

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINNA KOLLEDŽ

Kinnisvara korrashoid

Sten Uritam

**ENERGIAMÄRGISE ARVUTAMINE NING VÕIMALUSED
ENERGIATÕHUSUSE TÕSTMISEKS ONNI-NIIDU
VÄIKEELAMU NÄITEL**

Lõputöö

Juhendaja: Martin Kõiv

Tallinn 2016

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1. HOONETE ENERGIATÕHUSUS	5
1.1. Energiatõhususe miinimumnõuded	5
1.2. Madalenergiahoone	8
2. HOONE ENERGIATÕHUSUSE ARVUTAMINE	10
2.1. Onni-Niidu väikeelamu ülevaade	10
2.2. Energiatõhususe arvutuse lähteandmed	11
2.3. Hoone soojuserikaod	12
2.4. Hoone vabasoojuskooormus	22
2.5. Tasakaalutemperatuur	25
2.6. Kütte netoenergiavajadus	26
2.7. Küttesüsteemi arvutus	27
2.8. Energiatõhususarvu leidmine	29
3. ENERGIATÕHUSUSE TÕSTMISE LAHENDUSED	31
3.1. Soojustagastusega ventilatsioon	32
3.2. Päikesepaneelide paigaldamine	34
3.3. Energiatõhususarv koos lahendustega	36
KOKKUVÕTE	39
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU	40
LISAD	42
Lisa 1. Onni-Niidu põhikorruse plaan	43
Lisa 2. Onni-Niidu väikeelamu lõiked 1-1 ja A-A	44
Lisa 3. Maasoojuspumba NIBE F1255-16 tehnilised andmed	45
Lisa 4. Dantherm HCV 3 tehnilised andmed	47
Lisa 5. Päikesepaneeli Panasonic HIT N330 tehnilised andmed	48
SUMMARY	49

SISSEJUHATUS

Hoonete ekspluatatsiooni kulud on ehituskulude järgselt teisel kohal ning parima energiasäästu saavutamiseks peab ehitise energiatõhususele tähelepanu pöörama juba planeerimise etapis. Tänapäeval reguleerib Eestis hoonete energiatõhusust majandus- ja kommunikatsiooni ministri poolt välja antud määrus „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded”. Määrusega kehtestatakse energiatõhususe nõuded uutele ehitatavatele ning oluliselt rekonstrueeritavatele hoonetele.

Käesolev lõputöö keskendub Onni-Niidu väikeelamu energiatõhususele ning selle parendamisele. Vajalikud muudatused või ettepanekud, mis vähendaksid hoonesse tarnitavat energiat, tuleb arvesse võtta juba hoone planeerimise ajal, sellest tulenevalt valiti lõputöö eesmärgi täitmiseks projekti staadiumis olev Onni-Niidu väikeelamu.

Töö eesmärgiks on välja arvutada Onni-Niidu väikeelamu energiamärgis ja esitada võimalused energiatõhususe tõstmiseks, millega saavutatakse liginullenergiahoone energiaklass.

Väikeelamute energiasäästu võimalused on peamiselt seotud lokaalse taastuvenergia tootmise või hoone soojuskadude vähendamisega. Viimane on lihtsam, kui lokaalse taastuvenergia süsteemide ehitamine kinnistule, kuid ei pruugi anda nii suurt väljundit. Parima lahenduse leidmiseks tuleb leida uuritava objekti energiakasutus ning parendamist vajavad aspektid.

Lõputöö ülesandeks on välja arvutada hoone energiatõhususarv (ETA), lähtudes „Hoone energiatõhususe miinimumnõuetest” ja „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodikast”, analüüsida arvutuste käigus tekkinud vahetulemusi ning teha järeldusi. Uuringu tulemustest ning teooriast lähtuvalt tuua välja võimalused hoone energiatõhususe tõstmiseks, millega saavutataks liginullenergiahoone klass.

Lõputöö jaguneb kolmeks osaks, millest esimeses selgitatakse energiatõhususega seotud seadusandlust ning nõudeid ja tutvustatakse madalenergiahooneid. Töö teises osas antakse ülevaade Onni-Niidu üldandmetest, hoone konstruktsioonidest ja kasutatavatest materjalidest, käsitletakse kõiki etappe ning arvutusi, mis on vajalikud energiamärgise arvutamiseks. Lõputöö

kolmandas peatükis on välja toodud energiatõhususe tõstmise lahendused, muudatustest tingitud arvutuse tulemused ning analüüs.

1. HOONETE ENERGIATÕHUSUS

1.1. Energiatõhususe miinimumnõuded

Ehitatav uus või oluliselt rekonstrueeritav olemasolev hoone peab ehitamise või rekonstrueerimise järel vastama energiatõhususe miinimumnõuetele. [1, §65]

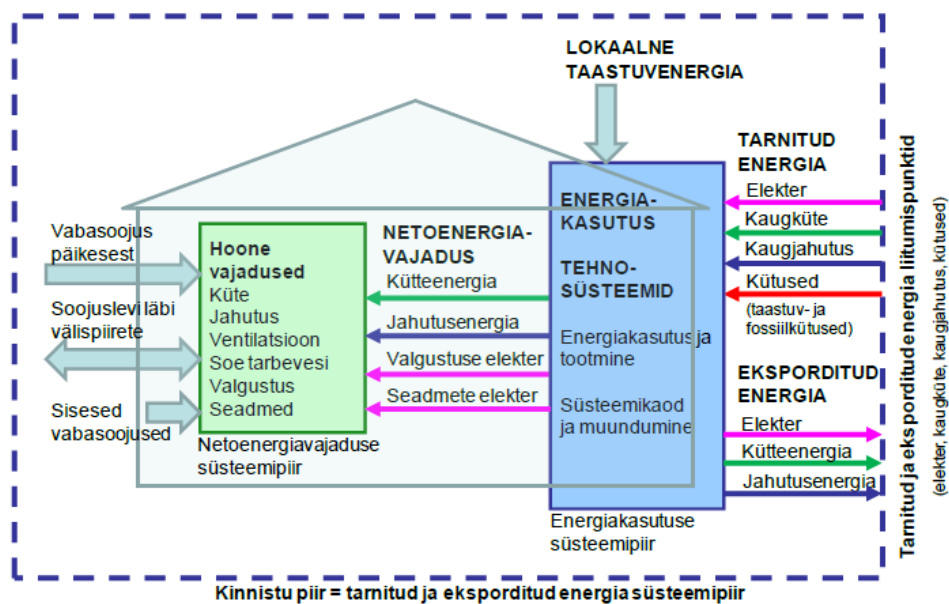
Hetkel Eestis kehtivad hoone energiatõhususe miinimumnõuded on vastu võetud 03.06.2015 Majandus- ja taristuministri poolt. [2]

Määrus kehtestab miinimumnõuded hoone, sealhulgas madalenergiahoone ja liginullenergiahoone, energiatõhususele. Nõuded esitatakse kasutamise otstarbe järgi elamutele ja mitteamutele. Hoone maksimaalseks lubatavaks energiatõhususarvuks on köetava pinna alusel arvatud hoone osade kasutamise otstarvete kaalutud keskmine energiatõhususarv. Energiatõhususe nõuded kehtestatakse hoonete tervikuna ning hoone koosseisu arvatakse energiatõhususarvu arvutamisel lisaks piiretele ja tehnosüsteemidele hoonesse või kinnistule paigaldatud hoonet teenindava lokaalse energiatootmise süsteemid (näiteks päikesekollektorid ja -paneelid, tuuleturbiin, koostootmisjaam). [2]

Energiatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks ning see arvutatakse hoone köetava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel (vt Joonis 1). [2]

Madalenergiahoone energiatõhususarv väikeelamu puhul on väiksem või võrdne 120 kWh/(a·m²). Liginullenergiahoone energiatõhususarv väikeelamu puhul on väiksem või võrdne 50 kWh/(a·m²). Netonullenergiahoone on hoone, mille energiatõhususarv on 0 kWh/(a·m²), kuid see juures võib hoonesse tarnida energiat, kui see kompenseeritakse eksporditud energiaga. [2]

Joonis 1. Tarnitud ja eksporditud energia süsteemi piir



Allikas: Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika Lisa 1 [3]

Hoone vastavust energiatõhususe nõuetele hinnatakse hoone projekteerimisel ehitusprojekti alusel. Ehitatava hoone energiatõhusus arv ei tohi hoonete puhul ületada allpool välja toodud väärtust (vt Tabel 1).

Tabel 1. Ehitatava hoonete energiatõhususarvu piirväärtus.

Hoone	kWh/(m ² ·a)
1) väikeelamu köetava pinnaga kuni 100 m ²	184
2) väikeelamu köetava pinnaga üle 100 m ²	160
3) korterelamu	150
4) büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	160
5) ärihoone	210
6) avalik hoone	200
7) kaubandushoone ja terminal	230
8) haridushoone	160
9) koolieelne lasteasutus	190
10) tervishoiuhoone	380

Allikas: Hoone energiatõhususe miinimumnõuded.[2, §3]

Hoone välispiire peab olema pikaajaliselt õhkupidav ja piisavalt soojustatud. Hoone välispiirde keskmine õhulekkearv ei tohi ületada üht kuupmeetrit tunnis välispiirde ruutmeetri kohta [m³/(h·m²)]. Otstarbeka soojustuse määramisel lähtutakse hoone energiatõhususe nõuetest, ruumi soojuslikust mugavusest ja hallituse ning kondensaadi vältimisest joon- ja punktsoojuslähivatel

kohtadel, sisepindadel ja tarindites. Soojustuse valikul tuleb lähtuda sellest, et hoone oleks hea energiatõhususe tasemega. Elamute välispiirde valikul võib esialgselt lähtuda järgmistest väärtustest: [2]

- välisseina soojusläbivus – 0,12–0,22 W/(m²·K);
- katuse ja põranda soojusläbivus – 0,1–0,15 W/(m²·K);
- akna ja ukse soojusläbivus – 0,6–1,1 W/(m²·K), kusjuures lõplikud valikud tuleb teha, lähtudes hoone kompaktsusest ning kütte- ja ventilatsioonilahendusest.

Suvised ruumitemperatuuri nõue loetakse täidetuks, kui ruumitemperatuur ei ületa väikeelamus piirtemperatuuri 27°C rohkem kui 150 kraadtunni (°Ch) ainult ajavahemikul 1. juunist 31. augustini. Elamu suvised ruumitemperatuuri nõuetekohasust võib tõendada tüüpruumi simulatsioonarvutusega või kasutades selleks otstarbeks välja töötatud lihtsustatud abimaterjali. Väikeelamu suvised ruumitemperatuuri ei pea tõendama järgnevate tingimuste samaaegsel esinemisel: [2]

- 1) lääne- ja lõunapoolse välisseina üle ühe ruutmeetri suurusel aknapinnal kasutatakse päikesekaitseklaasi päikesefaktoriga $g \leq 0,4$ või muud sarnase mõjuga lahendust;
- 2) elu- ja magamistoal lääne- ja lõunapoolse akna klaasiosa pind ei ole suurem kui 30% ruumi lääne- ja lõunapoolse välisseina pinnast;
- 3) elu- ja magamistoas on avatava akna pind vähemalt 5% ruumi põrandapinnast.

Energiatõhususarvu klass määratakse kindlaks hoone energiatõhususarvu ja hoone kasutamise otstarbe alusel vastavalt Tabel 2 toodud energiatõhususarvu klassi skaalale.

