriline ja soojuslik kasutegur sõltuvad süsteemi suuruselt. Elektriline kasutegur on alalisvoolu süsteemi efektiivsus, mis on defineeritud süsteemi poolt toodetud alalisvoolu elektrilise võimsuse ja etteantava kütuse keemilise energia suhtena. Soojuslik kasutegur on murdosa etteantava kütuse keemilisest energiast, mis on tagastatud läbi soojustagastusagregaadi. Kogu kasutegur on elektrilise ja soojusliku efektiivsuste summa. [31]

Edaspidistes arvutustes kasutatavad elektri võimsuse ja elektrilise kasuteguri sõltuvuse kõver ja valem on toodud joonisel 4.8.



Joonis 4.8 SEJ süsteemide võimsuste ning elektri kasutegurite sõltuvus

Talveperioodil SEJ annab hoonele soojust, vähendades lisa soojusallika tööd ehk töötab täisvõimsusega. Suveperioodil kasutatakse kogu SEJ toodetud soojus tarbevee soojendamiseks. Vastavalt SEJ süsteemi soojuse tootmisest sõltub otseselt elektri toodang. Suveperioodil SEJ toodab soojuseenergiat minimaalselt, seega elektri toodang on väike. Talveperioodil toodab SEJ soojuseenergiat maksimaalselt ja sellest tulenevalt on elektritoodang suur. Kuna aastane elektritarbimine on suhteliselt konstantne, siis talveperioodil SEJ saab toota isegi rohkem elektrienergiat, kui hoone vajab oma tarbeks. See sõltub aga SEJ võimsuse valikust. Ületoodetud elektrienergiat saab müüa elektrivõrku.

Mida võimsam on SEJ, seda rohkem ta toodab nii soojust kui ka elektrit. Tabelis 4.2. on toodud hoone energiatõhususarvud kasutades erinevaid SEJ mudeleid. Detaalsed SEJ süsteemide arvutused on toodud Lisas 3.

Tabel 4.2 SEJ hoonesse integreerimine

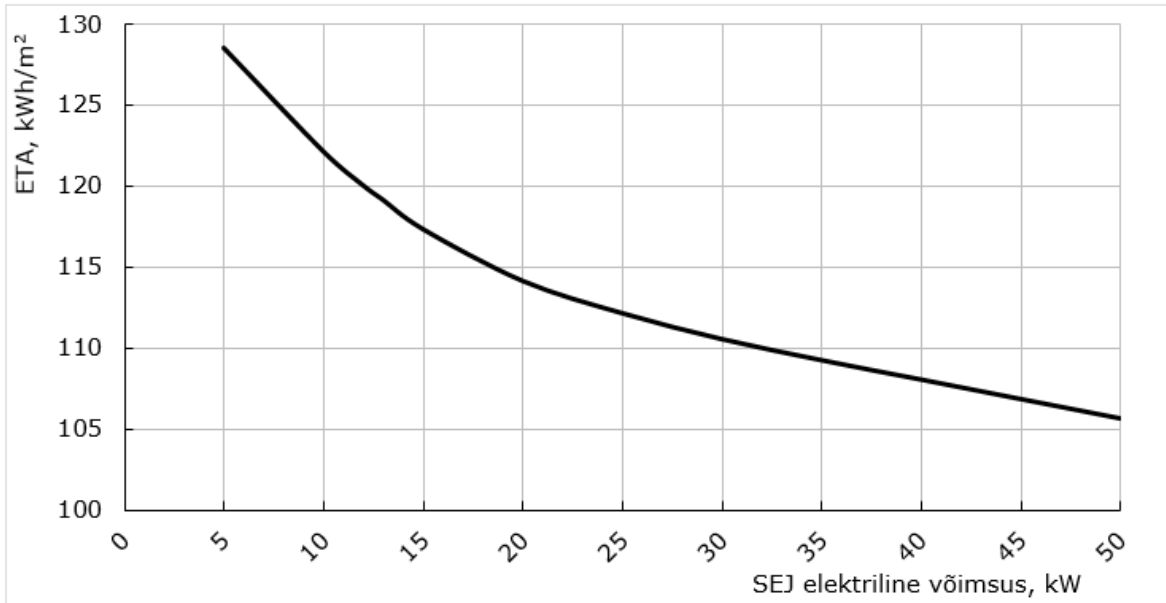
	Uus Energiatõhususarv (ETA meetoodika 2019)	Vana Energiatõhususarv (ETA meetoodika 2018)
	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)
EC Power A/S, XRGI 15	125	119
Senertec Dachs 5.5	127	127
Yanmar CP25WE	139	115
Buderus Loganova EN50	139	111
Viessmann Vitobloc 200	123	112

Esiolgu võib eeldada, et mida rohkem hoones toodetakse energiat, mida vähem ostetakse võrgust elektrit ning soojust täiendavatelt soojusallikatelt, seda energiatõhusam hoone on.

Vastavalt *ETA2018 meetoodika* energiatõhususarv defineeritakse, kui arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone tüüpilisel kasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiatega kaalutud erikasutus. Energiatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks ning see arvutatakse hoone kõetava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel. [10] Energiatõhususarvu leidmiseks kasutati valemit (2.12).

Lisas 3 ning tabelis 4.2. on näidanud kuidas SEJ süsteemide võimsuse suurenemisega muutub hoone energiatõhususarv. Põhjalikuks analüüsiks ja uuritud hoone optimaalse süsteemi valimiseks tehakse SEJ võimsuse ja elektri kasutegurite sõltuvus erinevatel võimsustel.

