



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

ENERGIATÕHUSUSE JA SISEKLIIMA PARENDAMINE AEDNIKU TEE 20 ERAMU NÄITEL

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND INDOOR CLIMATE ON THE
EXAMPLE OF DETACHED HOUSE IN AEDNIKU ROAD 20

LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Olev Kruusenvald
/nimi/

Üliõpilaskood: 143507BDRR

Juhendaja: Roode Liias, professor
/nimi, amet/

Tallinn, 2018

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. AEDNIKU TEE 20 ASUKOHT JA TUTVUSTUS.....	6
1.1. Aedniku tee 20 tutvustus.....	6
1.2. Hoone energiakulud	9
2. VÄIKEELAMU ENERGIAKLASS	10
2.1. Energiatõhususe miinimumnõuded.....	10
2.2. Kaalutud energiaerikasutuse ja energiatõhususarvu klassi määramine	11
2.3. Soojuserikaod piirdetarindite kaudu	12
2.4. Külmasillad piirdetarindite kaudu.....	15
2.5. Soojuserikaod läbi infiltratsiooni ja ventilatsiooni	16
2.6. Hoone vabasoojused	18
2.7. Tasakaalutemperatuur	22
2.8. Netoenergiavajadus küttele.....	23
2.9. Energiatõhususarv ETA	26
2.10. Kaalutud energiakasutuse KEK leidmine	28
3. LAHENDUSED ENERGIATÕHUSUSE TÕSTMISEKS.....	32
3.1. Ventilatsioon.....	33
3.2. Lokaalne päikeseenergia kasutus	34
3.3. Päikesekollektorid.....	35
3.4. Päikesepaneelid.....	37
3.5. Arvutuste tulemused ja süsteemide tasuvusaeg	41
KOKKUVÕTE	45
VIIDATUD ALLIKAD	47
4. LISAD	49
Lisa 1 Aedniku tee 20, elamu tehnilised näitajad.	49
Lisa 2 Aedniku tee 20, elektritarbimine 2015-2017	50
Lisa 3 Aedniku tee 20, paiknemine ilmakaarte suhtes.....	52
Lisa 4 Aedniku tee 20, välispiirete soojuserikaod - välisseinad.	53
Lisa 5 Aedniku tee 20, välispiirete soojuserikaod - lagi.....	54
Lisa 6 Aedniku tee 20, välispiirete soojuserikaod - põrand.....	55
Lisa 7 Aedniku tee 20, aknad - tootja poolsed andmed	56
Lisa 8 Aedniku tee 20, välisuks – tootja poolsed andmed.....	57
Lisa 9 Aedniku tee 20, lõige	59

Lisa 10 Elamu vaated.....	60
Lisa 11 Õhk-õhk soojuspump – tehnilised andmed.....	61
Lisa 12 Ventilatsiooni seade SAVE VTC 200R – tehnilised andmed.....	62
Lisa 13 Päikesekollektorid ArcticCat – AC Kliima OÜ.....	64
Lisa 14 Päikesepaneelid ArcticCat – AC Kliima OÜ.....	65
Lisa 15 Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamine PVGIS andmebaasi abil.....	66
Lisa 16 Päikesepaneelide kalkulaatorite arvutused	69
SUMMARY	70

SISSEJUHATUS

Aina karmistuvad nõuded hoonete energiatõhususele, tõusvad energiahinnad ja vajadus saavutada suuremat energeetilist sõltumatust, paneb paljud eramu omanikud otsima lahendusi energiakulu vähendamiseks. Säästumeetmed nõuavad aga suuremat ettevõtmist ning kulukaid investeeringuid, seetõttu kaaluvad omanikud hoolikalt, millised tegevused on mõistlikud, et saavutada sääst energiakuludes ning samal ajal tagada elamus mugav sisekliima. Põhilised meetmed, millele tähelepanu pööratakse on hoone soojuskadude vähendamine, tehnosüsteemide optimeerimine ning hoonesse tarnitava elektrienergia vähendamine ehk lokaalne taastuenergia tootmine. Kui aga arvestada Eesti geograafilist asendit, muutlikke kliimatingimusi ning taastuenergia tootmise suurt investeeringut, on paljude hoone omanike suurimaks hirmuks liiga pikk tasuvusaeg.

Käesolevas lõputöös keskendub autor olemasoleva väikeelamu sisekliima ning energiatõhususe parendamisele. Elamu on ehitatud 2006-2007 aastal, mil elamuehituse peamine eesmärk oli müügitulu teenimine, pööramata tähelepanu hoone energiasäästlikkusele.

Antud lõputöö eesmärgiks on koostada energiaarvutused olemasolevale väikeelamule, leida lahendused sisekliima parendamiseks ning pakkuda lahendusi elamu energiatõhususe tõstmiseks.

Antud teema on aktuaalne, sest aina enam pööratakse tähelepanu hoone säästlikkusele ja tulevastele eksploatatsioonikuludele. Täna, kus kinnisvaraturg on pea üle kuumenemas ning kinnisvara ost-müük väga kiire, võib energiasäästlik ja lokaalset taastuenergiat kasutav eramu olla atraktiivsem ning anda parema turupositsiooni teiste samaväärsete seas.