Tabel 2. Väikeelamu energiatõhususarvu (ETA) või kaalutud energiakasutuse (KEK) klassi skaala

ETA või KEK, kWh/(m ² ·a)	Klass
ET või KEK ≤ 50	A
51 ≤ ET või KEK ≤ 120	B
121 ≤ ET või KEK ≤ 160	C
161 ≤ ET või KEK ≤ 210	D
211 ≤ ET või KEK ≤ 260	E
261 ≤ ET või KEK ≤ 330	F
331 ≤ ET või KEK ≤ 400	G
ET või KEK ≥ 401	H

Allikas: Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele. Lisa 3[4]

Energiämärgise koostamise idee pärineb Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiividest ning on

Eestis kasutusel alates 1. jaanuar 2009. Tegemist on dokumendiga, mis väljastatakse projekteeritavale või olemasolevale sisekliima tagamisega hoonele ja mille eesmärk on anda teada, milline on selle hoone projekteeritud või tegelik energiatarbimine. [5, lk 76]

Energiamärgis põhineb energiaarvutusel, mõõdetud või hinnatud energiakasutuse andmetel või väikeelamu puhul energiatõhususe miinimumnõuete määruuses sätestatud energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamise lihtsustatud meetodil. [6, §3]

Energiaarvutusega määratakse hoone summaarne energiakasutus hoone sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ja elektriseadmete kasutamiseks. Summaarse energiakasutuse alusel määratakse tarnitud ja eksporditud energiakasutused ning hoone energiatõhususarv. [2, §15]

1.2. Madalenergiahoone

Madalenergiahoone energiatõhususarv ei ületa väikeelamute puhul 120 kWh/(m².a) ning on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhususe- ja taastuvenergiatehnoloogia lahendusega ehitatud hoone, mille puhul ei eeldata lokaalset elektri tootmist taastuvast energiaallikast.[2]

Hoone kavandamisel tuleb silmaspidada, et soojuskaod oleksid võimalikult väiksed, tehnosüsteemid energiatõhusad ning vabasoojust kasutatakse otstarbekalt. Eelnevast sõltub hoone energia kasutuse maht. Lisaks sõltub energiatõhususarv hoonesse tarnitavate energiakandjate kaalumisteguritest, mis arvestavad keskkonnamõjusid ja tarnitava energiakandja tootmiseks vajalikku primaarenergiat. [7, lk 5]

Energiakandjate kaalumistegurid on järgmised: [2, §9]

- 1) taastuvtoormel põhinev kütus (puit ja puidupõhine kütus ning muu biokütus, välja arvatud turvas ja turbabrikett) – 0,75;
- 2) kaugküte – 0,9;
- 3) vedelkütus (kütteõli ja vedelgaas) – 1,0;
- 4) maagaas – 1,0;
- 5) tahke fossiilkütus (kivisüsi ja muu selline kütus) – 1,0;
- 6) turvas ja turbabrikett – 1,0;
- 7) elekter – 2,0.

Madalenergiahoonete puhul on põhitähelepanu pööratud hoone kui terviku energiatarbe minimeerimisele. Kogu hoone madala energiatarbe saavutamiseks kasutatakse võimalikult palju tehnilisi lahendusi – soojustagastusega ventilatsioon, kõrge kasuteguriga soojuspumpade kasutamine kütteks ja sooja tarbevee valmistamiseks, kõrge kasuteguriga valgustite ja elektriliste kodumasinate kasutamine ning päikesepaneelide kasutamine vee soojendamiseks ja elektri tootmiseks. [8]

Sisekliima tagamisega hooned, mille ehtusluba või ehitisteatis väljastatakse ning hoone püstitatakse pärast 31.12.2020 peavad vastama liginullenergiahoonele kehtestatud nõuetele.[2, §19]

Liginullenergiahoone puhul ei tohi energiatõhususarv ületada 50 kWh/(m²·a). Saavutamaks liginullenergiahoone energiatõhususarvu on vaja toota energiat krundil või lähiümbruses taastuvatest allikatest, kasutades ka krundiväliselt energiat – elekter, gaas, kaugküte. Liginullenergiahoone primaarenergiabilanssi, mis väljendub energiatõhususarvus, käsitletakse aasta arvestuses. Talve perioodil võib hoonesse tarnitud energia ületada lokaalselt taastuvaenergia kogust, kuid suvel vastupidi – energiavõrku tarnitakse tagasi tarbitust rohkem energiat. See juures võib olla aasta arvestuses kaalumisteguritega läbikorrutatud tarnitud energia kohapeal toodetust suurem. Lokaalselt taastuvatest energiaallikatest kasutatakse energia tootmiseks väikeelamutes põhiliselt: [7, lk 5]

- päikesekollektoreid, mis toodavad soojust,
- päikesepaneelid, mis toodavad elektrit,
- tuulegeneraatoreid.

2. HOONE ENERGIATÕHUSUSE ARVUTAMINE

2.1. Onni-Niidu väikeelamu ülevaade

Onni-Niidu väikeelamu on ehitusprojekti järgus ühekorruseline 139,0m² ehitisaluse pinnaga hoone, mis on projekteeritud Onni 1 Niidu kinnistule, Liikva külas, Harjumaal katastritunnusega 19801:001:2410. Täpsemad hoone üldandmed on välja toodud all olevas tabelis (vtTabel 3)

Tabel 3.Hoone üldandmed

Otsarve:	Üksikelamu
Gabariitmõõtmed	pikkus 12,8 m
	laius 11,4 m
	kõrgus 5,7m
Hoonealune pindala	139,0 m ²
Korruselisus	1
Suletud netopindala	103,9 m ²
Suletud brutopindala	129,8 m ²
Kasulik pindala	103,9 m ²
Kõetav pindala	103,9 m ²
Hoone maht	439,4 m ³

Allikas: Autori koostatud

Elamu ruumilahendusel on arvestatud 3 magamistuba, köök-elutuba, 2 vannituba, esik ning panipaik/tehniline ruum.

Hoonele on projekteeritud madal plaatvundament, mis on soojustatud 150mm vahtpolüstüreen plaatidega. Põranda konstruktsioon on projekteeritud tihendatud liivaalusele kogupaksusega 530mm, millest 250mm on põrandate soojustamiseks mõeldud vahtpolüstüreen. Siseviimistlusel kasutatakse põrandate katmiseks peamiselt parketti või keraamilist plaati vastavalt ruumi funktsioonile.

Kandvateks konstruktsioonideks on AEROC EcoTerm Plus 375 poorbetoonist ehitusplokid, millele on lisatud parema soojusisolatsiooni saavutamiseks ISOVER RKL-31 tuuletõkkeplaat. Seinad on väljast viimistletud laudisega.

Hoone horisontaalseteks kandvateks konstruktsioonideks on soojustatud puitlagi. Sarikate vahele on planeeritud 300mm paksune mineraalvillast soojustuskiht, mida on täiendatud joonkülmasildade vähendamiseks 50mm paksuste roovide ning mineraalvillaga. Vahelage katab kahekordne kipsplaat, mis pahteldatakse ning värvitakse.

Onni-Niidu väikeelamu põhikorruse plaan ning hoone lõiked on toodud välja Lisa 1 ja Lisa 2.

2.2. Energiatõhususe arvutuse lähteandmed

Hoone energiatarbimise nõuetele vastavuse kontrolliks sooritatakse energiaarvutus hoone tüüpilisel kasutamisel (vt tabel 4), hoone energiatarbimise arvutamise meetodika määruis toodud välis- ja sisekliima, hoone ja tehnosüsteemi kasutus- ja käiduaegade, vabasoojuse ning hoone välispiirde õhulekke lähteandmetega. Muud arvutuseks vajalikud lähteandmed võetakse hoone ehitusprojektist. Energiaarvutuses ei eeldata hoone detailset tsoonideks jagamist - väikeelamut ja ühe kasutusotstarbega hoonet võib arvutamisel käsitleda ühe tsoonina. Suurem hoone jagatakse vastavalt kasutusotstarbele ja kasutusajale vajalikuks arvuks tsoonideks.[9]

Tabel 4. Hoone tüüpiline kasutus ja sellele vastav suurim vabasoojus k etava pinna ruutmeetri kohta

Hoone kasutusotstarve	Kasutusaeg			Kasutusaste	Valgustus W/m ²	Seade W/m ²	Inimene W/m ²	Inimene m ² /inim.
	Kellaeg	h/24h	d/7d					
Väikeelamu	00:00–00:00	24	7	0,6	8 ^c	2,4 ^d	2	42,5

Allikas: Hoone energiatarbimise arvutamise meetodika [9]

Märkused:

c – elamu valgustuse kasutusaste on 0,1

d – elamu seadme elektritarbimise saamiseks jagada soojuseraldus läbi teguriga 0,7

Energiaarvutus ja suvise ruumitemperatuuri kontroll sooritatakse sõltumata hoone asukohast Eesti energiaarvutuse baasaastaga, mis iseloomustab kolme dekaadi (1970-2000) t uypilist v aliskliimat. [9, §4]

Väikeelamu suvist ruumitemperatuuri ei pea tõendama järgnevate tingimuste samaaegsel esinemisel: [2, §11]

- 1) lääne- ja lõunapoolse välisseina üle ühe ruutmeetri suurusel aknapinnal kasutatakse päikesekaitseklaasi päikesefaktoriga $g \leq 0,4$ või muud sarnase mõjuga lahendust;
- 2) elu- ja magamistoas lääne- ja lõunapoolse akna klaasiosa pind ei ole suurem kui 30% ruumi lääne- ja lõunapoolse välisseina pinnast;
- 3) elu- ja magamistoas on avatava akna pind vähemalt 5% ruumi põrandapinnast.

Lihtsustatud, konstantse ruumitemperatuuriga arvutuse puhul kasutatakse ruumitemperatuuri seadeid ruumitemperatuurina (näiteks elamutes 21 °C kütmisel ja 27 °C jahutamisel).[6, §5]

2.3. Hoone soojuserikaod

Hoone soojuskaod iseloomustavad piirdetarinditest väljuvat soojusenergia hulka ning infiltratsioonist ja ventilatsiooniga seotud välisõhu soojendamiseks vajavat energiat. Soojuskadude suurus sõltub mitmetest erinevatest teguritest – köetava pinna suurusel, hoone mõõtmetest, arhitektuurist, ehitusmaterjalide soojustehnilistest näitajatest, geograafilisest asukohast ning heitsoojuse taaskasutuse määrast. [5, lk 40]

Hoone soojuserikadude leidmiseks tuleb arvutada soojuskaod läbi konstruktsioonide, külmasildade ning ventilatsiooni ja infiltratsiooni soojuskaod ning need omavahel liita.

Kogu hoone erisoojuskaod on leitav valemiga 1 [5, lk 55]

$$H_{kogu} = H_t + H_{ks} + H_{vent,inf} \quad (1)$$

kus,

$\sum H$ – hoone soojuserikadu kokku, W/K,

H_t – soojuserikadu läbi välispiirdetarindite, W/K,

H_{ks} – soojuserikadu läbi külmasildade, W/K,

$H_{vent,inf}$ – ventilatsiooni ja infiltratsiooni soojuserikadu, W/K.

Soojuserikadude leidmiseks läbi piirdetarindite tuleb leida piirete pindalad ning soojustakistused. Piirdetarindite soojustakistus oleneb õhu ning ümbritsevate pindade temperatuurist, õhu liikumise kiirusest, pinna omadusest ning tarindi paiknemisest ruumis. [5, lk 30]

Tarindite ehk välispiirete soojuserikao arvutamiseks kasutakse valemit 2: [5, lk 40]

$$H_t = A \cdot U \cdot e \quad (2)$$

kus,

A – tarindi pindala, m^2 ,

U – tarindi soojusjuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$.

e – parandustegur, mis arvestab erinevat soojustust, niiskuse neeldumist piirdeelementidesse, välisõhu temperatuuri ja tuule kiirust – suurus, millega ei ole arvestatud U -arvu määramisel. Vaikimisi võetud väärtuseks on 1.

Piirde soojusjuhtivus, U , $W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga 3, ümardatuna kahe kohani pärast koma: [10, lk 20]

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

kus,

U – piirde soojusjuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$,

R_T – piirde kogusoojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$.

Soojuslikult homogeensetest kihtidest piirdetarindi kogusoojustakistus arvutatakse valemiga 4: [10, lk 21]

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (4)$$

kus,

R_T – homogeensetest kihtidest piirdetarindi kogusoojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$,

R_{si} – piirde sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$ (vt. Tabel 5),

R_1, R_2 – iga materjalikihi arvutuslik soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$,

R_{se} – piirde välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$ (vt. Tabel 5).

Soojuslikult homogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus arvutatakse valemiga 5: [10, lk 21]

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (5)$$

kus,

R – materjalikihi arvutuslik soojustakistus, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$,

d – materjalikihi paksus, m.

Mittehomogeenseks tarindiks nimetatakse piirdeid, mis koosnevad mitmest erinevast materjalist ning millede kihtide vahel on sidemed, mis neid hoiavad – puitsõrestik-seina soojustuse kihis kandepostid, tellismüüritise vahel sidekiviread. Soojuslikult mittehomogeensete kihtide soojustakistuse leidmiseks kasutatakse valemit 6: [10, lk 23]

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (6)$$

kus,

R'_T – mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$,

R''_T – mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$.