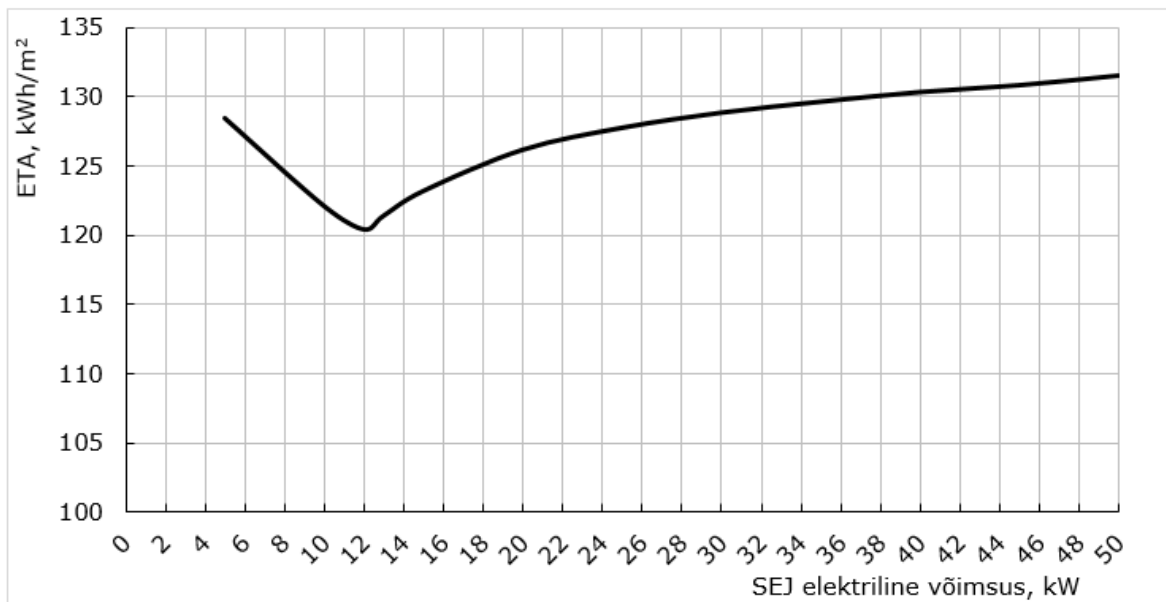
Joonisel 4.9 on kujutatud, kuidas muutub energiatõhususarv sõltuvalt SEJ süsteemide võimsusest ETA2018 meetoodika järgi.



Joonis 4.9 ETA muutus sõltuvalt SEJ süsteemi võimsusest ETA2018 meetodika järgi

Joonise 4.9 põhjal on näha, et mida võimsam SEJ süsteem on, seda väiksem on energiatõhususarv. Sel juhul oli energiatõhususe seisukohalt mõistlikum inimestele investeerida võimsamatesse SEJ süsteemidesse mille tulemusena oli elektri ületootmine.

Joonisel 4.10 on näidatud kuidas muutub energiatõhususarv sõltuvalt SEJ süsteemi võimsusest ETA2019 meetodika järgi.



Joonis 4.10 ETA muutus sõltuvalt SEJ võimsusest ETA2019 meetodika järgi

Joonise 4.10 järgi on näha, et enam ei sõltu ETA lang SEJ süsteemi võimsusest, vaid on olemas üks optimaalseim variant saavutamaks hoone energiatõhusust.

Vastavalt *ETA2019 metoodika* järgi energiatõhususarv defineeritakse kui arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone tüüpilisel kasutusel, mis kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks hoone kätava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel. Seda väljendatakse kilovatt-tundides hoone kätava pinna ruutmeetri kohta aastas. [3] Tänapäeva seisuga ei arvestata energiatõhususarvu leidmisel enam maha summaarset eksporditud energiat ehk ei ole enam mõistlik omada suurima võimsusega SEJ süsteemi ning tegeleda elektrienergia ületootmisega.

Arvestades SEJ süsteemi keskmist soojuse ning elektrienergia kasutegurit (92%) leiab autor tänapäevase optimaalseima variandi, mida paigaldada hoonesse energiatõhususarvu vähendamiseks. Varem kehtinud tingimuste juures optimaalseimaks lahenduseks suurima energiatõhususe saavutamise seisukohalt oli selline SEJ võimsus, mis oleks võimeline katma 100% kogu soojuse vajadusest. Sellisel juhul on tegemist maksimaalse koostoodetud elektri kogusega ja seekaudu maksimaalse mõjuga primaarenergia tarbimise vähendamisele.

Samas ei tundu selline lahendus mõistlik majanduslikel kaalutlustel. Reeglina on koostootmisega mõistlik katta baaskoormus. Tipukoormuse katmine eeldab suuremaid investeeringuid ja SEJ töötamist enamik ajast osalisel koormusel. See võib mõjutada SEJ töö stabiilsust ja mõnikord elektrilise kasuteguri mõningat vähenemist. [35]

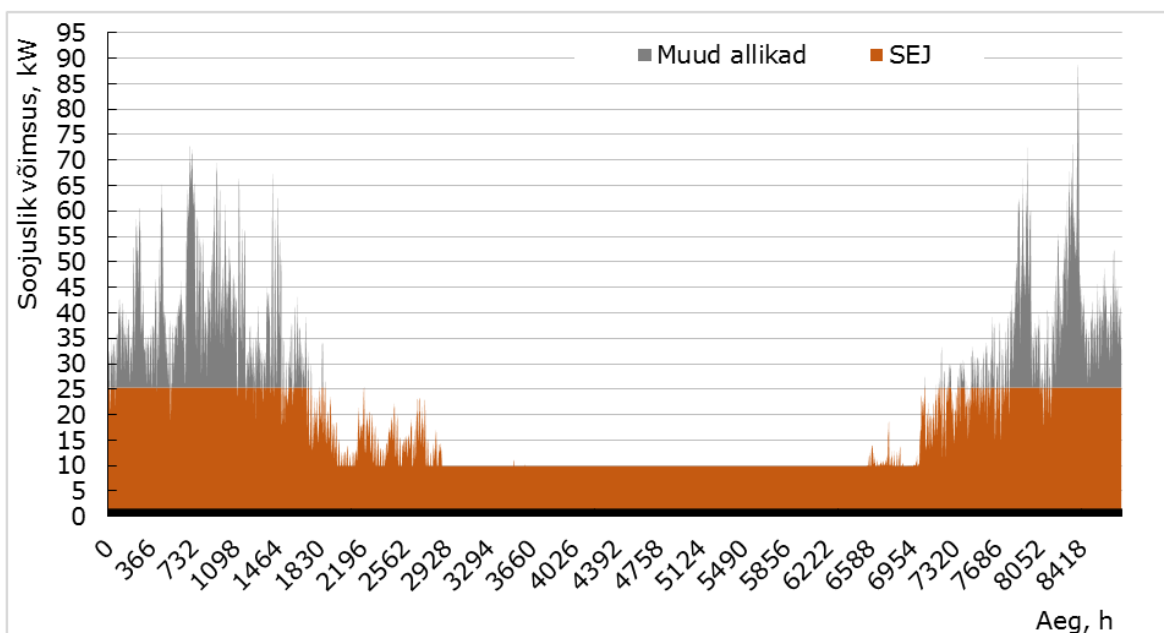
Praegu optimaalse SEJ elektriliseks võimsuseks uuritava objekti puhul, millega oleks tagatud madalaim energiatõhususarv on umbes 12 kW (vt joonis 4.11). Eeldades, et süsteemi kogu kasutegur on 92%, tuleneb 62% soojuslik kasutegur ning 30% elektri kasutegur, elektriline võimsus on 12 kW ning soojuslik võimsus 25 kW.