Kuna hoone on olemasolev ning suuremaid ehituslikke ümberehitustöid ei ole planeeritud siis on autor keskendunud hoone õhuvahetuse parendamisele ja konkreetsetele meetmetele energiatõhususe tõstmiseks. Soov on välja selgitada, milliseid lahendusi oleks võimalik ja mõistlik kasutada, kui suur oleks energiasääst kui hoonesse paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteem ning kas ja millist efekti lisaks energiatõhususele lokaalne päikeseenergiajaam. Milliseks kujuneb hoone energiaklass ning kui pikk on investeeringu tasuvusaeg?

Lõputöö uurimisülesanneteks on koguda kokku elamu viimase kolme aasta energiakulud. Seejärel võrrelda erinevaid lahendusi ning nendest tulenevat, võimalikku energiasäästu. Pakkuda välja

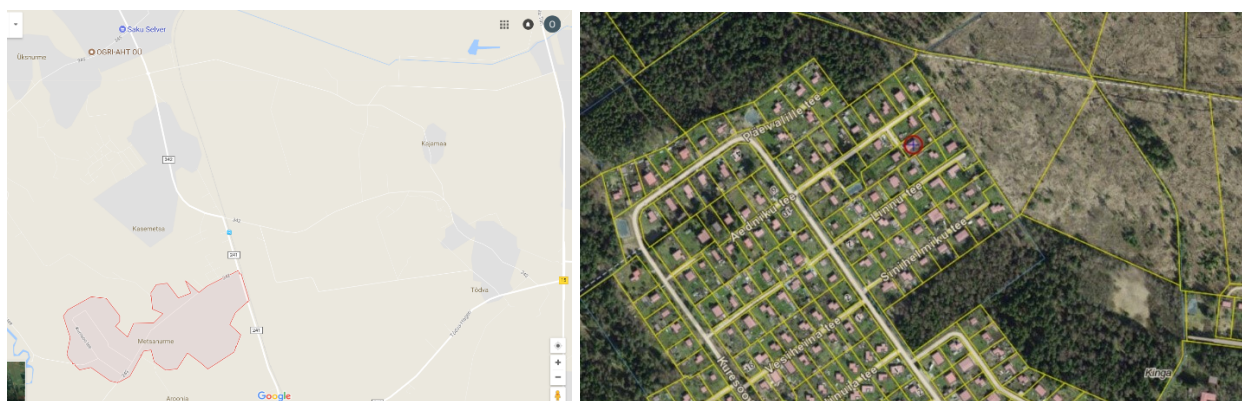
lahendus ventilatsioonisüsteemi, võimalusel päikesekollektori või päikesepaneelide paigalduseks. Seejärel hinnata energiasäästu ja investeeringu tasuvust.

Töö koosneb kolmest osast. Esimeses osas tutvustab autor Metsanurme küla, Aedniku tee 20 eramut, hoone paigutust ilmakaarte suhtes, selle konstruktsioone ja tehnilist lahendust ning annab ülevaate senistest energiakuludest. Teises osas kirjeldab energiatõhususega seotud piirnorme ja nõudeid, määrab uuritava hoone energiamärgise nii arvutuslike tulemuste kui ka reaalsete näitude alusel ning hindab väikeelamu energiaklassi. Kolmandas osas annab ülevaate võimalikest lahendustest, analüüsib antud süsteemide kasumlikkust ning toob välja arvutuslikud tulemused võimaliku energiasäästu ja tasuvuse kohta.

1. AEDNIKU TEE 20 ASUKOHT JA TUTVUSTUS

1.1. Aedniku tee 20 tutvustus

Eramu paikneb Harjumaal, Saku vallas, Metsanurme külas (Joonis 1.1). Kinnistu asub Saku alevikust 5 km ja Tallinna kesklinnast umbes 25 km kaugusel. Metsanurme küla asub Saku valla lõunapoolses osas, Keila jõe kaldal. Põhja suunal on naabriks Üksnurme, idas Kasemetsa ja Kajamaa külad, lõunas Kiisa alevik. Nõukogude aastail rajati enamikule sellest piirkonnast aianduskooperatiivid, mille suvemajakesi nüüdseks ajaks aina rohkem aastaringseks elamiseks ümber ehitatakse. Piirkonda on tekkinud ka mitmeid uuemaid elurajoone. [13] Saku valla elanike registri järgi on Metsanurme püsielanike arv 01.08.2017 seisuga 633, suveperioodil suureneb see aga mitmekordselt. [20]