Kogusoojustakistuse ülemise ja alumise piirväärtuse arvutamiseks tuleb piirdetarind tükeldada soojuslikult homogeenseteks sektsioonideks ja kihtideks. Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus arvutatakse piirdetarindi pinnaga risti olevate sektsioonide soojusjuhtivuste summa abil vastavalt valemile 7: [10, lk 24]

$$R'_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}} \quad (7)$$

kus,

A_a, \dots, A_n – piirde üksikute sektsioonide osapindalad (osakaalud),

R_{Ta}, \dots, R_{Tn} – piirde üksikute sektsioonide soojustakistused, $(m^2 \cdot K)/W$, mis arvutatakse vastavalt valemile 4.

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus arvutatakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühemõõtmeliste soojusvoogude summana vastavalt valemile 8: [10, lk 24]

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (8)$$

kus,

R_T'' – kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, $(m^2 \cdot K)/W$,

R_{si} – piirde sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$ (vt. Tabel 5),

R_1, R_2 – iga kihi arvutuslik soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$,

R_{se} – piirde välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$ (vt. Tabel 5).

Mittehomogeensete materjalikihtide soojustakistus R_x , $(m^2 \cdot K)/W$ arvutatakse vastavalt valemile 9: [10]

$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}} \quad (9)$$

kus,

A_{xa}, \dots, A_{xn} – mittehomogeense kihi üksikute osade osapindalad (osakaalud), m^2 ,

R_{xa}, \dots, R_{xn} – mittehomogeense kihi üksikute osade soojustakistused, $(m^2 \cdot K)/W$.

Tabel 5. Piirde pindade soojustakistused

	Soojusvoolu suund		
	Üles	Horisontaalne	Alla
$R_{si} (m^2 \cdot K)/W$	0,1	0,13	0,17
$R_{se} (m^2 \cdot K)/W$	0,04	0,04	0,04

Allikas: EVS 908-1:2010 [10, lk 21]

Välispiirete nurkade ja liitekohtade, nagu välissein-välissein, põrand-välissein, katuslagi-välissein, akna seinakinnitus, lisasoojuskaod võetakse eraldi arvesse geomeetriliste joonkülmasildade lisasoojusjuhtivusega. Soojuserikadu läbi joonkülmasildade arvutatakse vastavalt valemile 10: [10, lk 31]

$$H_{ks} = \sum \Psi_j \cdot l_j \quad (10)$$

kus,

Ψ_j – joonkülmasilla lisasoojusjuhtivus, W/(m·K),

l_j – joonkülmasilla pikkus.

Maapinnaga kontaktis oleva põranda soojuserikad sõltuvad mitmetest teguritest – põranda pindala, perimeeter, maapinna soojustehnilistest omadustest, kasutatud materjalidest. [5, lk 43]

Põrandas tekkiva soojusvoo kolmemõõtmelisusega arvestamiseks kasutatakse valemities põranda „tunnusmõõtmeid“ B' , mis on määratletud kui põranda pindala ja poole perimeetri väärtuse jagatisena. Põranda tunnusmõõde on arvutatav valemiga 11:[11, lk 11]

$$B' = \frac{A}{0,5P} \quad (11)$$

kus,

B' – põranda tunnusmõõde, m,

A – põranda pindala, m²,

P – põranda välisperimeeter, m.

Soojusjuhtivus sõltub põranda tunnusmõõdest ja võrdväarsuse kogupaksusest. Pinnasel asuva põranda ekvivalentne kogupaksus on leitav valemiga 12: [11, lk 13]

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_t + R_{se}) \quad (12)$$

kus,

d_t – põranda ekvivalentne paksus, m,

w – seinte kogupaksus koos seina kõikide kihtidega, m,

λ – pinnase soojuserijuhtivus, W/(m·K),

R_t – põrandaplaadi soojustakistus, kaasa arvatud kõik soojustuskihid plaadi all, peal ja vahel,

ning põrandakatte materjali soojustakistus,

R_{si}, R_{se} – piirde pindade soojustakistused (vt. Tabel 5).

Põranda soojuserijuhtivuse arvutamiseks kasutatav valem sõltub hoone põranda soojustusest. Kas põrand on hästi soojustatud ($d_t \geq B'$) või mõõdukalt soojustatud või soojustamata ($d_t \leq B'$) Onni-Niidu väikeelamu põrand on hästi soojustatud ning põranda soojusjuhtivuse arvutamiseks kasutatakse valemit 13: [11]

$$U = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t} \quad (13)$$

kus,

U – põranda soojuserijuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$,

λ – pinnase soojuserijuhtivus, $W/(m \cdot K)$,

B' – põranda tunnusmõõde, m,

d_t – põranda ekvivalentne paksus, m.

Lähtudes eeltoodud välispiirete soojuserikadude arvutamise valemitest on autor välja arvutanud soojuserikaod läbi piirdetarindite. Ülevaade soojuserijuhtivusest tarindi kaupa on välja toodud tabelis 6. Soojuserikadude arvutamisel on lähtutud Onni-Niidu põhiprojektis välja toodud akende ja uste U -arvudest, ehitusmaterjalidest ja pinna suurustest. Soojuserikaod läbi joonkülmasidade on välja toodud tabelis 7.

Joonkülmasildade soojuserikao arvutamisel kasutatud joonsoojuslähivuse väärtused välissein-välissein, põrand pinnasel-välissein on saadud AEROC JÄMERÄ AS kodulehelt [11], ülejäänud sõlmede puhul on lähtutud „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“ tarindi liitekohta soojuslähivus arvudest §12 [9 §12].

Tabel 6. Soojuserikaod läbi piirdetarindite.

Soojuserikaod läbi piirdetarindite			
Piirdetarind	U_i , W/(m ² ·K)	A_i , m ²	$H_{juhtivus}$ W/K
Välissein (põhi)	0,16	18,12	2,8
Välissein (lõuna)	0,16	17,21	2,7
Välissein (ida)	0,16	20,12	3,1
Välissein (lääs)	0,16	19,06	3,0
Katuslagi	0,11	103,90	10,9
Põrand pinnasel	0,12	103,90	12,5
Välisuks 1 (2tk)	1,00	4,20	4,2
Välisuks 2	1,00	2,10	2,1
Aken (põhja)	0,72	3,06	2,2
Aken (lõunasse)	0,72	3,97	2,9
Aken (itta)	0,72	11,50	8,3
Aken (läände)	0,72	10,46	7,5
H_t, W/K			62,2

Allikas: Autori arvutused.

Tabelis 6 välja toodud soojuserikaod läbi piirdetarindite on „Energiatõhususe miinimumnõuete“ järgi sobivad. Määruse §12 kohaselt peab soojustuse valikul lähtuma sellest, et hoone oleks hea energiatõhususe tasemega ning ehitatava väikeelamu välispiirde valikul võib esmase lähenemisena lähtuda järgmistest väärtustest: [2]

- välisseina soojusläbivus – 0,12–0,22 W/(m²·K);
- katuse ja põranda soojusläbivus – 0,1–0,15 W/(m²·K);
- akna ja ukse soojusläbivus – 0,6–1,1 W/(m²·K).

Tabel 7. Soojuserikaod läbi külmasildade

Soojuserikaod läbi külmasildade			
Külmasild	Ψ_j , W/(m·K)	l_j , m	$H_{\text{külmasild}}$ W/K
Välisseina välisnurk	0,05	13,2	0,7
Välisseina sisenurk	-0,10	10,8	-1,1
Katuslagi-välissein	0,10	45,1	4,5
Põrand pinnasel-välissein	0,22	45,1	9,9
Akna seinakinnitus	0,10	76,8	7,7
Ukse seinakinnitus	0,20	18,6	3,7
H_{ks}, W/K			25,4

Allikas: Autori arvutused.

Onni-Niidu väikeelamu on projekteeritud loomuliku ventilatsiooniga, mis tõttu soojustagastus ventilatsioonil puudub. Loomuliku ventilatsiooni korral tagatakse hoone õhuvahetus arhitektuursete ning konstruktiivsete lahendustega. Onni-Niidu väikeelamusse on projekteeritud ka kamin, mille korsten tekitab rõhkude erinevusel õhuliikumise. Loomuliku ventilatsiooni korral toimub ruumis soojendatud õhu ärastus ilma soojustagastuseta.

Loomuliku ventilatsiooni korral on sissepuhke õhul välisõhu soojuslikud parameetrid ning see tõttu on soojuskaod võrdelised sise-ja välisõhu arvutuslike temperatuuride vahega [5]. Ehitatava väikeelamu ventilatsiooni väliõhu vooluhulk peab olema minimaalselt 0,42 l/(s·m²) [13]

Kõetava ruumi ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutusliku soojuserikaoleidmiseks kasutatakse valemit 15: [5, lk 47]

$$H_{v,inf} = (L_i + q_i) \cdot 0,001 \cdot \rho \cdot c \quad (15)$$

kus,

$H_{v,inf}$ – ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutuslik soojuserikadu, W/K,

L_i – arvutuslik välisõhu vooluhulk kõetavas ruumis, l/s,

q_i – infiltratsiooni õhuhulk,

ρ – õhutihedus ruumi arvutuslikul temperatuuril, kg/m^3 ,

c – õhu masserisoojus ruumi arvutuslikul temperatuuril, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

$0,001$ – kordarv, mis teisendab ühikud m^3/s .

Ventilatsioonist tingitud soojuserikao leidmiseks tuleb leida kõigepealt soojendatav õhuhulk valemiga 14:

$$L = A_k \cdot n \quad (14)$$

kus,

L – arvutuslik õhuvooluhulk köetavas ruumis, l/s ,

A_k – köetava ruumi pindala, m^2 ,

n – õhuvahetuse kordarv $\text{l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$.

Infiltratsioon on hoonepiirete ebapiisavast õhupidavusest tingitud kontrollimatu ning planeerimatu õhuvool läbi tarindi, see on hoonete energiatõhususe määramisel oluline, sest mõjutab otseselt elamu kütte- ja jahutuskulusid. Hoonel, mille välispiirete õhuleke on suur, võib piirete õhulekkekohtade kaudu toimuv õhuvahetus olla samas suurusjärgus või suuremgi kui ventilatsiooniseadmete poolt vahetatava õhu hulgaga. [14]

Kui välispiirde õhuleket ei ole mõõdetud või muul viisil selle väärtust tõendatud, tehakse energiaarvutus Energiatõhususe miinimumnõuetes välja toodud õhulekke arvu baasväärtusega, mis ehitatava väikeelamu puhul on $6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Hoone infiltratsiooni arvutuslik soojuserikadu on leitav valemiga 16: [9]

$$q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot x} A \quad (16)$$

kus,

q_i – infiltratsiooni õhuhulk, l/s ,

q_{50} – hoone välispiirde keskmine õhulekkearv, $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$,

A – hoone välispiirde sisepindala, sealhulgas põranda pindala, m^2 ,

x – tegur, mis arvestab korruselisust. Ühekorruselisele hoonele 35,

3,6 – tegur, mis teisendab õhuvooluhulga m³/h ühikust l/s ühikuks.

Ventilatsioonist ning infiltratsioonist tingitud soojuserikaod on välja toodud allolevas tabelis.

Tabel 8. Soojuserikaod ventilatsioonist ja infiltratsioonist

Infiltratsiooniv õhuhulk			
Õhulekkearu baasväärtus	q50	6	m ³ /(h·m ²)
Korruselisuse tegur	x	35	-
Hoone välispiirde sisepindala	A	317,6	m ²
Infiltratsiooniv õhuhulk	qi	15,12	l/s
Ventilatsiooni õhuhulk			
õhuvahetuse kordarv	n	0,42	l/(s·m ²)
Kõetava pinna pindala	A _k	103,9	m ²
Arvutuslik välisõhu vooluhulk	L	43,63	l/s
Soojuserikaod ventilatsioonist ning infiltratsioonist			
Õhu tihedus	p	1,2	kg/m ³
Õhu erisoojus	c	1005	J/(kg·K)
H vent, inf		70,85	W/K

Allikas: Autori arvutused.

Autori arvutustele tuginedes saab välja arvutada Onni-Niidu väikeelamu hoone soojuserikaod vastavalt valemile 1, mis arvestab läbi piirdetarindite, külmasildade ning ventilatsioonist ja infiltratsioonist tingitud soojuserikadusi. Ülevaade soojuserikadude suurusest ning summaarumist on välja toodud tabelis 9.