Optimaalse võimsusega SEJ ja tavalise gaasikatla ETA on toodud tabelis 4.3. Detailed arvutused on toodud Lisades 4 ja 5.

Tabel 4.3 Hoone energiatõhusus sõltuvalt küttesüsteemi

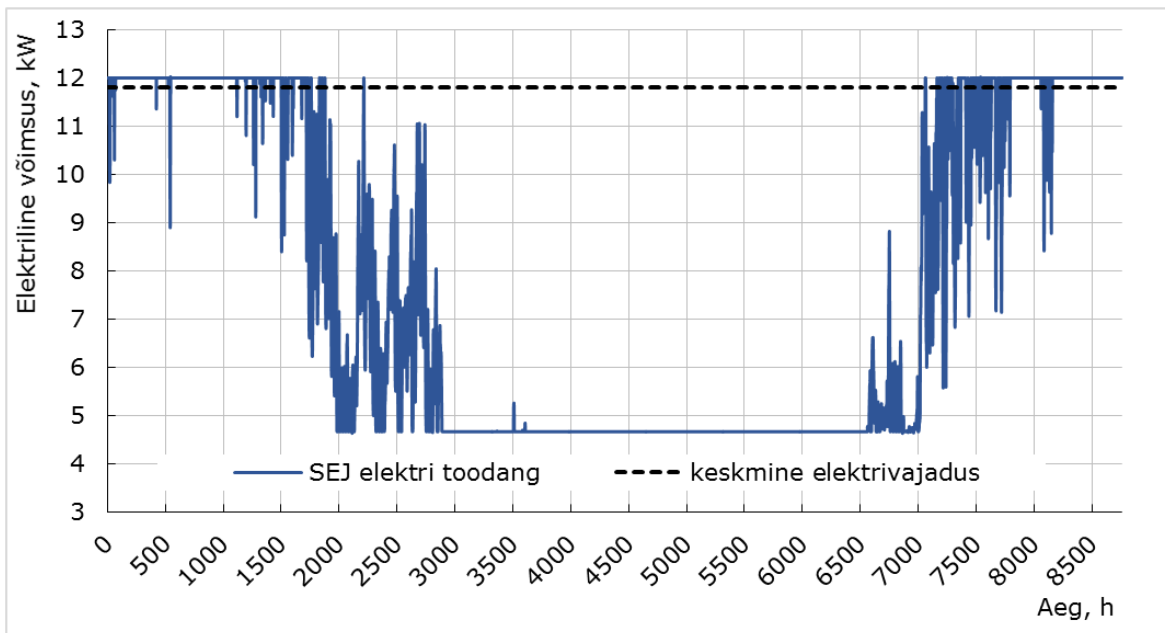
	Energiatõhususarv, kWh/(m ² ·a)
SEJ süsteemiga	120
Hoone gaasikatlaga	140

Jälgides Lisa 5 katab energiatõhususe seisukohalt optimaalse võimsusega SEJ süsteem 78% hoone soojusvajadust. Puudujääva 22% peab tootma lisa soojusallikas. Võrreldes uuritud hoone tavalise gaasikatlaga küttesüsteemi ning SEJ süsteemi on näha, et SEJ süsteemiga säästab hoone aastas 67 921 kWh tarnitud elektrienergiat. Seega vähendatakse elektri primaarenergia kasutust aastas 135 842 kWh võrra. Kuid kütuse primaarenergia kogus suureneb 79 901 kWh võrra, kuna SEJ süsteemi jaoks on vaja rohkem maagaasi sama soojuse koguse tootmiseks, kui tavalise katla jaoks. Vaatamata sellele kogu primaarenergia hoone kütmiseks väheneb aastas 55 941 kWh võrra, seega energiatõhususarv väheneb ning vastab madalenergia hoonele ehk B-klassi hoonele, sama nagu kaugküttet kasutades. Joonisel 4.11 on näidatud kui palju soojust toodab energiatõhususe seisukohalt optimaalne SEJ süsteem.



Joonis 4.11 Energiatõhususe seisukohalt optimaalse SEJ süsteemi aastane soojustoodang

Energiatõhususe seisukohalt optimaalse süsteemi üheks eelduseks on see, et suveperioodil ei tööta SEJ väga madalal osakoormusel. Sellest tulenevalt süsteemi kasutegur ei lange, mootori töös ei esine tõrgeid mille tulemusena SEJ süsteemi eluiga on pikem. Joonisel 4.12 on näidatud optimaalse SEJ süsteemi aastane elektritoodang.



Joonis 4.12 Energiatõhususe seisukohalt optimaalse SEJ süsteemi aastane elektritoodang

Joonise 4.12 järgi on *ETA2019 meetodika* põhjal kõige optimaalsem variant, kui süsteem toodab täisvõimsusega nii palju elektrit, kui hoone parasjagu tarbib. Kui hoonel hakkab ületootmine siis järelikul energiatarvitusarv kohe tõuseb.