Joonis 1.1 Metsanurme küla ja Aedniku tee 20 asukoht

Allikas: Google Maps ja Maa-ameti geoportaal

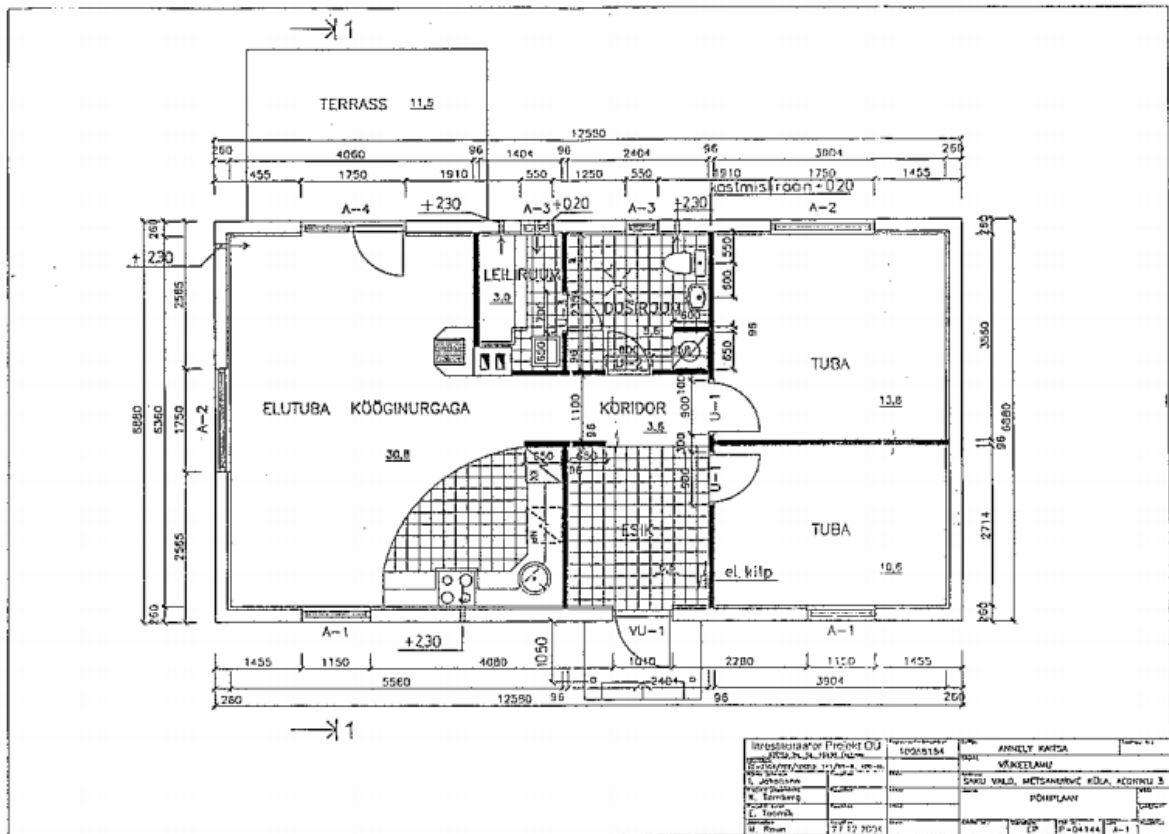
Aedniku tee 20 krundi suurus on 862 m². Krundil lammutati 2006 a. vana aiama ja ning ehitati ühekorruseline puitkarkasshoone, katusekaldega 30°. Hoone asend on ilmakaarte suhtes päikesepaneelide paigalduseks sobilik. Päikesepaneelide paigalduseks on planeeritud kagu poolne katusekülg.



Joonis 1.2 Aedniku tee 20, puitkarkasselamu (vaade läänest ja idast)

Allikas: Autori kogu

Vastavalt elamu tehnilistele andmetele on hoone vundament armeeritud betoonist plaatvundament. Välisseinad puitkarkass konstruktsioonis (150x50 postid sammuga 600mm, jäigastatud diagonaalidega). Seinad on soojustatud klaasvillaga. Siseseinad on metallkarkassil kipsplaadiga kaetud kergseinad, heliisolatsiooniks mineraalvill. Vahelae taladeks on katusesõrestiku alumine vöö, millele on kinnitatud kübarprofiilide abil kipsplaat. Katusesoojustuseks on 400 mm puistevilla. Katus on puitkonstruktsioonis sõrestikul. Sõrestike samm 1200 mm, roovitis 50x50, sammuga 400 mm. Katusekatteks on bituumenlaineplaat (Onduline). Avatäideteks on kahekordse paketi (sisemine selektiivklaas) plastikaknad ja terrassi ukсед. Välisuks on soojustatud puituks. Hoones on esik, avar elutuba kööginurgaga, kaks magamistuba, duširuum-WC ning leiliruum. Hoone põhiplaan on esitatud Joonisel 1.3.