Tabel 9. Hoone soojuserikaod

Liik	Suurus	Ühik
Soojuserikaod läbi piirdetarindite	62,2	W/K
Soojuserikaod läbi külmasildade	25,4	W/K
Soojuserikaod ventilatsioonist	52,6	W/K
Soojuserikaod infiltratsioonist	18,2	W/K
Kokku:	158,5	W/K

Allikas: Autori arvutused.

2.4. Hoone vabasoojuskoormus

Vabasoojus on soojus, mida eraldavad konvektiivselt ruumiõhku inimesed, seadmed ja valgustus vahetult ning ruumi seinad, põrand ja lagi kaudselt. Tarindilt ülekanduv soojus sisaldab päikesekiirgust ja inimestelt ning seadmetelt tulenevat soojuskiirgust. [15, lk 66]

Vabasoojuskoormusega kaetakse hoone soojuskaod tasakaalutemperatuurist kuni ruumi siseõhu temperatuurini. [5, lk 61]

Hoone vabasoojuskoormus on leitav seosega 17: [5, lk 62]

$$\Phi_{vs} = \Phi_{in} + \Phi_{el.v} + \Phi_{sead} + \Phi_p \quad (17)$$

kus,

Φ_{vs} – vabasoojuskoormus, kW,

Φ_{in} – inimeste keskmine vabasoojuskoormus, kW,

$\Phi_{el.v}$ – elektrivalgustuse keskmine vabasoojuskoormus, kW,

Φ_{sead} – seadmete keskmine vabasoojuskoormus, kW,

Φ_p – päikese kiirgusest tingitud keskmine vabasoojuskoormus, kW,

Inimeste, elektrivalgustuse ning seadmete vabasoojuskoormuse arvutamiseks on hoone energiatõhususe arvutamise meetodikas välja toodud hoone tüüpiline kasutus ja sellele vastav suurim vabasoojuskoormus köetava pinna ruutmeetri kohta:[9]

Tabel 10. Hoone tüüpiline kasutus ja sellele vastav suurim vabasoojus köetava pinna ruutmeetri kohta

Hoone kasutusotstarve	Kasutusaeg			Kasutusaste	Valgustus W/m ²	Seade W/m ²	Inimene W/m ²
	Kellaaeg	h/24h	d/7d				
Väikeelamu	00:00–00:00	24	7	0,6	8 ^c	2,4 ^d	2

Allikas Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika[9 §6]

Märkused:

c – elamu valgustuse kasutusaste on 0,1,

d – elamu seadme elektritarbimise saamiseks jagada soojuseraldus läbi teguriga 0,7.

Seadme, valgustuse või inimese aastane soojuseraldus arvutatakse valemiga 18: [9]

$$Q = kP \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7} \frac{8760}{1000} \quad (18)$$

kus,

Q – valgustuse või seadme või inimese aastane soojuseraldus, kWh/(m²·a),

k – kasutusaste,

P – soojuseraldus, W/m²,

τ_d – hoone kasutustundide arv ööpäevas, h,

τ_w – hoone kasutuspäevade arv nädalas, d.

Akendest sisenev päikese kiirgusenergia muutub tahke pinnaga kokku puutudes soojuseks ning tõstab selle temperatuuri. Soojus pinnalt kandub konvektiivselt ruumi, andes vabasoojust. [15, lk 67]

Päikese kiirgusest tingitud keskmine vabasoojuskoormus on arvutatav valemiga 19: [5, lk 62]

$$\Phi_p = \sum \Phi_{ilmak} \cdot e \cdot K_{kl.osak} \cdot K_{kard} \cdot g \cdot A_a \quad (19)$$

kus,

Φ_p – päikese kiirgusest tingitud keskmine vabasoojuskoormus, kW,

Φ_{ilmak} – keskmine päikese kiirgusvoog akna välispinnale olenevalt ilmakaarest, (vt.

Tabel 11), W/K,

e – varjutegur. Kui täpsem info puudub siis 0,75,

$K_{kl.osak}$ – klaaspinna osakaal kogu akna pinnast,

K_{kard} – tegur, mis võtab arvesse ette tõmmatud kardinade mõju. Info puudumisel 0,9,

A_a – akna pindala (sisaldab nii raami kui klaasi osa), m²,

g – klaasi päikesekiirguse läbivustegur.

Tabel 11. Keskmise päikese kiirgusvoog akna välispinnale olenevalt ilmakaarest

Ilmakaared	W/m ²
Põhi	28,1
Kirre	32
Ida	42,7
Kagu	57,9
Lõuna	64,4
Edel	57,6
Lääs	42,6
Loe	31,7
Horisontaal	60,1

Allikas: Hoonete küte, Kõiv. T-A, Rant, A. [5, lk 63]

Kogu vabasoojust pole võimalik hoones 100% efektiivselt ära kasutada ning selle kasutamise tase sõltub küttesüsteemi automatiseerituse astmest. Kuna vabasoojus ei eraldu ajaliselt ja ruumiliselt ühtlaselt, peab küttesüsteem vabasoojuse tõhusamaks ära kasutamiseks reageerima kiiresti vabasoojuse eraldumisele ja selle võrra vähendama majja antavat soojusenergiat. Kütteautomaatikaga ning ruumisest temperatuurianduritega hoones on vabasoojuse utiliseerimistegur ligi 70%. [16, lk 23]

Hoone keskmised vabasoojuskooormused koos utiliseeritava vabasoojusega on välja toodud tabelis 12:

Tabel 12. Hoone vabasoojuskooormused

Vabasoojuskooormus	Suurus	Ühik
Valgustuselt	83,12	W
Seadmetelt	149,62	W
Inimestelt	124,68	W
Päikesest	368,15	W
Kokku	725,57	W
Utiliseeritav	507,90	W

Allikas: Autori arvutused.

2.5. Tasakaalutemperatuur

Soojuskaod tasakaalutemperatuurist kuni ruumi siseõhu temperatuurini kaetakse vabasoojusega ning täiendavat soojust vajatakse alles siis, kui välisõhu keskmine temperatuur on langenud allahoone tasakaalutemperatuuri [16, lk 22]. Tasakaalutemperatuuri leidmiseks kasutatakse vabasoojuskoomust, siseõhutemperatuuri ning hoone soojuserikadusid. Valemi 12 järgi saab öelda, et mida väiksem on hoone soojuserikadu, seda suurem on tema temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt.

Temperatuuri tõusu vabasoojuse arvelt saab leida: [16, lk 22]

$$\Delta t_{vs} = \overline{\Phi}_{vs} / H \quad (12)$$

kus,

Δt_{vs} – siseõhu temperatuuri tõus hoone soojusbilansis osaleva vabasoojuse arvel

$\overline{\Phi}_{vs}$ – keskmine vabasoojuskoomus, W

H – soojuserikaod, W/K

Vabasoojusest tingitud siseõhu temperatuuri tõusu järgi saame arvutada tasakaalutemperatuuri. Vastavalt energiatõhususe miinimumnõuete lisas välja toodud energiaarvutustes kasutatavate ruumitemperatuuri seadeväärtustele on arvestatud väikeelamu ruumitemperatuuriga 21°C.

$$t_B = t_{\delta} - \Delta t_{vs} \quad (13)$$

kus,

t_B – tasakaalutemperatuur, °C

t_{δ} – siseõhutemperatuur, °C

Δt_{vs} – vabasoojusest tingitud temperatuuri tõus, °C

Tabel 13. Tasakaalutemperatuuri leidmine

Hoone soojuserikaod kokku	158,5	W/K
Utiliseeritav vabasoojuskoomus	507,9	W
Temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt	3,2	°C
Siseõhu temperatuur	21	°C
Tasakaalutemperatuur	17,8	°C

Allikas: Autori arvutused.

Onni-Niidu arvutuslik tasakaalu temperatuur on 17,8°C, lähtudes hoone soojuserikadudest ning sisetemperatuurist 21°C. Leitud tasakaalutemperatuuri järgi on võimalik leida netoenergiavajadus hoone kütteks.

2.6. Kütte netoenergiavajadus

Hoonete energiatarbe määramiseks ning energiatõhususe sertifitseermiseks kasutatakse kraadpäevi. Üks kraadpäev väljendab 1°C erinevust arvestusliku sisetemperatuuri ja ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri vahel. Onni-Niidu väikeelamu paikneb Harku vallas, seega tuleb võtta aluseks Tallinna normaalaasta kraadpäevad. Normaalaasta kraadpäevad on määratud kui 30-aastase ajavahemiku (1985-2004) keskmised suurused antud geograafilisele punktile. [5, lk 57]

Välja arvatud tasakaalutemperatuurile 17,8°C vastav kraadpäevade arv on 3794. [17]

Kraadpäevade ja arvatud soojuserikadude järgi leitakse hoone soojuskasutus järgmise valemiga: [5, lk 63]

$$Q_k = H \cdot S \cdot 24 \cdot 10^{-3} \quad (14)$$

kus,

Q_k – kütte soojuskasutus, kWh,

H – soojuserikaod, W/K,

S – hoone tasakaalutemperatuurile vastav kraadpäevade arv,

24 – tundide arv ööpäevas.

Netoenergiavajaduste arvutus järgib standardi EVS-EN ISO 13790 põhimõtteid. Ruumide kütte netoenergiavajaduse arvutamisel võetakse arvesse infiltratsiooniõhu soojendamise vajadust ning ventilatsiooniõhu soojenemist ruumis sissepuhketemperatuurilt ruumitemperatuurini. [9] Onni-Niidu kütte kütte netoenergia vajaduse arvutuse tulemused on toodud välja allolevas tabelis.

Tabel 14. Kütte netoenergia vajadus

Kütte netoenergia vajadus	Soojuseri juhtivus	Kütte netoenergia vajadus
	W/K	kWh/a
Piirdetarindid	62,2	5663,7
Külmasillad	25,4	2312,8
Ventilatsioon, infiltratsioon	70,8	6450,4
Kokku:	158.5	14426,9

Allikas: Autori arvutused.

Küttesüsteemi arvutamise eelduseks lisatakse eelnevale ka tarbevee soojendamiseks vajaminev energia. Soojavee erikulu väikeelamu kohta on 430 l/(m²·a), mille soojendamiseks kuluv energia on 25 kWh/(m²·a). [8]

Tarbevee soojendamiseks kuluv energia aastas on:

$$\frac{25kWh}{m^2 \cdot a} \cdot 103,9m^2 = 2597,5 \frac{kWh}{a}$$

Onni-Niidu väikeelamu netoenergiavajadus ruumide küttele ning tarbevee soojendamisele on:

$$14426,9 + 2597,5 = 17024,4 \frac{kWh}{a}$$

2.7. Küttesüsteemi arvutus

Küttesüsteemi arvutuse koosseisus arvutatakse ruumi kütte, ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamise energiakasutus. Energiakasutus (kWh/a) arvutatakse lähtudes vastavast netoenergiavajadusest. Küttesüsteemi elektri- ja soojusenergiakasutus arvutatakse vastavalt küttesüsteemi kasutegurile ning soojuspumpsüsteemi soojustegurile ja abiseadme elektritarbimisele. Soojuspumpsüsteemis kasutatakse soojusallika kasuteguri asemel soojustegurit. Küttesüsteemi energiakasutus saadakse netoenergiavajaduse jagamisel küttesüsteemi kasuteguriga, mis saadakse soojusallika kasuteguri ja soojuse jaotamise ja väljastamise kasuteguri korrutisena. Soojusallika kasutegur arvutatakse tootja andmetest või kasutatakse „Hoone energiatõhususe arvutamise meetoodika“ tabelis 8 toodud andmeid. Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegur ning abiseadme elektritarbimine arvutatakse simulatsioonarvutusega või kasutatakse tabelis 15 toodud andmeid. [9]

Tabel 15. Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurid ning abiseadmete elektritarbimine

Hoone tüüp	Kütteviis	Kasutegur	Veeküttesüsteemi ringluspumba elektritarbimine ¹ , kWh/(m ² ·a)
Väikeelamu	Radiaator	0,97	1
	Põrandaküte, plaat pinnasel või alt tuulutatav põrand	0,85	2
	Põrandaküte vahelaes	1	2
	Laeküte katuslaes	0,9	2
	Laeküte vahelaes	1	2

Allikas: Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika [9].