Määruse muudatus oli mõistlik, sest inimesed ei pea tegelema energia tootmisega ning investeerima kallitesse süsteemidesse, vaid leidma sobivaima variandi enda hoone energiatarvitus nõuete täitmiseks. SEJ hoonesse integreerimisel on esialgu vaja investeerida suurem summa, mis tasub ära vähemalt viie aasta pärast, kuid see on investeering tulevikku ning hea variant maagaasi konkurentsivõime parandamiseks. [29]

5 BIOGAASI KASUTAMINE

5.1 Biogaas ja biometaan

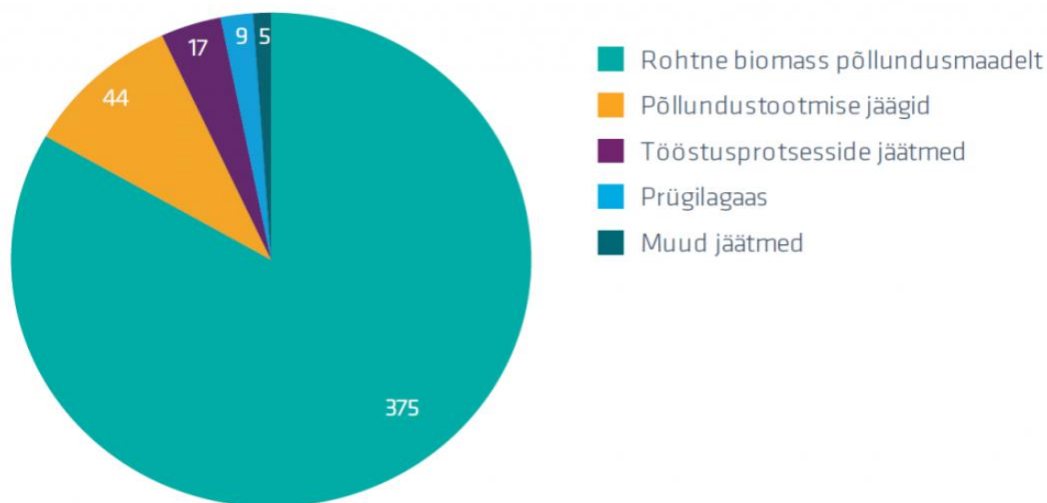
Maagaasi konkurentsivõime parandamise üheks lahenduseks on biometaani kasutamine. Biometaan on paindlik energiavektor, mida saab kasutada taastuva kütusena soojusvarustuse tarbeks.

Europa Liidu hiljutised õigusaktid edendavad kolmanda põlvkonna biokütuste tootmist ja kasutamist parema keskmise elueaga tuleviku energiasüsteemides. Sellise tehnoloogia integreerimine nagu anaeroobne, kääritamine, elektrist gaasi tootmistehnoloogia ja lähtematerjal nagu vetikad on aluseks tuleviku jätkusuutlikkuse kriteeriumite täitmisel ning võimaldamaks pakkuda tulevikus gaasi võrgus rohelist gaasi.[37]

Biogaasi on korduvalt rõhustatud taastuvatena oluliste teenetega kütuseid. Fossiilse gaasi alternatiivina on biogaasile pööratud suuremat tähelepanu viimastel aastatel, mida kajastab ka biogaasi tootmise kiire kasv kogu maailmas. Euroopas toodetakse rohkem biogaasi, kui mujal maailmas. Biogaasi, mis koosneb 50–70% metaanist ja 30–50% süsinikdioksiidist, saab kasutada otse elektri ja soojuse tootmiseks ehk SEJ süsteemi tarbeks. [38]

Eestis kasutatakse soojuse ja elektri tootmiseks biogaasijaamadest toodetud biogaasi. Biogaasi puhastamise käigus võib toota biometaani ehk keskkonnasõbralikku taastuvkütust. Biogaasi puhastamisega on võimalik vähendada süsinikdioksiidi ja muude ebavajalike ainete osakaalu. See läbi tõstetakse biogaasi kütteväärtus ning vähendatakse korrosiooni tekkevõimalusi gaasiga varustamissüsteemides. Biogaasis tõstetakse metaani osakaalu biometaani saamiseks. Kuna Eestis kasutatava maagaasi metaani sisaldus on ca 98%, peab gaasivõrgus kasutatav biometaan sisaldama ca 98% metaani. [39]

Biometaani hind sõltub kasutatud toorainetest. Kõige odavamam on toota biometaani munitsipaal- ning prügijäätmetest, reoveest ja orgaanilistest tööstusjäätmetest. Kõige kallim on toota põllumajandus tootmise jääkidest ja biomassist põllumajandusmaadelt. Joonisel 5.1 on kujutatud Biometaani kasutamise potentsiaal Eestis. [39]



Joonis 5.1 Biometaani potentsiaal Eestis. [39]

5.2 Biometaani mõju energiatõhususele

Biometaani lisamisega avaneb potentsiaal muuta gaasi kasutamine veel keskkonnasõbralikumaks ning kohaliku tootmisega saame vähendada energiasõltuvust teistest riikidest. Biometaani SEJ süsteemis kasutamisega saab saavutada veelgi parema hoone energiatõhususe. Biometaani kaalumisteguriks on võetud antud töös biokütuste kaalumistegur, vt tabel 1.4.

Tabelis 5.1 on toodud ETA muutused arvestades erinevate energiakandjatega.

Tabel 5.1 ETA erinevus sõltuvalt energiakandjast

	Kaalutud energia kasutus (soojus)	Kaalutud energia kasutus (elekter)	Energiatõhususarv
	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)
Maagaas	68,8	71,5	140
SEJ maagaasiga	95,7	24,6	120
SEJ biometaaniga	63,0	24,6	87
Biometaan	44,7	71,5	116
Kaugküte	58,8	71,5	130
Tõhus kaugküte	47,2	71,5	119