Joonis 1.3 Aedniku tee 20 põhiplaan

Allikas: Autori kogu

Tehnosüsteemid on lahendatud küllaltki ebasäästlikult, kombineeritud on erinevaid küteliike. Hoone elutoas on massiivne küttekamin, leiliruumis puiduküttega keris. Esikusse, duširuumi ja köögi põrandasse on paigaldatud elektriline põrandaküte. Tubadesse on paigaldatud elektriradiaatorid. Hiljem on hoonesse paigaldatud ka õhk-õhk soojuspump (täpsemad andmed on toodud Lisa 11), millele toetub üldjuhul suurem osa elamu küttest. Ventilatsioon on projekteeritud väljatõmbega duširuumist, leiliruumist ja arvestatud on ka kööginurgas oleva pliidikubuga. Õhu juurdevool toimub läbi nn. fresh-klappide. Ühtegi mehaanilist väljatõmbeseadet aga duširuumi realselt paigaldatud ei ole ning pliidikubu on töös vaid toiduvalmistamise ajal. Seega peab tõdema, et hoones on vaid loomulik ventilatsioon läbi fresh-klappide või avatavate akende. Elamusse ehitatud kamin-ahju korsten tekitab rõhkude erinevusel õhuliikumise, kuid kuna siibrid ja õhujuurdevoolu avad on enamasti suletud siis seda ei saa loomuliku ventilatsioonina arvestada. Veevarustus on lahendatud krundile rajatud puurkaevust, sooja vett toodab elektri boiler. Heitveed kogutakse lokaalsesse klaasplastmahutisse (10 m³) ning sadeveed on juhitud kraavide ja torustiku abil lähedal asuvasse piirkonna kuivenduskraavidesse. Hoone ehitusalune pind 80 m² ja suletud netopind 74 m² (täpsemad andmed vt. Lisa 1).

1.2. Hoone energiakulud

Kuna hoone tarbib peamiselt elektrienergiat siis keskendub autor viimase kolme aasta reaalsel tarbimisel põhinevatele elektrienergiakuludele. Olgu ära toodud, et elamu oli sel perioodil igapäevaseks elukohaks peamiselt ühele inimesele. Eesti Energia kodulehe iseteenindusest on alla laetud väljavõtte antud eramu energia kulude kohta (Lisa 2). Väljavõttest selgub, et viimase kolme aasta energia kulud jagunevad öö ja päevase näidu kohaselt üsna võrdselt, samuti on kolme aasta tarbimine püsinud sarnases vahemikus. Autor on koostanud tabeli, kus on kokkuvõtvalt märgitud kolme aasta keskmised energiakulud. (Tabel 1.1).

Tabel 1.1 Energiakulud viimase 3 aasta lõikes

	2015				2016				2017			
	Päev (kWh)	Öö (kWh)	Kokku	Arve	Päev (kWh)	Öö (kWh)	Kokku	Arve	Päev (kWh)	Öö (kWh)	Kokku	Arve
Jaanuar	466	525	991	112,63	601	651	1252	147,44	445,02	469,93	914,95	106,6
Veebruar	390	478	868	99,47	405	482	887	97,01	355,44	424,92	780,36	94,01
Märts	354	435	789	89,21	410	475	885	97,84	359,12	414,23	773,35	78,96
Aprill	250	335	585	68,96	204	283	487	60,03	217,83	353,26	571,09	79,19
Mai	149	279	428	54,52	124,26	217,34	341,6	44,91	197,08	266,66	463,74	55,29
Juuni	123	135	258	38,01	111,57	134,57	246,14	39,48	107,3	140,21	247,51	38,11
Juuli	118	123	241	36,89	80,34	118,46	198,8	33,63	115,34	123,93	239,27	30,76
August	116	130	246	38,33	110,27	116,65	226,92	36,59	99,19	109,2	208,39	27,56
September	149	169	318	45,27	122,04	162,56	284,6	42	168,26	160,73	328,99	42,36
Oktoober	283	359	642	78,57	265,16	328,1	593,26	76,16	243,69	303,25	546,94	63,84
November	310	328	638	77,65	431,95	438,9	870,85	109,61	370,975	383,45	754,425	90,53
Detsember	493	492	985	104,75	416,02	466,32	882,34	102,93	454,51	479,16	933,67	112,04
Elekter kokku/a	3201	3788	6989	844,26	3281,61	3873,9	7155,51	887,63	3133,755	3628,93	6762,685	819,25
* Elektri keskmine hind koos võrgutasudega 0,12 s/kWh												
*ETA - energiatõhususarv, kWh/(m2*a)												
*KEK - kaalutud energiakasutus, kWh/(m2*a)												

Allikas: Autori arvutused

Hoones olevat kaminat köetakse talvekuudel (oktoober – märts), kuid kütmist teostatakse juhuslikult ehk ebaregulaarselt, seetõttu on kaminaküttest saadavat soojusenergiat raske prognoosida. Sooja tarbevee tootmine on elektri boileriga, kuid eraldi arvestit tarbevee soojendamisel ole, seega vajamineva energia arvutuseks kasutab autor keskmist erikulu, mis on väikeelamu kohta on 430 l/(m2·a) ning mille soojendamiseks kuluv energia on 25 kWh/(m2·a). Elektrienergia netoenergiatarve muudeks vajadusteks peale elektrikütte ja tarbevee soojendamise on arvestatud 40 kWh/(m2·a). *juhul kui toiduvalmistamiseks kasutatakse põhiliselt elektrienergiat [8]; Lisa 5.