Märkused:

1 - elektritarbimine köetava pinna m² kohta, elektriradiaatori, -kaablile ja elektrilisele laeküttele ning soojuspumpsüsteemile 0 kWh/(m²·a).

Soojuspumpsüsteemi elektrienergiakasutuse arvutamiseks jagatakse soojuspumbaga toodetud soojusenergia soojuspumpsüsteemi kütteperioodi keskmise soojusteguriga, milles on võetud arvesse kõikide ringluspumpade ja küttesüsteemiga seotud võimalike abiseadmete elektritarbimine ning soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegur. [9]

Onni-Niidu väikeelamusse on projekteeritud 16kW maasoojuspump, mille soojusteguriks külmas kliimas ning vajalike peale- ning tagasivoolu temperatuuridega on 4,2. Soojuse jaotamiseks hoones kasutatakse põrandakütet, mis on reguleeritud ruumitermostaatidega. Samuti kasutatakse hoonesse paigaldatavat soojuspumpa tarbevee soojendamiseks, mille juures soojustegur on tootja andmeil 2,5. Soojuspumba tehnilised andmed on välja toodud Lisa 3.

Tabel 16. Küttesüsteemi energiakasutus

	Ruumide kütte	Tarbevesi	Ühik
Soojustegur	4,2	2,5	-
Jaotus- ja väljastustegur	0,85	1,0	-
Netoenergia vajadus	14426,9	2597,5	kWh/a
Elektri kulu	4041,0	1039,0	kWh/a
Küttesüsteemi elektrienergia kasutus kokku	5080,0		kWh/a

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 16 on välja toodud küttesüsteemi energiakasutus, mis hõlmab ruumide kütte, ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamist. Autori arvutustest lähtudes on kogu Onni-Niidu väikeelamu küttesüsteemi elektrienergia kasutus 5080 kWh/a.

2.8. Energiatõhususarvu leidmine

Lisaks küttesüsteemi energiakasutusele on hoones ka seadmed ja valgustus, mis kasutavad energiat. Eelnimetatute elektrienergia kasutusest sõltub ka Onni-Niidu väikeelamu energiatõhususarv ning –klass. Seadmete keskmise elektritarbimise leidmiseks tuleb seadmete poolt tekitatud vabasoojuskooormusläbi jagadaläbi teguriga 0,7. Valgustuse elektritarbimine on võrdväärne enda poolt tekitatud vabasoojuskooormusega. [9]

Lähtuvalt eelenevast on seadmete ja valgustuse elektritarbimine vastavalt: 1872,3 kWh/a ja 728 kWh/a.

Energiatõhususarv ETA arvutatakse, jagades summaarse kaalutud tarnitud energiakasutuse ja summaarse kaalutud eksporditud energiakasutuse vahe kōetava pinna ruutmeetrite arvuga: [9]

$$ETA = \frac{\sum_i (E_{tar,i} - E_{eks,i}) f_i}{A_{kōetav}} \quad (15)$$

kus,

ETA – energiatõhususarv, kWh/(m²·a),

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

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

f_i – energiakandja kaalumistegur,

$A_{kõetav}$ – kõetav pind, m².

Energiakandjate kaalumisteguritega võetakse arvesse tarnitud energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju. Energiakandjate kaalumistegurid on järgmised:

[2]

- 1) taastuvtoormel põhinev kütus (puit ja puidupõhine kütus ning muu biokütus, välja arvatud turvas ja turbabrikett) – 0,75;
- 2) kaugküte – 0,9;
- 3) vedelkütus (kütteõli ja vedelgaas) – 1,0;
- 4) maagaas – 1,0;
- 5) tahke fossiilkütus (kivisüsi ja muu selline kütus) – 1,0;
- 6) turvas ja turbabrikett – 1,0;
- 7) elekter – 2,0.

Onni-Niidu väikeelamu kütteks ning tarbevee soojendamiseks on projekteeritud maasoojuspump, mis töötab elektri toimel, seega valitakse kaalumisteguriks 2.

Lähtudes „Energiatõhususe miinimumnõuetest“, „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodikast“ ning autori arvutustest, on Onni-Niidu energiatõhususarv järgmine:

$$ETA = \frac{1039 + 4041 + 1872,3 + 728}{103,9} \cdot 2 = 147,8 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}^2$$

Autori arvutustest lähtuvalt, kuulub Onni-Niidu väikeelamu Tabel 2 välja toodud energiatõhususarvu klassi skaala järgi energiaklassi „C“.

Hoone vastab energiatõhususe miinimumnõuetele, kuid ei kuulu madalenergiahoonete klassi. Liginullenergiahoone saavutamiseks tuleb lähtuda Onni-Niidu väikeelamu energiakasutusest ja soojuskadudest, et leida efektiivseid lahendusi energiatõhususarvu parendamiseks.

3. ENERGIATÕHUSUSE TÕSTMISE LAHENDUSED

Energiatõhususe tõstmiseks väikeelamutes on erinevaid variante. Hoonete projekteerimisel tuleb leida võimalikult optimaalne lahendus, mis sobiks tellijale nii hinna, välimuse kui ka kasutamise- ja hoolduskeerukuselt. Energiasäästu tõstmiseks on võimalik kasutada erinevaid variante. Kombineeritakse erineva tööpõhimõttega soojuspumpsüsteeme näiteks maasoojuspump ja päikesekollektorsüsteem. Samuti lokaalselt taastuvenergia abil elektrienergia tootmine – päikesepaneelid, tuulegeneraatorid. Optimaalse lahenduse leidmiseks tuleb lähtuda ka objekti iseärasustest.

Onni-Niidu väikeelamu soojuserikadudest (vt

Tabel 9) selgub, et ligi kolmandik energiast kulub ventilatsiooniõhu soojenemisele ruumis. Seda põhjustab loomulik, ilma soojustagastuseta hoone ventileerimine. Soojuskadude vähendamine ning energiatõhususe tõstmine on võimalik soojustagastusega mehaanilise ventilatsiooniga. Ventilatsiooni paigaldamisega saab hoida hoones kontrolli all õhuniiskuse taset ning kasutada sama seadet soojadel perioodidel siseõhu jahutamiseks, mis on tähtis mugava sisekliima tagamiseks.

Taastuvate energiaallikate kasutamine vähendab hoonesse tarnitavat energiat ning seeläbi vähendab energiatõhususarvu. Onni-Niidu väikeelamusse paigaldatav maasoojuspump on samuti taastuvenergia kasutamise põhimõttega. Pinnasest võetakse külma vedelikku ning suunatakse see sinna veel külmemalt tagasi, kasutades selleks protsessiks elektrit [7, lk 37].

Tarbevee soojendamine, hoone küte, olmeseadmed ning valgustus kasutavad kõik töötamiseks elektrit. Kasutades lokaalse energiatootmise süsteeme kinnistul, võimaldab see katta kas osaliselt või täielikult hoonesse tarnitava elektrienergia kogust, mis vähendab oluliselt energiatõhususarvu. Tabel 17 on välja toodud Onni-Niidu väikeelamu aastane elektrienergia kasutus komponentide lõikes.

Tabel 17. Onni-Niidu väikeelamu summaarne elektrienergia kasutus

Komponent	Elekter kWh/a	Osakaal %
Välispiirete soojuserikaod	2224,3	29,0
Ventilatsiooniõhu soojenemine ruumis	1349,9	17,6
Infiltratsiooniõhu soojenemine ruumis	466,9	6,1
Tarbevee soojendamise	1039	13,5
Valgustus	728,1	9,5
Seadmed	1872,3	24,4
Kokku	7680,5	100,0

Allikas: Autori koostatud.

Järgnevates peatükkides on autor välja toonud lahendused energiatõhususe tõstmiseks Onni-Niidu väikeelamus. Arvutustes on lähtutud „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodikas“ välja toodud arvutuspõhimõtetest. Puudulike andmete jaoks on autor valinud hoonesse sobilikud seadmed ning kasutanud tootjate poolt välja pakutud tehnilisi näitajaid.

3.1. Soojustagastusega ventilatsioon

Väikeelamu ventilatsioonisüsteemi välisõhu vooluhulgana kasutatakse energiaarvutuses $0,421/(s \cdot m^2)$. Soojustagastuse arvutamisel lähtutakse soojusvaheti temperatuuri suhtarvust (soojeneva õhuvoolu temperatuuride vahe enne ja pärast soojusvahetit jagatud maksimaalse temperatuuride vahega üle soojusvaheti), sissepuhkeõhu temperatuurist ja soojusvaheti jäätumise piiramisest. [9]

Väikeelamutes kasutatakse põhiliselt rootor- ja plaatsoojusvaheteid. Plaatsoojustagastis on sissepuhke- ja väljatõmbeõhuvoolud eraldatud vaheldumisi plaatidega nii, et ühes plaatide vahes on sissepuhkeõhk, järgmises väljatõmbeõhk. Soojus kantakse külmal perioodil väljatõmbeõhult sissepuhkeõhule läbi plaatide. Sõltuvalt õhuvooluhulkade liikumise suunast eristatakse soojustagastis risti- ja vastuvoolseid tagasteid, millest viimased on tõhusamad.[7, lk 46]

Onni-Niidu väikeelamu vajalik õhuvooluhulk on 42,6 l/s ehk 0,042m³/s. Õhuvoolu hulgest lähtudes valib autor mehaalise ventilatsiooni seadmeks vastuvoolu soojusvahetiga Dantherm HCV3, mille soojustagastus ulatub 95%ni ning on heakskiidetud passiivmajades kasutamiseks. Seade töötab automaatsel nõudluspõhisel juhtimisel, millega tagatakse sobiv relatiivne õhuniiskuse tase elamus. Õhuhulka reguleerimisega vastavalt vajadusele hoitakse elektrienergia kulu minimaalne kui inimtegevus hoones on väike. [18] Seadme tehnilised andmed on välja toodud lisas 4.

Väikeelamu ja korteri ventilatsiooniseadme, mille õhuvooluhulk on alla 0,25m³/s, elektrienergiakasutus E_v (kWh/a) arvutatakse järgmise valemiga: [9]

$$E_v = P_{vs} \cdot t_{vsn} \cdot x_p \quad (16)$$

kus,

E_v – ventilatsiooniseadme elektrienergiakasutus, kWh/a,

P_{vs} – ventilatsiooniseadme elektrivõimsus arvutuslikul õhuvooluhulgal, kW,

t_{vsn} – ventilatsiooniseadme aastane töötamisaeg, h,

x_p – torustiku rõhulangutegur. Normaalse rõhulangutaseme juures 1,0.

Tabel 18. Ventilatsiooniseadme elektrienergiakasutus

Elektrivõimsus vooluhulgal 42,6 l/s	0,053	kW
Seadme aastane tööaeg	8760	h
Torustiku rõhulangutegur	1	
Ventilatsiooni elektrienergia kasutus	464,28	kWh/a

Allikas: Autori arvutused.

Tabelis 17 väljatoodud ventilatsiooni elektrienergiakasutus lisatakse hoone summaarsesse energiakasutusse. Ventilatsiooni soojustagastusega väheneb oluliselt energiakulu sissepuhkeõhu soojendamiseks. Ventilatsioonist tingitud soojuserikaod langevad 85%. Seeläbi vähendatakse kraadpäevade arvu 3519-ni ning tõstetakse energiatõhusust 11,5%. Seoses kraadpäevade ning hoone soojuserikadude vähenemisega, langeb ka summaarne elektrienergia kasutus – koos ventilatsiooni elektrienergia tarbimisega on aastane elektrikasutus 6793,6 kWh/a. Energiatõhususarv koos soojust tagastava ventilatsiooniga on 131 kWh/(m²·a).