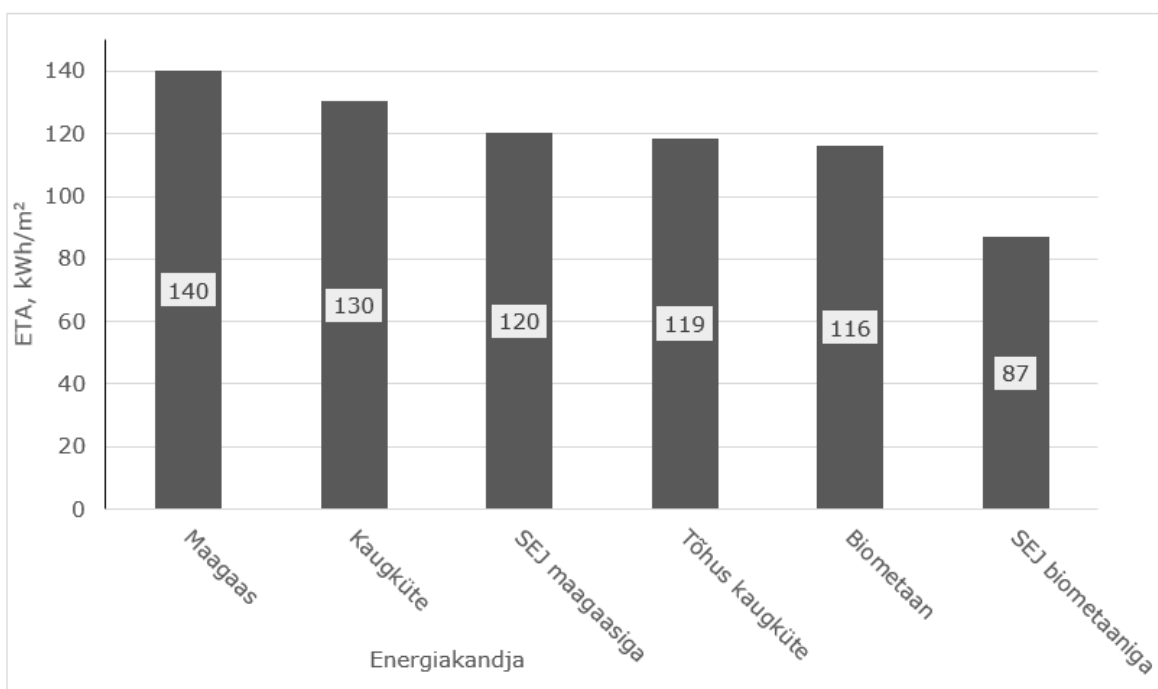
Tabeli 5.1 järgi on näha kuidas muutub ETA sõltuvalt erinevatest energiakandjatest. Biometaani kasutamisel muutub hoone energiatõhusamaks. Parema energiatõhususe saavutamiseks on võimalik kasutada biometaani SEJ süsteemis. Kui võrrelda biometaani SEJ süsteemis kasutamist esialgse maagaasi kasutava variandiga, siis biometaani SEJ süsteemis hoone ETA langeb 1,5 korda. Maagaas ja biometaan on teineteist toetavad tooted. Kui biometaani kvaliteet vastab maagaasi omale, siis võib seda kasutada kõikjal, kus kasutatakse maagaasi. [39]

Maagaasiga töötava SEJ primaarenergia kasutus on $34 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ võrra suurem, kui biometaanil töötaval.

Samuti on üks võimalustest lisada biometaani gaasivõrku. [45] Biometaani ning maagaasi kaalutud soojusenergia köetava pinna kohta erinevus on $24 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Primaarse energia kasutamise (soojuse) vähenemisega ETA arv hakkab langema.

Biometaani ja tõhusa kaugkütte kaalutud enegiakasutus (soojuse) köetava pinna kohta peaaegu ei erine, kuna biokütuste ning tõhusakaugkütte kaalumistegurid on võrdsed, vt tabel 1.4.

Joonisel 5.2 on toodud uuritud objekti ETA sõltuvalt energiakandjatest.



Joonis 5.2 ETA sõltuvus energiakandjatest

Joonise 5.2 järgi on näha kuidas muutub uuritud objekti ETA arv sõltuvalt energiakandjatest. Kõige halvem variant uuritud objekti puhul on maagaas ning

kaugkütte kasutamine. Kuid mõlemad variandid vastavad oluliselt rekonstrueeritud hoonele kehtestatud piirväärtusele, vt tabel 1.1.

Madalenergiahoonele vastab vaadeldud hoone kasutades biometaanil gaasivõrgus, tõiõhusa kaugkütte ning maagaasil töötava optimaalse SEJ süsteemi kasutamisega. Nii biometaanil kui ka tõiõhusa kaugkütte jaoks kasutatakse taastuvaid allikaid, mis teevad neid rohelisteks energiakandjateks. SEJ süsteemi kasutamine uuritud objektis tõstab kasutatava maagaasi efektiivsust. Kõige sobivama variandi valimiseks käsitletava objekti puhul on ette nähtud pöörata tähelepanu majanduslikele aspektidele.

Kõige energiatarõõhusam variant on kasutada biometaanil töötavat SEJ süsteemi, mille puhul hoone hakkaks vastama liiginullenergiahoonele kehtestatud nõõetele ehk A-klassile. Kuna alates 1. jaanuarist 2020 aastal peavad kõik uued hooned vastama liginullenergiahoonetele kehtivatele tingimustele, siis selline maagaasi alternatiiv on hea lahendus kasutamiseks uusarendustes.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli uurida energiatõhususarvu muutumist seoses Hoone energiatõhususe miinimumnõuete muudatusega, kasutades erinevaid soojusallikaid (kaugkütet ja maagaasi) ning teha ettepanekuid maagaasi konkurentsivõime parandamiseks.

Vaadeldes määrust Hoone energiatõhususe arvutamismetoodika (RT I, 18.01.2019, 12 määrus 58), siis uuritud rekonstrueerimata objektile tehtud energiaarvutuste põhjal ei vasta hoone energiatõhususarv ($197 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) kehtivatele Hoone energiatõhususe miinimumnõuetele. Mudeli energiatõhususarvu parandamiseks oli tuleb uuritud objekti oluliselt rekonstrueerida. Peale olulist rekonstrueerimist summaarne hoone soojuserikadu väheneb ca 3600 W/K võrra. Sellest tulenevalt ei ole hoone kütmiseks vaja kasutada nii palju soojusenergiat.