2. VÄIKEELAMU ENERGIACLASS

Lõputöö teises osas annab autor ülevaade nõuetest, määrab Aedniku tee 20 energiatõhususarvu (ETA) ja kaalutud energiakasutusel (KEK) põhineva energiamärgise ning analüüsib saadud tulemust.

2.1. Energiatõhususe miinimumnõuded

Ehitatav uus või oluliselt rekonstrueeritav olemasolev hoone peab ehituse või rekonstrueerimise järel vastama energiatõhususe miinimumnõuetele. Hetkel kehtivad energiatõhususe miinimumnõuded on vastuvõetud 03.06.2015. Määrus kehtestab miinimumnõuded hoone, sealhulgas madalenergiahoone ja liginullenergiahoone, energiatõhususele. Nõuded esitatakse kasutamise otstarbe järgi elamutele ja mitteamutele. Energiatõhususe nõuded kehtestatakse hoonetele tervikuna ning hoone koosseisu arvatakse energiatõhususarvu arvutamisel lisaks piiretele ja tehnosüsteemidele hoonesse või kinnistule paigaldatud hoonet teenindava lokaalse energiatootmise süsteemid. Energiatõhususarv (ETA) kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks ning see arvutatakse hoone kätava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel. Ehitatava hoone energiatõhusus arv ei tohi hoonete puhul ületada allpool väljatoodud väärtust. [7] (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Väikeelamu energiatõhususarvu piirväärtused

Hoone	Piirväärtused kWh/(m ² a) ehitatav hoone	Piirväärtused kWh/(m ² a) oluliselt rekonstrueeritav hoone	Madalenergiahoone kWh/(m ² a)	Liginullenergiahoone kWh/(m ² a)	Netoenergiahoone kWh/(m ² a)
1. Väikeelamu kätava pind kuni 100 m ²	184	210	120	50	0
2. Väikeelamu kätava pind üle 100 m ²	160	210	120	50	0
3. Korterialamu	150	180	130	100	0
4.					

Allikas: Hoone energiatõhususe miinimumnõuded (7 §3-§8).

Energiatõhususe piirväärtus väikeelamule kuni 100 m² on 184 kWh/(m²·a). Madalenergiahoone energiatõhususarv väikeelamu puhul on väiksem või võrdne 120 kWh/(a·m²). Liginullenergiahoone energiatõhususarv väikeelamu puhul on väiksem või võrdne

50 kWh/(a·m²). Lisaks on eraldi kajastatud ka netonullenergiahoone, mille energiatõhususarv on 0 kWh/(a·m²), kuid see juures võib hoonesse tarnida energiat, kui see kompenseeritakse eksporditud energiaga. [7] Energiatõhususarv näitab hoone energiakulu kilovatt-tundides köetava pinna ruutmeetri kohta aastas – kWh /m²a. Energiatõhususe arvu järgi määratakse ära hoone energiaklass. Energiavajadus ja –tarbimine kantakse skaalale (A-st kuni H-ni), mis aitab võrrelda hoonet sarnaste seas. [8]

2.2. Kaalutud energiaerikasutuse ja energiatõhususarvu klassi määramine

Hoone energiatõhususarvu (ETA) või kaalutud energiaerikasutuse (KEK) klass määratakse kindlaks lähtuvalt energiatõhususarvust, mis on määratud kindlaks määruse nr 36 § 7 [8] alusel, või hoone kaalutud energiaerikasutusest, mis on määratud kindlaks sama määruse § 14 alusel, alljärgnevatelt klasside skaaladelt:

Tabel 2.2 Väikeelamu energiatõhususarvu (ETA) või kaalutud energiaerikasutuse (KEK) klassi skaalaenergiatõhususarvu piirväärtused

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 [14]; Lisa 3

Vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele tõendatakse energiamärgisega. Energiamärgis annab infot projekteeritava või olemasoleva hoone projekteeritud energiavajaduse või tegeliku energiatarbimise kohta. Energiamärgisele lisatakse soovitusel hoone energiatõhususe parandamiseks, välja arvatud kui selliseks parandamiseks puudub mõistlik võimalus. Projekteeritud energiavajaduse kohta antud energiamärgis kehtib kaks aastat hoone valmimisest arvates. Tegelik energiatarbimise kohta antud energiamärgis kehtib kümme aastat. Hiljem antud energiamärgis tunnistab varem samale hoonele või hoone osale antud energiamärgise kehtetuks. [3] . Aedniku tee 20 elamu puhul koostab autor esmalt arvutused energiatõhususarvule (ETA) ning võrdluseks esitab ka kaalutud energiakasutuse (KEK) tulemusi, kasutades viimaseid ka pakutud energiasäästulahendustes ja arvutustes. (Tabel 1.1).