3.2. Päikesepaneelide paigaldamine

Elektrit saab toota eri päikesepaneelidega, mida sageli nimetatakse PV-paneelideks (lühend PV tuleb ingliskeelsest terminist *photovoltaic*). PV-paneelide kasutegur, mis näitab, mitu protsenti paneeli pinnale langenud päikesekiirgusest muundatakse elektriks, on suurusjärgus 11...17%. Paneelid paigaldatakse tavaliselt hoone katusele, arvestusega, et nendele ei teki varje naaberhoonetest, puudest jms. [7, lk 42]

PV-paneelid toodavad suvel oluliselt rohkem elektrit kui talvel, mistõttu talvel ei piisa paneelide toodetud energiast ja suvel toodetakse elektrit oluliselt rohkem kui tarbitakse. Ületoodetud elektrit on võimalik salvestada akudesse või muuta vahelduvvooluks ja müüa seda elektrivõrku. Paneelidega toodetud elektrit elektrivõrku müümisel, tuleb hoone energiatõhusarvu leidmisel võrku antud energia läbi korrutada elektri kaalumisteguriga. [7, lk 43]

Elektrit elektrivõrku müümisel on selle hind madalam kui ostmisel, mis tõttu oleks mõistlik ära kasutada maksimaalselt paneelide toodetud energiat hoones. Maksimaalne tulemus saavutatakse kui paneelide toodetud ning hoones kasutatud elektrienergia vahe võrdub nulliga. Sellisel juhul oleks tarvis kütteperioodiks väga suure tootlikusega päikesepaneelide süsteemi, mis suvel toodaks oluliselt rohkem, kui vaja. Energiaarvutustes kasutatud meetodika puhul eeldatakse, et ventilatsiooni, valgustuse, seadmete ning tarbevee kasutamine on aastaringelt konstantne, mis annab praegustes arvutustes eelise. Kasutades eelnimetatud komponentide elektrienergia tarbimist ning valides vastava võimsusega päikesepaneelid, on võimalik energiaarvutustes taandada seadmete, valgustuse ning tarbevee soojendamise elektrienergia. Eelmises peatükis välja toodud elektrienergia kasutuse põhjal oleks mõistlik Onni-Niidu hoonele lisada päikesepaneelid, mille aastane kogutootlikus on vähemalt 4104 kWh/a.

Päikesepaneelidega toodetud aastane elektrienergia arvutatakse valemiga 17: [9]

$$E_{pan} = \frac{Q_{päike} \cdot P_{max} \cdot k_{kas}}{I_{ref}} \quad (17)$$

kus,

E_{pan} – päikesepaneeliga toodetud aastane elektrienergia, kWh/a,

$Q_{päike}$ – päikesepaneeli pinnale, millele ei teki varje, tulev aastane päikeseenergia, (arvutatakse valemiga 18), kWh/a

P_{max} – päikesepaneeli maksimaalne võimsus standardtingimustel, kW ($I_{ref}=1$ kW/m², temperatuur

25°C)

k_{kas} – võtab arvesse päikesepaneeli kasutustingimusi. Mõõduka tuulutuse puhul 0,75 [9],

I_{ref} – standardkiirgus 1kW/m²

Päikesepaneeli pinnale tulev aastane päikeseenergia arvutatakse järgneva valemiga: [9]

$$Q_{päike} = 960 \cdot k_{ik} \cdot k_{nurk} \quad (18)$$

kus,

960 – horisontaalpinnale tulev aastane päikesekiirgus, kWh/(m²·a),

k_{ik} – tegur, mis arvestab päikesepaneeli suunatust ilmakaartesuhtes. Lõuna – 1 [9],

k_{nurk} – tegur, mis arvestab päikesepaneeli kaldenurka horisondi suhtes. 30-70° - 1,2 [9].

Sidudes valemid 17 ja 18 on võimalik avaldada PV paneelide maksimaalne võimsus P_{max} , mille alusel saab valida Onni-Niidu väikeelamule vajaliku tootlikusega päikesepaneelid.

$$P_{max} = \frac{E_{pan} \cdot I_{ref}}{960 \cdot k_{ik} \cdot k_{nurk} \cdot k_{kas}} \quad (19)$$

Valemi 19 järgi arvutatud paneelide maksimaalne võimsus standardtingimustel peab olema vähemalt 4,75kW.

Täna päeval on PV-paneelide juhtivaks tootjaks Panasonic, kelle toode „HIT N330“ jõudis turule 2016 aasta kevadel. Eelnimetatud paneelide kasutegur ulatub pea 20%-ni ning maksimaalvõimsus standardtingimustel on 330W. [19] Päikesepaneelide tehnilised andmed on toodud Lisa 5.

Onni-Niidu väikeelamu ventilatsiooni, valgustuse, seadmete ning tarbevee soojendamisele kuluva elektrienergia katmiseks peab paigaldama hoonele 15 paneeli, koguvõimsusega 4,95kW, mille poolt toodetav elektrienergia valemi 17 järgi on 4276,8 kWh/a. 4103,9 kWh/a kasutatakse lokaalselt taastuvenergiانا ning 173,1 kW/a kuulub ekspordimisele.

Tabel 19. Päikesepaneelide tootlikus

k_{nirk}	1,2	-
k_{ik}	1	-
$Q_{päike}$	1087,2	kWh/a
P_{max}	4,95	kW
k_{kas}	0,75	-
I_{ref}	1	kW/m ²
E_{pan}	4276,8	kWh/a

Allikas: Autori arvutused.

Elektrit tootvate päikesepaneelide lisamine hoone energiasüsteemi muudab oluliselt tarnitava energiakogust ning viib hoone energiatõhususarvu 48,4 kWh/(m²·a) juurde, millega saavutatakse „A“ energiaklass ning hoone kuulub liginullenergiahoonete alla.

3.3. Energiatõhususarv koos lahendustega

Madalenergiahoonete puhul on põhitähelepanu pööratud hoone kui terviku energiatarbe minimeerimisele. Kogu hoone madala energiatarbe saavutamiseks kasutatakse võimalikult palju tehnilisi lahendusi – soojustagastusega ventilatsioon, kõrge kasuteguriga soojuspumpade kasutamine kütteks ja sooja tarbevee valmistamiseks, kõrge kasuteguriga valgustite ja elektriliste kodumasinate kasutamine ning päikesepaneelide kasutamine vee soojendamiseks ja elektri tootmiseks. [8]

Käesolevas lõputöös välja pakutud lahendused energiatõhususe tõstmiseks põhinevad samuti tehnilistel lahendustel. Onni-Niidu väikeelamu puhul piisas liginullenergiahoone saavutamiseks soojustagastusega ventilatsioonist ning päikesepaneelidest, kuigi võimalusi selle saavutamiseks on ka teisi – kombineeritud soojuspumpsüsteemid, tuulegeneraatorid ja päikesekollektorid, mis toodavad soojust. Parima valiku tegemisel peab lähtuma objekti iseloomust ning eesmärgist.

Soojustagastava ventilatsiooni ning päikesepaneelidega saavutati Onni-Niidu väikeelamu liginullenergiahoone tase. Ehitatava hoone energiatõhususarv on 148 kWh/(m²·a) ning hoone kuulub energiaklassi „C“. Energiatõhususlahendustega suudetakse saavutada

liginullenergiahoone, mille ETA peab jääma alla 50 kWh/(m²·a).

Tabel 20 on välja toodud Onni-Niidu väikeelamu energiatõhususarvu kujunemine, seal hulgas põhilised muutujad, mis mõjutavad ETA arvutust. Enne meetmete rakendamist oli tarnitava elektrienergia kogus ligi kolm korda suurem võrreldes soojustagastava ventilatsiooni ning päikesepaneelide paigaldamise järgselt.

Tabel 20. Onni-Niidu väikeelamu energiatõhususarvu kujunemine

Nimetus	Ühik	Projekti järgne	Soojustagastusega ventilatsiooni paigaldamisel	Soojustagastusega ventilatsioon koos päikesepaneelidega
Tasakaalu temperatuur	C	17,8	16,5	16,5
Kraadpäevade arv	C·d	3794	3519	3519
Netoenergia vajadus	kWh/a	17024	12200	12200
Elektrienergia vajadus	kWh/a	7680,5	6793,6	6793,6
Lokaalne taastuv elektrienergia	kWh/a	-	-	4103,7
Tarnitav elektrienergia	kWh/a	7680,5	6793,6	2689,9
Energiatõhususarv	kWh/(m ² ·a)	148	131	48,4
Energiaklass	-	C	C	A

Allikas: Autori koostatud.

Valitud energiatõhususe tõstmise lahendused olid autori hinnangul Onni-Niidu väikeelamu puhul kõige mõistlikumad. Hoonesse ei ole projekteeritud soojustagastusega ventilatsiooni, mis madalenergiahoone saavutamisel on peaaegu, et kohustuslik, mille olulisust on rõhutanud ka Kalamees, T. ja Tark, T. [7, lk 46]. Esiteks on see vajalik hoone sisekliima tagamiseks – kontrollitud õhuvahetuse ning mugava niiskustaseme saavutamiseks. Teiseks, kogu soojus, mis toodetakse, tuleb võimalikult efektiivselt ära kasutada ning võimalusel taaskasutada nagu teeb seda soojustagastusega ventilatsioon.

Soojuspumpadega hoone kütmine ning tarbevee soojendamine on energiatõhus, sest seadmetel on kõrge soojustegur. Küll aga kasutavad viimased oma tööks elektrienergiat, mida peab tarnima. Suuremate hoonete puhul on kulud isegi suuremad. Onni-Niidu väikeelamu energiatõhususe tõstmise lahenduste väljatöötamisel selgus, et hoone elektrienergiakasutus oli kõrge. Lahendus tarnitava elektrienergia vähendamiseks on seda lokaalselt toota, kas tuulegeneraatorite või

päikese paneelidega. Seadmete kompaktsusest ning efektiivsusest lähtuvalt valis autor lahenduseks PV-paneelid.

Valitud lahendustega muudeti Onni-Niidu väikeelamu enrgiatõhususarv liginullenergiahoonele vastavaks ning sellega on täidetud töö eesmärk.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli arvutada välja Onni-Niidu väikeelamu energiatõhususarv ning esitada võimalused energiatõhususe tõstmiseks, millega saavutatakse liginullenergiahoone energiaklass. Selleks viis autor läbi energiaarvutused, lähtudes „Hoone energiatõhususe miinimumnõuetest” ja „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodikast”.

Autori arvutustest lähtuvalt on ehitatava väikeelamu energiatõhususarv 148 kWh/(m²·a) ning hoone kuulub energiaklassi „C”. Ehitis vastab energiatõhususe miinimumnõuetele, kuid ei kuulu liginullenergiahoone klassi. Madal energiatõhusus on tingitud peamiselt loomulikust ventilatsioonist, millel puudub soojustagastus ning suurest elektrienergiakasutusest. Liginullenergiahoone energiaklassi saavutamiseks on vaja langetada energiatõhususarv 50 kWh/(m²·a) või madalamaks. Selle saavutamiseks pakkus autor välja kaks lahendust.

Loomulikust ventilatsioonist tingitud suurte soojuskadude vähendamiseks tuleb hoone tehnosüsteemidele lisada soojustagastusega mehaaniline ventilatsioon. Selle lahenduse rakendamisel langevad ventilatsioonist tingitud soojuserikaod 85% ning energiatõhususarv langeb 131 kWh/(m²·a), mis on 11,5% esialgsest madalam.

Hoone kütteks ning tarbevee soojendamiseks on Onni-Niidu väikeelamusse planeeritud maasoojuspump, mis kasutab töötamiseks elektrienergiat. Samuti kasutavad elektrit valgustid, olmeseadmed ning mehaaniline soojustagastusega ventilatsioon. Kogu tarbitav elekter tarnitakse välisvõrgust, mille tõttu on ka hoone energiatõhususarv kõrge. Probleemi lahendamiseks pakkus autor välja päikesepaneelide ehk PV-paneelide paigaldamist, mis toodavad lokaalselt elektrienergiat. Paneelide kogutootlikus aastas, lähtudes „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodikast“, on 4103,7 kWh. Välja pakutud lahendusega vähendatakse hoonesse tarnitavat elektrit 60% ning saavutatakse energiatõhususarv 48 kWh/(m²·a).

Mehaanilise soojustagastusega ventilatsiooni ning elektrit tootvate PV-paneelidega saavutatakse energiaklass „A” ning Onni-Niidu väikeelamu kuulub liginullenergiahoone klassi, millega on täidetud käesoleva lõputöö eesmärk.