Rekonstrueerimise tulemusel saavutatud uute näitajate alusel on teostatud uus energiamärgise arvutus ETA2018 metoodika ning ETA2019 metoodika järgi. Hästi soojustatud hoone netoenergiavajadus ruumi kütmiseks on langenud $277\,450 \text{ kWh/a}$ võrra. Töö käigus on selgunud, et alates jaanuarist 2019 on vastu võetud uus kaalumistegur tõhusa kaugküte jaoks. Kaalumisteguri langus on tingitud soojuse tootmiseks vähemalt 50% taastuenergiat, heitsoojuse kasutamisest, 75% soojust on saadud koostootmisest või eelnevalt käsitletud variantide kombinatsioonist. Kaalumisteguri langemisega väheneb primaarenergia kasutus, sellest tulenevalt langeb uuritud objekti ETA. Enne 01.01.2019 kaugkütte kasutamisel oli objekti ETA $130 \text{ kW}/\text{m}^2$ ning peale 01.01.2019 tõhusa kaugkütte kasutamisel on hakanud hoonele arvutatud ETA vastama madalenergiahoonele kehtestatud tingimustele ($119 \text{ kW}/\text{m}^2$). Maagaasi kaalumistegur on jäänud samaks, seega maagaasi kasutamise puhul ei ole hoone energiatõhusus aastaga muutunud ($140 \text{ kW}/\text{m}^2$).

Lõputöö autor on vaadelnud ettepanekuid maagaasi konkurentsivõime parandamiseks. Üheks ettepanekuks on kasutada koostootmissüsteeme, mis parandaksid primaarenergia kasutamist. Lõputöö autor on pakkunud uuritud objektile integreerida SEJ süsteemi kuni 50 kW . Autor on käsitletud erinevaid SEJ süsteeme optimaalse võimsuse leidmiseks uuritud objekti puhul ETA vähendamiseks. Töö käigus on selgunud, et määruse muudatusega on muutunud ETA definitsioon. Varem kehtinud tingimuste juures oli optimaalseim lahendus energiatõhususe tõstmiseks SEJ võimsusega, mis oleks võimeline katma 100% hoone soojusvajadusest. Tänapäevase seisuga ETA arvutamisel ei arvestata maha summaarset eksporditud energiat ehk ei ole enam mõistlik tegeleda elektrienergia ületootmisega. Uuritud objekti madalama ETA

saavutamiseks on optimaalne SEJ süsteem elektilise võimsusega 12 kW, mis katab töötades täisvõimsusel 78% hoone soojusvajadusest. Hoone säästaks aastas 67 921 kWh tarnitud elektrienergiat ning kogu hoone primaarenergia kasutus väheneks 55 941 kWh võrra. Kasutades optimaalset SEJ süsteemi väheneb hoone ETA ning vastaks madalenergiahoonele kehtestatud kriteeriumitele, 120 kW/m², sama nagu kaugküttel.

Maagaasi konkurentsivõime parandamiseks on lõputöö autor käsitlenud ka biogaasi kasutamise võimalusi. Biogaasi puhastamise käigus võib toota biometaanit ehk keskkonnasõbralikku taastuvkütust. Biometaan ja maagaas on teineteist toetavad tooted. Biometaanit saab kasutada nii SEJ toiteks kui ka lisada gaasivõrku. Uuritud objekti ETA vastab madalenergiahoonele kehtestatud nõuetele (119 kW/m²) tingimusel, et gaasivõrgus kasutatakse biometaanit. Kasutades biometaanit optimaalseimas SEJ süsteemis vastab vaadeldav hoone liiginullenergiahoonele (87 kW/m²), mis oma korda võimaldaks rakendada antud lahendust uusarendustes.

Käesolevas töös võrreldud variandid on vägagi erinevad ning erineva investeeringu suurusega. Optimaalseima variandi leidmiseks tuleb vaadelda natukene laiemat pilti alates taristuolemasolust (maagaas, kaugküte, elekter), seadmetele eraldatava ruumi suurusest ning ka arvesse tuleb võtta investeeringu tasuvust. Sellest tulenevalt tuleb hoonete renoveerimisel lähtuda objekti põhiselt.

SUMMARY

The aim of this thesis was to study the changes in energy performance index caused by updated minimum requirements for energy performance, using different heat sources (district heating and natural gas), and to propose measures for increasing the competitiveness of natural gas.

In accordance with the methodology for the calculation of energy efficiency of buildings (RT I, 18.01.2019, 12 regulation 58) the energy performance index (EPI) calculated for the unrenovated building considered in this study (197 kWh/(m²·y)) does not meet the minimum requirements for energy performance. In order to improve the energy performance index of the modelled building, major renovations are needed, after which the total specific heat loss of the building will be reduced by ca 3600 W/K. This would result in less energy used for heating the building.

The post-renovation parameters were used for calculating the EPI based on 2018 and 2019 methods. Net energy consumption of well insulated rooms would be reduced by 277 450 kWh/y. The study revealed that since January 2019 a new energy carrier conversion factor for efficient district heating is in effect. The reduction of energy carrier conversion factor results from over 50% of heat energy being produced from renewable energy including waste heat, 75% of thermal energy is now produced through cogeneration or a combination of other previously mentioned technologies. This results in reduced primary energy use and lowered EPI. The energy performance index of the studied building using district heating was 130 kW/m² before 01.01.2019 and after 01.01.2019 the EPI of the building using efficient district heating meets the limit for low energy buildings (119 kW/m²). Energy carrier conversion factor for natural gas has not been changed and energy efficiency of the building remains unchanged (140 kW/m²).

The autor of the thesis has considered propositions for improving the viability of natural gas. One such solution involves cogeneration in order to reduce primary energy consumption. Integration of a micro CHP system of up to 50 kW is proposed for the building. Different micro CHP systems have been considered for the purpose of optimising the system output power and reducing the EPI of the considered building. Over the course of the study the definition for EPI has been changed with new regulations. Under previous regulations the optimal solution for improving energy efficiency was a micro CHP unit that covered 100% of the building's thermal energy consumption. Under current regulations energy export is no longer subtracted when calculating the EPI and production of excess electricity is no longer reasonable. For the purpose of lowering the EPI the optimal system is a micro CHP with 12 kW electrical

output power that covers 78% of the building's heat load at maximum power. Electricity consumption of the building would be reduced by 67 921 kWh/y and primary energy usage by 55 941 kWh/y. Using the optimised system the building's EPI would meet the required 120 kW/m² for low energy buildings, similar to district heating.