2.3. Soojuserikaod piirdetarindite kaudu

Energiasäästliku hoone kavandamisel on vaja tagada, et hoone soojuskaod oleks väikesed, tehnosüsteemid energiatõhusad ja vabasoojust kasutataks otstarbekalt. Välispiirete soojuserikadu koosneb kolmest komponendist, milleks on piirete juhtivuslikud soojuserikaod, külmasildade soojuserikaod ja õhuleketest tulenev soojuserikadu. Lihtsustatult on võimalik hinnata eluhoone energiatõhusust ka summaarse välispiirete soojuserikao järgi köetava pinna ruutmeetrile. Üldiselt annab piirdetarindite soojuserikao suhe köetavasse pindalasse infot hoone võimaliku kütteenergia erikao kohta. See esmane hindamine võimaldab eramute puhul enne hoone energiatõhususarvu arvutuste jätkamist leida piirdetarindite soojusläbivuse vähendamise võimalusi. Juhul kui eluhoonele soovitakse leida energiatõhususarv, mis on parem kui miinimumsuuruse kriteerium annab, tuleb kütteenergiakulu leidmiseks arvutada välja hoone soojuserikadu. [6]

Hoone soojuserikao leidmiseks tuleb hoone piirdetarindite ja ventilatsiooni soojuserikaod omavahel kokku liita. Selleks kasutatakse järgmist valemit (1): [1]; lk 7

$$H = H_j + H_{ks} + H_{\text{õl}} + H_{\text{vent}} \quad (1)$$

kus

H_j – piirdetarindite juhtivuslikud soojuserikaod (W/K)

H_{ks} – piirdetarindite külmasildade soojuserikaod (W/K)

$H_{\text{õl}}$ – hoone õhulekkest tulenev soojuserikadu (W/K)

H_{vent} – hoone ventilatsioonist tulenev soojuserikadu (W/K)

H – soojuserikaod kokku

Piirete soojusjuhtivuse arvutusmeetodi põhimõtted on järgmised: [22]; lk 14

- 1) arvutatakse piirdetarindi iga soojuslikult homogeenise kihi soojustakistus;
- 2) määratakse üksikute kihtide ja pindade soojustakistuste summeerimisel piirdetarindi kogu soojustakistus;
- 3) arvutatakse piirde soojusjuhtivus, mida korrigeeritakse, arvestades mehaaniliste kinnitite mõju, sademete mõju pööratud katustele, soojustuse õhuerijuhtivuse ja külmasildade mõju.

Soojusjuhtivuse arvutamisel tuleb arvestada tarindi soojuslikku homogeensust. Aedniku tee 20 eramu välispiirded on puitsõrestikseinad, seega on need mittehomogeensed seinad. Soojuslikult mittehomogeensetest kihtidest piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutuse korral tuleb sõrestikpostidest tulenev külmasild täpsema arvutusega arvesse võtta. [6]

Piirde soojusjuhtivus U , $W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga (2): [22]; lk 15

$$U = \frac{1}{Rt}, W/(m^2 \cdot K) \quad (2)$$

kus

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

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus RT , $(m^2 \cdot K)/W$ arvutatakse valemiga (3): [22]; lk 15

$$RT = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, (m^2 \cdot K)/W \quad (3)$$

kus

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

R_{si} - piirdetarindi sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$

R_{se} - piirdetarindi välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$

H_{vent} – hoone ventilatsioonist tulenev soojuserikadu (W/K)

Piirdetarindi iga soojuslikult homogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus arvutatakse:

$$R = \frac{d}{\lambda d}, (m^2 \cdot K)/W \quad (4)$$

kus

d - materjalikihi paksus, m

λd - arvutuslik soojuserijuhtivus, $W(m \cdot K)$ arvestab soojustuse paigalduskeskkonna mõjusid ja selle võib esitada tootja või peab arvutama projekteerija standardi EVS-EN ISO 10456 järgi. [22]; lk 15

Tabel 2.3 Piirdepindade soojustakistused piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamisel

	Soojusvoolu suund		
	Üles (lagi)	Horisontaalne (sein) *	Alla (põrand)
R_{si} , (m ² ·K)/W	0,10	0,13	0,17
R_{se} , (m ² ·K)/W	0,04	0,04	0,04

Allikas: Madalenergia ja liginullenergiahoone kavandamine (2012) [22]; lk 15

Aedniku tee 20 elamu välispiirded on mittehomogeensed. Välispiirete soojajuhtivused (U-arvud) arvutatakse ehitusprojekti andmete alusel. Materjalide arvutuslikud soojaerijuhtivused ning homogeensete ja mittehomogeensete materjalikihtide soojatakistused arvutatakse vastavalt standardile EVS-EN ISO 6946-2004. Mittehomogeensed materjalikihid, mille materjalide soojaerijuhtivused erinevad üle viie korra, arvutatakse külmasildadena. [7]; § 18

Allolevas tabelis (Tabel 2.4) on märgitud autori poolt väljaarvutatud välispiirete soojuserikaod. Arvutuste käiku on võimalik näha Lisas 4, Lisas 5 ja Lisas 6. Uste ja akende U-arvud on võetud tootja poolt esitatud andmetest.