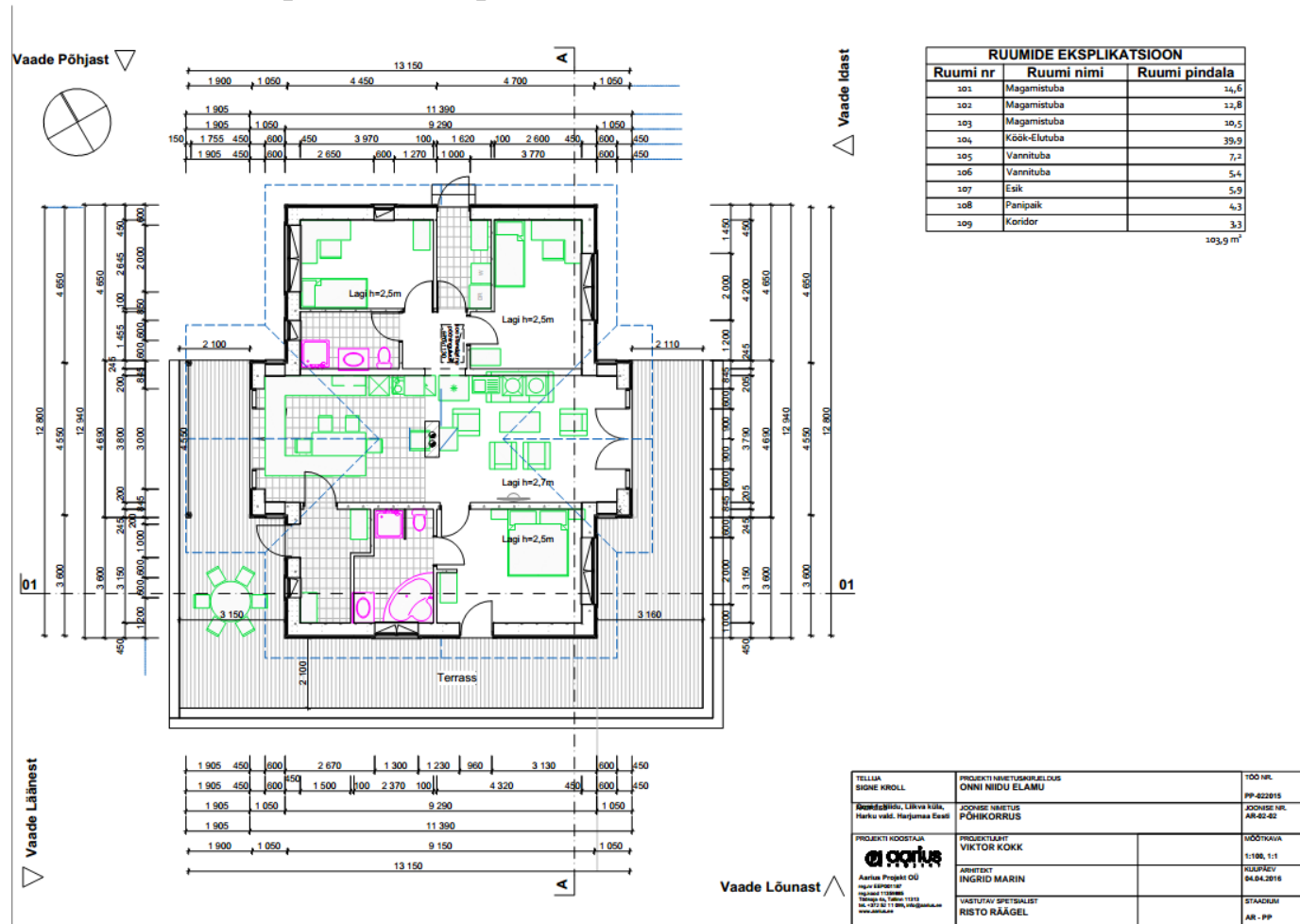
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

1. *Ehitusseadustik*. Riigikogu. 11.02.2015. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/105072016028>
2. *Hoone energiatõhususe miinimumnõuded*. Vabariigi valitsuse määrus nr 55. 03.06.2015. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015>.
3. *Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika. Lisa1*. Vabariigi valitsuse määrus nr 58. 05.06.2015. [WWW] https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1090/6201/5021/MKM_m58_lisa1.pdf#
4. *Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele. Lisa 3*. Vabariigi valitsuse määrus nr 36. 30.04.2015. [WWW] https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1071/0201/6004/MKM_m36_lisa3.pdf#
5. **Kõiv, T.-A., Rant, A.** (2013). *Hoonete küte*. (2. tr.). Tallinn: TTÜ Kirjastus. 404 lk.
6. *Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele*. Vabariigi valitsuse määrus nr 36, 30.04.2015. [WWW]. <https://www.riigiteataja.ee/akt/107102016004>.
7. **Kalamees, T., Tark, T.** (2012). *Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine. Juhend väikeelamu projekteeriale, ehitajale ja tellijale*. Tallinn. [WWW] http://kredex.ee/public/Uuringud/Madalenergia-ja_liginullenergiahoone_kavandamine_Vaikeelamu.pdf
8. **Paplavskis, J., Froš, A.** (september 2011), „Kas ehitada passiiv- või madalenergiamaaja?“, *Ehitaja, nr 09*. Lk 46-51,.
9. *Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika*. Vabariigi valitsuse määrus nr 58. 05.06.2015. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/109062015021>.
10. *EVS 908-1:2010. Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire*. (2010). Tallinn: Eesti Standardikeskus,
11. *EVS-EN ISO 13370:2008. Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid*. (2008). Tallinn: Eesti Standardikeskus..
12. *AEROC sõlmede joonkülmasillega soojusjuhtivused*, AEROC JÄMERÄ AS, [WWW]. http://www.aeroc.ee/index.php?page=1294&lang=est&cnt=AEROC_s%C3%B5lmede_joonk%C3%BClmasilla_soojusjuhtivused.
13. *Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Lisa Ventilatsiooni välisõhu vooluhulga ja energiaarvutuses kasutatavate ruumitemperatuuride seadeväärtused*. Vabariigi valitsuse määrus nr 55, 03 06 2015. [WWW] https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1050/6201/5015/MKM_m55_lisa.pdf#.

14. **Liias, R.** *Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpparuanne.* (2011). Tallinn. [WWW] http://kredex.ee/public/Uuringud/TTY_Puitelamute_uuring.pdf
15. Abel, E., Voll, H., *Hoonete energiatarve ja sisekliima*, (2014). Tallinn: Presshouse. 249 lk.
16. *Korterelamute energiaauditite koostamise juhend.* (2015) Tallinn: SA KredEx, [WWW] http://kredex.ee/public/Energiatohusus/Korterelamute_energiaauditite_koostamise_juhend.pdf
17. *Kraadpäevad.* SA KredEX [WWW] <http://kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/>
18. *Dantherm ventilatsiooniseade.* EB THERM, [WWW] <http://www.ebtherm.ee/tooted/ventilatsioon/hcvhch>.
19. *Päikesepaneelid HIT.* Solarstreet OÜ [WWW] http://www.solarstreet.ee/files/5914/6305/5711/VBHN330_325SJ47_PEWEU_EN.pdf.
20. *NIBE maasoojuspumbad,* [WWW] <http://www.nibe.ee/nibedocuments/18904/M11974-1.pdf>.
21. Aarius Projekt OÜ. *Onni-Niidu väikeelamu põhiprojekt.* (aprill 2016).

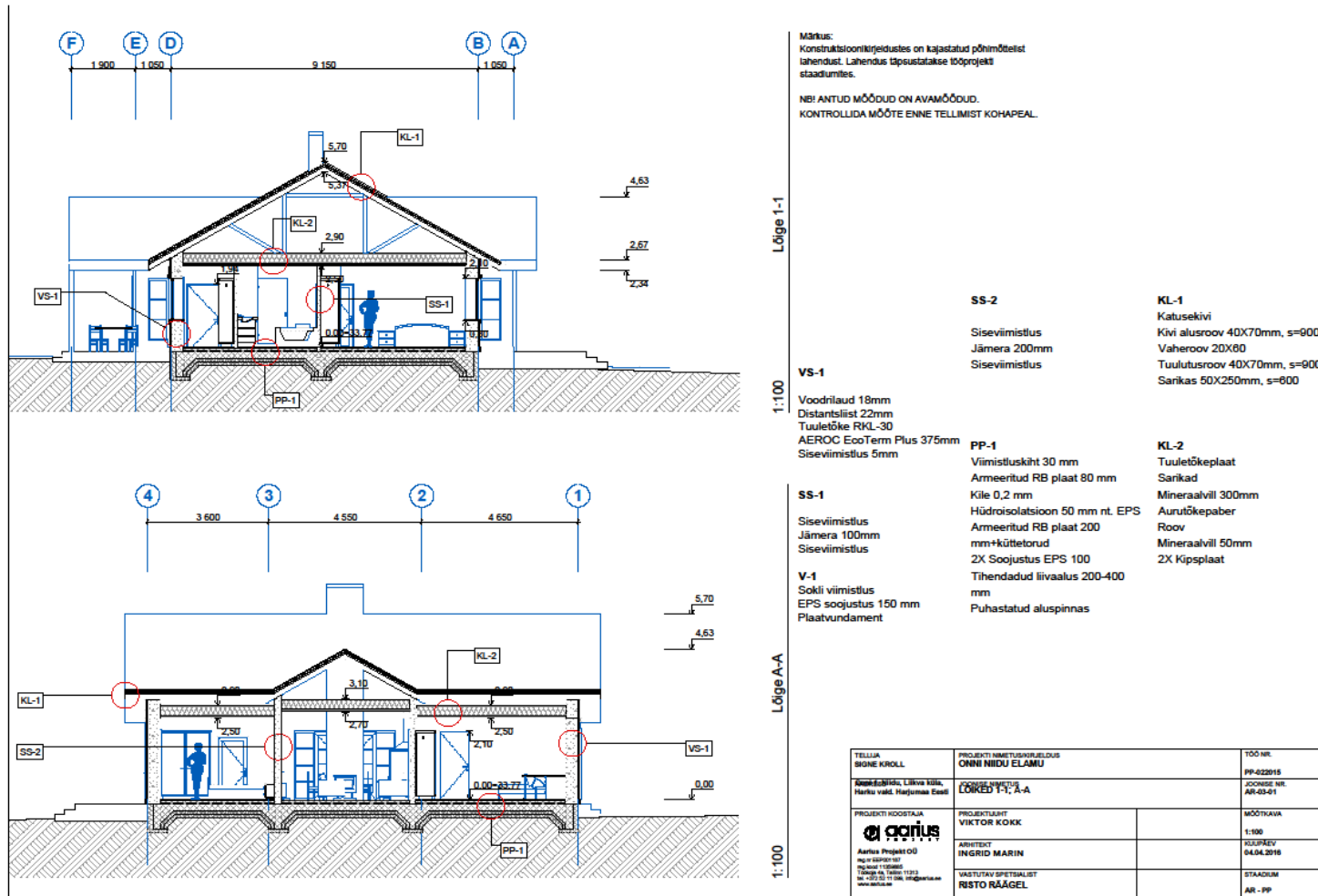
LISAD

Lisa 1. Onni-Niidu põhikorruse plaan



Allikas: Onni-Niidu väikeelamu põhiprojekt [21]

Lisa 2. Onni-Niidu väikeelamu lõiked 1-1 ja A-A



Allikas: Onni-Niidu väikeelamu põhiprojekt [21]

Lisa 3. Maasoojuspumba NIBE F1255-16 tehnilised andmed

3x400 V

		F1255-6	F1255-12	F1255-16
Output data according to EN 14511 nominal				
0/35				
Rated output	kW	3.15	5.06	8.89
Installed electrical output	kW	0.67	1.04	1.83
COP		4.72	4.87	4.85
0/45				
Rated output	kW	2.87	4.78	8.63
Installed electrical output	kW	0.79	1.27	2.29
COP		3.61	3.75	3.77
10/35				
Rated output	kW	4.30	6.33	11.22
Installed electrical output	kW	0.66	1.03	1.84
COP		6.49	6.12	6.11
10/45				
Rated output	kW	3.98	5.98	10.92
Installed electrical output	kW	0.83	1.30	2.32
COP		4.79	4.59	4.72
SCOP according to EN 14825				
Nominal heating output (designh)	kW	6	12	16
SCOP _{EN14825} cold climate 35 °C / 55 °C		5.5 / 4.1	5.4 / 4.3	5.5 / 4.2
SCOP _{EN14825} average climate, 35 °C / 55 °C		5.2 / 4.0	5.2 / 4.1	5.2 / 4.1
Energy rating, average climate				
Efficiency class for space heating 35 °C / 55 °C		A++ / A++	A++ / A++	A++ / A++
Space heating efficiency class of the system 35 °C / 55 °C ¹⁾		A+++ / A+++	A+++ / A+++	A+++ / A+++
Efficiency class hot water / charging profile		A / XL	A / XL	A / XL
Sound power level (L_{WA}) acc to EN 12102 at 0/35	dB(A)	36 – 43	36 – 47	36 – 47
Sound pressure level (L_{PA}) calculated values according to EN ISO 11203 at 0/35 and 1m range	dB(A)	21 – 28	21 – 32	21 – 32
Electrical data				
Output, Brine pump	W	10 – 87	3 – 180	20 – 180
Output, Heating medium pump	W	2 – 63	2 – 60	10 – 87
Enclosure class		IP21		
Refrigerant circuit				
Type of refrigerant		R407C		
Volume	kg	1.16	2.0	2.2
CO ₂ equivalent	ton	2.06	3.55	3.90
Brine circuit				
Min/max system pressure brine	MPa	0.05 (0.5 bar) / 0.45 (4.5 bar)		
Nominal flow	l/s	0.18	0.29	0.51
Max external avail. press at nom flow	kPa	64	115	95
Min/Max incoming Brine temp	°C	see diagram		
Min. outgoing brine temp.	°C	-12		
Heating medium circuit				
Min/Max system pressure heating medium	MPa	0.05 (0.5 bar) / 0.45 (4.5 bar)		
Nominal flow	l/s	0.08	0.12	0.22
Max external avail. press at nom flow	kPa	69	73	71
Min/max HM-temp	°C	see diagram		
Pipe connections				
Brine ext diam. CU pipe	mm	28		