In order to improve the competitiveness of natural gas the author has also considered the usage of biogas. Biomethane can be produced as an eco-friendly renewable fuel through refinement of biogas. Biomethane and natural gas complement each other. Biomethane can be used as a fuel for micro CHPs or injected to gas pipelines. The EPI of the considered building meets the requirements for low energy buildings (119 kW/m²) in case biomethane is injected to the gas network. When biomethane is used as a fuel for the optimal micro CHP system, the building meets the requirement for nearly zero-energy buildings (87 kW/m²), making it viable for new buildings.

The options analysed in this thesis are varied and have different investment costs. A bigger picture must be considered in order to find the optimal solution, including existing infrastructure (natural gas, district heating, electricity), available space and return on investment. Each building renovation project must therefore be approached as an individual case.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. D.Zhao, A.P McCoy, J.DU, P.Agee, Y.Luu „Interaction effects of building technology and resident behaviour on energy consumption in residential building”
(1.01.2017)
2. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv 2012/27/EL, 25.10.2012. [Online]
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>
3. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded, RT I, 22.08.2019,2, määrus nr 63. [Online]
(vastu võetud 11.12.2018)
<https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019002>
4. Kaugkütteseadus, RT I, 03.03.2017,12. [Online]
(vastu võetud 11.02.2003)
<https://www.riigiteataja.ee/akt/103032017012>
5. Z. Wang, F. Wang, G. Li, M. Song, K. Li, „Experimental investigation on thermal characteristics of transcritical CO₂ heat pump unit combined with thermal energy storage for residential heating” Applied Thermal Engineering 165
(20.01.2020)
6. C. S. Blázquez, D. Borge-Diez, I. M. Nieto, A. F. Martín, D. González-Aguilera „Technical optimization of the energy supply in geothermal heat pumps” Geothermics 81, pages 133-142
(09.2019)
7. T. Mall Kull, R. Simson, M. Thalfeldt, J. Kurnitski „Influence of time constants on low energy buildings’ heating control” Energy Procedia 132, pages 75-80
(10.2017)
8. K.V.Võsa, A.Ferrantelli, J.Kurnitski „A combined analytical model for increasing the accuracy of heat predictions on rooms heated by radiators” Journal of Building Engineering 23, pages 291-300
(05.2019)
9. E. Pikas, M. Thalfeldt, J. Kurnitski, R. Liias „Extra cost analyses of two apartment buildings for achieving nearly zero and low energy buildings” Energy 84, pages 623-633
(01.05.2015)
10. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded, RT I, 19.01.2018,6, määrus nr 55. [Online]
<https://www.riigiteataja.ee/akt/119012018006>

- (vastu võetud 02.06.2015)
11. Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele, RT I, 22.08.2019,a, määrus 36. *[Online]*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019004>
(vastu võetud 30.03.2015)
 12. E.Latõšov, J. Kurtnitski, M.Thalfieldt, A.Volkova „Primary energy factors for different district heating networks: An Estonian example” Energy Procedia 96, pages 674-684
(09.2016)
 13. TTÜ Soojustehnika instituut, TTÜ Ehitiste projekteerimise instituut “Kaugkütte kaalumistegurid”
(Tallinn 2016)
 14. Abimaterjal. Liginullenergia Eluhooned.Väikemajad *[Online]*
https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia_eluhooned_Vaikemaja_juhend.pdf
(12.2017)
 15. Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika, RT I, 19.01.2018, 7, määrus 58 *[Online]*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/118012019012>
(vastu võetud 05.06.2015)
 16. Hoone Energiaauditi aruanne. 5 korruseline 60-korteriga hoone, Sõpruse pst 244.
(22.03.2010)
 17. T. Tark, T. Kalamees „Juhend korterelamute projekteerijatele, ehitajatele ja tellijatele. Madalenergia- ja liginullenergiahoonete kavandamine. ” *[Online]*
<https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Madalenergia-%20ja%20liginullenergiahoone%20kavandamine.%20Juhend%20korterelamute%20projekteerijatele,%20ehitajatele%20ja%20tellijale.pdf>
(Tallinn 2012)
 18. T. Kalamees, Õppematerjal. Ehitusfüüsika *[Online]*
https://www.ttu.ee/public/p/projektid/BuildEst/Ehitusfuusika__I_osa_T_Kalamees.pdf
 19. Artikkel. Modernne kauhküte onkeskkonnasäästlik ja taskukohane
(14.11.2018)
 20. Eesti energiakontserni Utilitase koduleht *[Online]*
<https://www.utilitas.ee/>
 21. Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika, RT I, 22.08.2019, 5, määrus 58

[Online]

<https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019005>

(vastu võetud 05.06.2015)

22. A.Adam, E.S. Fraga, D.J.L Brett „A modelling study for the integration of micro-CHP in domestic building services design” Applied Energy 225, pages 85-97 (1.09.2018)
23. Y.Jung, J.Kim, H.Lee „Multi-criteria evaluation of medium-sized residential building with micro-CHP system in South Korea” Energy and Buildings 193, pages 201-215 (15.06.2019)
24. A.Arsalis „A comprehensive review of fuel cell-based micro-combined-heat-and-power systems” Renewable and Sustainable Energy Reviews 105, pages 391-414 (05.2019)
25. S.Martinez, G. Michaux, P. Salagnac, J.L. Bouvier „Micro-combined heat and power system (micro-CHP) based renewable energy sources” (15.12.2017)
26. COGEN Europe koduleht. The benefits of micro-CHP. A summary of the fundamentals and benefits of micro-CHP for Europe [Online]
http://www.cogeneurope.eu/medialibrary/2015/05/19/d6648069/micro-CHP%20study_merged.pdf
(19.05.2015)
27. G.R.Simader, R.Krawinkler. G. Trnka „Micro CHP systems: state of the art” (2006)
28. U.Desideri, G.Cinti, G.Dincepoli, E. Sisani, D. Penchini „Sofc Micro-CHP integration in residential buildings” (06.2012)
29. M.Bianchi, A.D. Pacale, P.R. Spina „Guidelines for residential micro-CHP systems design” Applied Energy 97, pages 673-685 (09.2012)
30. T.Lie, D.Tang, Z. Li, J.Du, T. Zhou, Y, Jia „Development and test of Stirling engine driven by waste gases for micro-CHP system” Applied Thermal Engineering 33-34, pages 119-123 (02.2012)
31. A.Adam, E.S. Fraga, D,J,K Brett „Options for residential buildings services design using fuel cell based micro-CHP and potential for heat integration” Applied Energy 138, pages 685-694