Tabel 2.4 Piirdepindade soojustakistused piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamisel

Piirdetarind	U_i , W/(m ² *K)	A_i , m ²	H juhtivus W/K
Lagi	0,11	74,4	8,18
Põrand	0,14	74,4	10,42
Välisseinad	0,18	76,4	13,75
Aknad	1,3	13,1	17,03
Välisuks	1	2,1	2,1
KOKKU			51,48

Allikas: Autori arvutused

Tulemustest selgub, et esitatud soojuserikaod läbi piirdetarindite mahuvad „Energiatõhususe miinimumnõuete“ järgi määratud soovitusliku skaala piiridesse. Ainukesena ületab väärtusi akende soojuserikadu. Määruse nr 55 [7]; §12 kohaselt peab soojustuse valikul lähtuma sellest, et hoone oleks hea energiatõhususe tasemega ning väikeelamu välispiirde valikul võib esmase lähenemisena lähtuda järgmistest väärtustest:

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

2.4. Külmasillad piirdetarindite kaudu

Välispiirete nurkade ja liitekohtade, lisasoojuskaod võetakse eraldi arvesse geomeetriliste joonkülmasildade lisasoojusjuhtivusega. Soojuserikadu läbi joonkülmasildade arvutatakse vastavalt valemile (5):

$$H_{ks} = \sum \Psi_j \cdot l_j \quad (5)$$

kus,

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

l_j - joonkülmasilla pikkus m.

Tarindi liitekohta ja soojustuse katkestuse soojusläbivuse väärtus määratakse vastavalt ehitusprojekti andmetele. Täpsemate andmete puudumisel võib elamu soojuskao arvutamisel kasutada Tabelis 2.5 toodud väärtusi. [6]

Tabel 2.5 Piirdepindade soojustakistused piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamisel

	Tarindi liitekohta joonsoojusläbivus Ψ , W/(m·K)			
	Uus hoone	Ohuliselt rekonstrueeritud hoone	Rekonstrueeritav hoone	Olemasolev hoone
Välisseina välisnurk	0,2	0,3	0,5	1
Välisseina sisemurk	-0,1	-0,2	-0,2	0,3
Välisseina ja siseseina liitekoht	0,1	0,1	0,2	0,9
Välisseina ja vahelae liitekoht	0,1	0,2	0,3	0,8
Katuse ja välisseina liitekoht	0,2	0,2	0,4	0,4
Põrand-pinnasel ja välisseina liitekoht	0,3	0,3	0,4	0,4
Alt tuulutatud põranda ja välisseina liitekoht	0,3	0,3	0,4	0,4
Akna liitumine välisseinaga (aken soojust. kihis, raam kaetud soojustusega min 40% soojustuse paksusest)	0,1	0,1	0,2	0,2
Akna liitumine välisseinaga (aken kandekonstruktsiooni kihis)	0,2	0,3	0,4	0,5
Rõdu liitumine välisseinaga	0,3	0,5	0,6	0,8

Allikas: Hoone energiatõhususe arvutamise meetoodika (6)

Sellest lähtuvalt on Aedniku tee 20 arvutuslikud soojuserikaod läbi külmasildade esitatud allolevas Tabelis 2.6.

Tabel 2.6 Aedniku tee 20, soojuserikaod läbi külmasildade

Tarindi liitekohta külmasillad			
	Ohuliselt rekonstrueeritud hoone $\Psi, \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Joonkülmasilla pikkus m	Külmasillad H W/K
Välisseina välisnurk	0,3	10	3
Katuse ja välisseina liitekoht	0,2	36,7	7,34
Põrand-pinnasel ja välisseina liitekoht	0,3	36,7	11,01
Akna liitumine välisseinaga (aken kandekonstruktsiooni kihis)	0,3	20,47	6,141
Ukse liitumine välisseinaga (uks kandekonstruktsiooni kihis)	0,2	5,2	1,04
		Kokku	28,53

Allikas: Autori arvutused

2.5. Soojuserikaod läbi infiltratsiooni ja ventilatsiooni

Aedniku tee 20 elamus on projekteerimise käigus ventilatsiooniks arvestatud väljatõmbe ventilaator duširuumi ning vastav kompensatsiooni õhk värskõhu- ehk fresh-klappidest. Reaalselt aga igasugune mehaaniline ventilatsioon puudub ning õhuvahetus toimub loomulikult teel läbi fresh-klappide, vajadusel läbi avatud akende. Loomuliku ventilatsiooni korral toimub ruumis soojendatud õhu ärastus ilma soojustagastuseta. Hindamisel aga ei saa eristada soojuskadusid läbi õhulekke ja ventilatsiooni ilma, et oleks teostatud eraldi kontrollmõõtmisi. Antud hoones seda ei teostata, seetõttu lähtutakse allikas [4], lk 16 toodud õhuvahetuse kordarvust väikeelamutel, milleks on ($n=0,2\dots0,4$ 1/h). See väärtus iseloomustab soojuskadu läbi infiltratsiooni ja ventilatsiooni. Käesoleval hoonel määrame õhuvahetuse kordarvuväärtuseks 0,3 1/h. Soojuserikao määramine ventilatsioonist $Hv+inf$ arvutatakse vastavalt valemile (6): [21]; lk 47

$$Hv,i = Li \cdot \rho \cdot c \quad (6)$$

kus,

Hv,i - ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutuslik soojuserikadu, W/K