Lisa 3 jätk

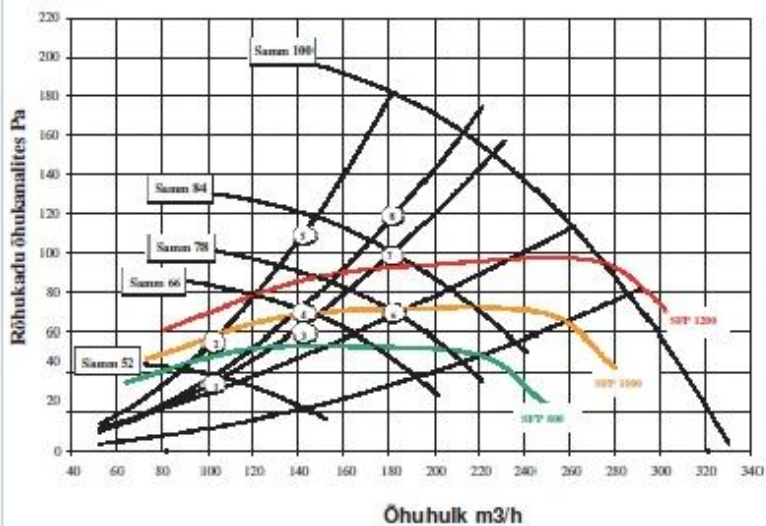
		F1255-6			F1255-12			F1255-16		
Heating medium ext diam. CU pipes	mm	22			28					
Hot water connection external diam	mm	22								
Cold water connection external diam	mm	22								
Water heater										
Volume water heater	l				approx. 180					
Max pressure in water heater	MPa				1.0 (10 bar)					
Hot water heating capacity (comfort mode Normal) According to EN16147										
Amount of hot water (40 °C)		245			240			240		
COP _{DHW} (load profile XL)		2.6			2.5			2.5		
Dimensions and weight										
Width	mm				600					
Depth	mm				620					
Height	mm				1800					
Required ceiling height ²⁾	mm				1950					
Corrosion protection ³⁾		Cu	Rf	E	Cu	Rf	E	Cu	Rf	E
Weight complete heat pump	kg	220	200	235	250	230	270	255	235	270
Weight only cooling module	kg	90			120			125		
Part number, 3x400V		065 267	065 269	065 268	065 400	065 402	065 401	065 059	065 257	065 239

Allikas: NIBE maasoojuspumbad[17]

Lisa 4. Dantherm HCV 3 tehnilised andmed

Töögraafikud

HCV 3

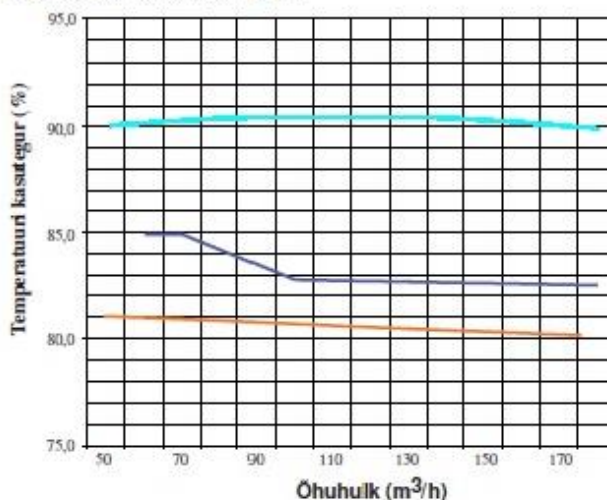


Tööpunktid

Tööpunkt	Õhuhulk m ³ /h	Rõhukadu õhukanalites Pa	Ventilaatori seinis õhk väljastise	Ventilaatori orbiitmus J/m ³	Võimsustarve W
①	100	35	4/49	720	20
②	100	55	5/56	864	24
③	140	60	6/62	951	37
④	140	70	6/66	1029	40
⑤	140	110	8/82	1363	53
⑥	180	70	7/76	1000	50
⑦	180	100	8/84	1300	65
⑧	180	120	8/88	1400	70

Temperatuuri kasutegur HCV 3

- Temperatuuri kasutegur kondensaadi tekkimisel. Väljatõmbeõhk – 25 °C/55%RH. Välisõhk – -10 °C/50%RH. Võrdsete õhukoguste korral.
- Temperatuuri kasutegur (DiEt). Väljatõmbeõhk – 21 °C/37%RH. Välisõhk – -3 °C/85%RH. Võrdsete õhukoguste korral.
- Temperatuuri kasutegur (passivmaja). Väljatõmbeõhk – 21 °C/32%RH. Välisõhk – +4 °C/90%RH. Võrdsete õhukoguste korral.



Allikas: EB THERM OÜ [18]

Lisa 5. Päikesepaneeli Panasonic HIT N330 tehnilised andmed

Electrical data (at STC)		VBHN330SJ47	VBHN325SJ47
Max. power (Pmax) [W]		330	325
Max. power voltage (Vmp) [V]		58.0	57.6
Max. power current (Imp) [A]		5.70	5.65
Open circuit voltage (Voc) [V]		69.7	69.6
Short circuit current (Isc) [A]		6.07	6.03
Max. over current rating [A]		15	
Power tolerance [%] *		+10/-0	
Max. system voltage [V]		1000	
Solar Panel efficiency [%]		19.7	19.4

Note: Standard Test Conditions: Air mass 1.5; Irradiance = 1000W/m²; cell temp. 25°C
 * Maximum power at delivery. For guarantee conditions, please check our guarantee document.

Temperature characteristics		VBHN330SJ47	VBHN325SJ47
Temperature (NOCT) [°C]		44.0	44.0
Temp. coefficient of Pmax [%/°C]		-0.29	-0.29
Temp. coefficient of Voc [V/°C]		-0.174	-0.174
Temp. coefficient of Isc [mA/°C]		1.82	1.81

At NOCT (Normal Operating Conditions) (Tentative)

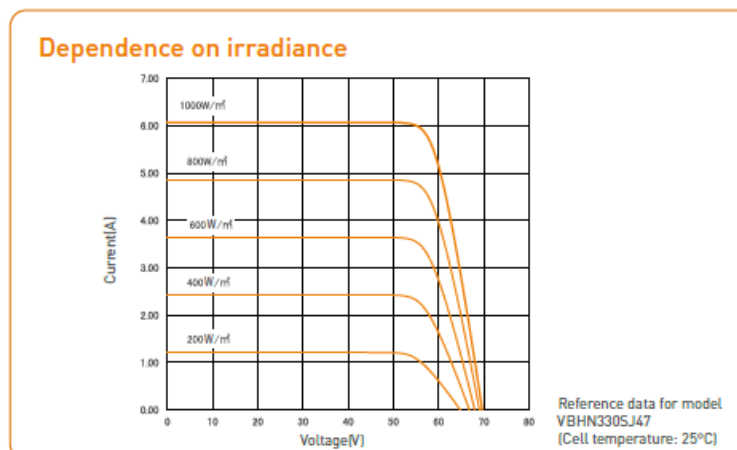
Max. power (Pmax) [W]	247.2	243.5
Max. power voltage (Vmp) [V]	54.2	53.8
Max. power current (Imp) [A]	4.58	4.54
Open circuit voltage (Voc) [V]	65.1	65.0
Short circuit current (Isc) [A]	4.91	4.88

Note: Normal Operating Cell Temp.: Air mass 1.5; Irradiance = 800W/m²; Air temperature 20°C; wind speed 1 m/s

At low irradiance (20%) (Tentative)

Max. power (Pmax) [W]	63.5	62.5
Max. power voltage (Vmp) [V]	56.2	55.8
Max. power current (Imp) [A]	1.13	1.12
Open circuit voltage (Voc) [V]	66.0	65.9
Short circuit current (Isc) [A]	1.21	1.20

Note: Low irradiance: Air mass 1.5; Irradiance = 200W/m²; cell temp. = 25°C



Allikas: Solarstreet OÜ [19]

SUMMARY

ENERGY PERFORMANCE CERTIFICATE CALCULATION AND OPPORTUNITIES TO INCREASE ENERGY PERFORMANCE ON THE EXAMPLE OF ONNI-NIIDU SINGLE FAMILY DWELLING

Sten Uritam

Language:	Estonian	Figures:	1
Pages:	37	Tables	20
References:	21	Appendixes	5
Keywords:	Energy performance certificate, nZEB		

The objective of this final paper is to calculate the energy efficiency rating for the Onni-Niidu small residence and propose ways of increasing the energy efficiency in order to achieve a near-zero energy class for the building. For this, energy calculations were carried out based on the “Minimum Requirements for Building Energy Efficiency” and the “Method for Calculating Building Energy Efficiency.”

The final paper is divided into three sections, of which the first explains the legislation and requirements related to energy efficiency and low-energy buildings. The second section provides a survey of the general data on Onni-Niidu, the structural aspects of the building and materials that have been used; along with all the stages and calculations required for calculating the energy classification. The third section of the final paper includes solutions for increasing energy efficiency, the results of the calculations based on the changes and an analysis.

Based on the author’s calculations the energy efficiency of the small residence to be built according to the plans is 148 kWh/(m²·a) and the building is assigned the energy class C. The structure conforms to the minimum energy efficiency requirements, but it is not classified as a near-zero energy building. The low energy efficiency is caused primarily by the natural

ventilation, which lacks heat recovery, and the high consumption of electrical power. To achieve a near-zero energy class, the energy efficiency rating must be reduced to 50 kWh/(m²·a) or lower. The author proposes two possible solutions.

In order to reduce the large heat losses caused by natural ventilation, mechanical ventilation with heat recovery should be added to the building's utility systems. Upon the implementation of this solution, the heat losses caused by ventilation would be reduced by 85% and the energy efficiency rating would be reduced to 131 kWh/(m²·a), which is a 11.5% improvement.

In the Onni-Niidu small residence, a geothermal heat pump, which is powered by electricity, is planned for heating the space and the potable water. Electricity is also used for the lighting, household appliances and mechanical heat recovery. All the consumed electricity is supplied by an external network, and therefore the building's energy rating is high. To solve this problem, the author proposes that solar panels, i.e. PV-panels, be installed that would produce electrical power locally. Based on the "Method for Calculating Building Energy Efficiency", the total annual productivity of the panels is 4103.7 kWh. This solution would reduce the supplied electrical power by 60% and achieve an energy efficiency rating of 48 kWh/(m²·a).

The mechanical ventilation with heat recovery and PV-panels for electricity production would achieve a class A energy rating and the Onni-Niidu small residence could be classified as a near-zero energy building, whereby the objective of this final paper would be achieved.

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli diplomi taotlemiseks ning selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi ega diplomit.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjanduslikest allikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Autor:
(Sten Uritam, 05. detsember 2016)

Üliõpilaskood: 110639BDRR

Töö vastab kehtivatele nõuetele.

Juhendaja:
(Martin Kõiv, 05. detsember 2016)

Kaitsmisele lubatud: ”.....” 2016

TTÜ TK kaitsmiskomisjoni esimees:

.....
(nimi, allkiri)