- (15.01.2015)
32. S. Murugan, B. Horak „A review of micro combined heat and power systems for residential applications“ Renewable and Sustainable Energy Reviews 64, pages 144-162
(10.2016)
33. EC Power A/S XRGBI 15 mudeli kataloog [Online]
[Ehttps://www.ecpower.eu/files/ecpower/EN/Downloads_EN/EC_POWER_EN_brochure.pdf](https://www.ecpower.eu/files/ecpower/EN/Downloads_EN/EC_POWER_EN_brochure.pdf)
34. Senertec Dachs 5.5 mudeli kataloog [Online]
<http://glenergy.ie/our-products/senertec-dachs-chp/>
35. Yanmar CP25WE mudeli kataloog [Online]
<https://www.yanmarenergysystems.eu/Products/Micro-Cogeneration/CP25WE-33/>
36. Danish Gas Technology Centre „Mini ja Micro Cogeneration“ [Online]
http://www.dgc.eu/sites/default/files/filarkiv/documents/C1102_mini_micro_cogen.pdf
37. D.M. Wall, S. MCDonagh, J.D. Murphy „Cascading biomethane energy systems for sustainable green gas production in a circular economy“ Bioresource Technology 143, pages 1207-1215
(11.2017)
38. T. Zhu, J. Curtis, M. Clancy „Promoting agricultural biogas and biomethane production: Lessons from cross-country studies“ Renewable and Sustainable Energy Reviews 114
(10.2019)
39. Eleringi koduleht. Biogaas ja Biometaan [Online]
<https://elering.ee/book/export/html/1115>

LISAD

Lisa 1 Energiaarvutus. ETA2018 meetodika

	ETA2018 Kaugküte				ETA2018 Maagaas			
Summaarne energiakasutus	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/am ²	Soojus kWh/am ²	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/am ²	Soojus kWh/am ²
Ruumide küte		62274		21,9		65551		23,1
Ventilatsiooniõhu soojendamine		38263		13,5		40277		14,2
Tarbevee soojendamine		85284		30,0		85284		30,0
Abiseadmed	1421		0,50		1421,		0,50	
Ventilaatorid	16187		5,7		16187		5,7	
Valgustus	19922		7,0		19922		7,0	
Seadmed	64036		22,5		64036		22,5	
Tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	101567	185821	35,7	65,4	101567	195601	35,7	68,8
	kWh/a		kWh/am ²		kWh/a		kWh/am ²	
Summaarne tarnitud energia	287388		101,09		297168		104,53	
	kWh/(a m ²)				kWh/(a m ²)			
Energiatõhususarv	130				140			

Lisa 2 Energiaarvutus. ETA2019 meetodika

	ETA2019 Tõhus kaugküte				ETA2019 Maagaas			
Summaarne energiakasutus	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a
Ruumide küte		69193		69193		69193		69193
Ventilatsiooniõhu soojendamine		42513		42513		42513		42513
Tarbevee soojendamine		85284		85284		85284		85284
Abiseadmed	1421		1421		1421		1421	
Ventilaatorid	16187		16187		16187		16187	
Valgustus	19922		19922		19922		19922	
Seadmed	64036		64036		64036		64036	
Tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	101567	206467	101567	206467	101567	206467	101567	206467
	kWh/a		kWh/am ²		kWh/a		kWh/am ²	
Summaarne tarnitud energia	308033		108,36		308033		108,36	
	kWh/(a m ²)				kWh/(a m ²)			
Energiatõhususarv	119				140			

Lisa 3 SEJ süsteemide hoonesse integreerimine

									ETA2019 metoodika		ETA2018 metoodika	
	Hoone soojus vajadus	SEJ toodud soojus	muude allikatega toodud soojus	Kaalutud soojusena energia kasutus	Hoone elektri vajadus	SEJ toodud elekter	SEJ eksportitud elekter	võrgust tarnitud elektriline energia	Kaalutud energia kasutus	Uus Energiatõhusus	Kaalutud elektriline energia kasutus	Vana Energiatõhusus
	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)
EC Power A/S, XRG1 15		55,6	9,5	99,5		33,7	2,6	12,5	25,1	125	19,8	119
Senertec Dachs 5.5		37,8	27,3	82,1		14,2	0,0	8,9	44,4	127	44,4	127
Yanmar CP25WE	65,1	60,5	4,6	120,8	36,4	27,5	11,6	9,2	17,7	139	-5,5	115
Buderus Loganova EN50		65,1	0,0	120,5		27,2	13,8	0,0	18,4	139	-9,2	111
Viessman n Vitobloc 200		59,1	6,0	98,8		24,4	5,2	12,0	23,9	123	13,6	112

Lisa 4 Hoone energiatõhusus sõltuvalt küttesüsteemist kõetava pinna kohta

	Hoone soojusvajadus	SEJ toodud soojusenergia	muude allikatega toodud soojusenergia	Kaalutud soojusenergia kasutus	Hoone elektrivajadus	SEJ toodud elekter	SEJ eksporditud elekter	võrgust tarnitud elektrenergia	Kaalutud elektrenergia kasutus	Energiaõhususarv,
	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)
SEJ süsteemiga	65,1	49,8	15,7	95,7	36	24	0,2	12,3	24,6	120
Hoone gaasikatlaga			68,8	68,8					36,4	72,7

Lisa 5 Hoone energiatõhusus sõltuvalt küttesüsteemist

	Hoone soojusvajadus	SEJ toodud soojusenergia	muude allikatega toodud soojusenergia	Kaalutud soojusenergia kasutus	Hoone elektrivajadus	SEJ toodud elekter	SEJ eksporditud elekter	võrgust tarnitud elektrienergia	Kaalutud elektrienergia kasutus	Energia-tõhusus-arv,
	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/(m ² ·a)
SEJ süsteemiga	185022	143242	45339	275502	103389	67921	587	35468	70936	120
Hoone gaasikatlaga			195601	195601					103389	206778