Li - arvutuslik õhuvooluhulk köetavas ruumis, m³/s

ρ - õhutihedus ruumi arvutuslikul temperatuuril, (1,2 kg/m³),

c - õhu massisoojus ruumi arvutuslikul temperatuuril, 1005 J/(kg·K)

Ventilatsioonist tingitud soojuserikao leidmiseks tuleb leida kõigepealt soojendatav õhuhulk, milleks kasutatakse valemit (7):

$$L = Ak \cdot n \quad (7)$$

kus,

L – arvutuslik õhuvooluhulk köetavas ruumis, l/s,

Ak – köetava ruumi pindala, 74,4 m² ,

n – õhuvahetuse kordarv 0,42 l/(s·m²)

Hoone piirete ebapiisav õhupidavus väljendub planeerimatu ja kontrollimatu õhuvoolu näol läbi pragude ja ebatiheduste hoone piiretes. Õhu infiltratsioon ja selle mõju sõltub hoonepiirete õhupidavusest, lekkekohtade paiknemisest, õhurõhkude erinevusest kahel pool piiret, kasutatavate materjalide omadustest ja kliimatingimustest. Õhurõhkude erinevust kahel pool piiret põhjustavad tuul, temperatuuride erinevus (nn. korstna efekt) või ventilatsiooni õhuvooluhulkade erinevus. [22], lk 18

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 m³/(h·m²). Hoone infiltratsiooni arvutuslik soojuserikadu on leitav valemiga (8): [6]

$$qi = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot x} \cdot A \quad (8)$$

kus,

qi – infiltratsiooni õhuhulk, l/s,

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

A – hoone välispiirde sisepindala, sealhulgas põranda pindala, m²,

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

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

Ventilatsioonist ning infiltratsioonist tingitud soojuserikad on välja arvatud ning esitletud allolevas Tabelis 2.7.

Tabel 2.7 Aedniku tee 20, soojuserikaod läbi ventilatsiooni ja infiltratsiooni

Infiltratsioon		
Õhulekkearvu baasväärtus q_{50}	6	$m^3/(h \cdot m^2)$
Korruselisuse tegur x	35	-
Välispiirde sisepindala A	76,4	m^2
Infiltreeruv õhuhulk q_i	3,64	l/s

Ventilatsioon		
Õhuvahetuse kordarv n	0,42	$l/(s \cdot m^2)$
Pindala (kõetav) A_k	74,4	m^2
Arvutuslik õhuhulk	31,25	l/s

Soojuserikaod vent; inf		
Õhu tihedus ρ	1,2	kg/m^3
Õhuerisoojus c	1005	$J/(kg \cdot K)$
H vent, inf	42,07	W/K

Allikas: Autori arvutused

Hoone soojuserikao leidmiseks tuleb hoone piirdetarindite ja ventilatsiooni soojuserikaod omavahel kokku liita. Selleks kasutame valemit (1): [1]; lk 7

$$H = H_j + H_{ks} + H_{\text{õl}} + H_{\text{vent}} \quad (1)$$

Vastavalt autori arvutustele on Tabelis 2.8 esitletud Aedniku tee 20 elamu soojuserikaod.

Tabel 2.8 Aedniku tee 20, soojuserikaod

Soojuserikaod	Suurus	Ühik
Piirdetarinditest	51,48	W/K
Külmasildadest	28,53	W/K
Infiltratsioonist	4,4	W/K
Ventilatsioonist	37,68	W/K
Kokku:	122	W/K

Allikas: Autori arvutused

2.6. Hoone vabasoojused

Hoone siseõhu temperatuur tekib kütte- ja vabasoojuse koosmõjul. Vabasoojuse allikateks on inimesed, elektriseadmed, elektrivalgustus, päikesekiirgus. Hoone soojuskaod

tasakaalutemperatuurist kuni ruumi siseõhu temperatuurini kaetakse vabasoojusega ja täiendavat soojust vajatakse alles siis, kui välisõhu keskmine temperatuur on langenud alla hoone tasakaalutemperatuuri. [4]; lk 22

Mida soojapidavam on hoone, seda suurema osa aastasest soojuskaost kompenseerib vabasoojus ja seda vähem kulub kütteenergiat hoone kütmiseks.

Vabasoojuskoormus Φ_{vs} (W/m²) arvutatakse järgmise valemiga (9): [4]; lk 22

$$\Phi_{vs} = \Phi_{in} + \Phi_{el.v} + \Phi_{sead} + \Phi_p \quad (9)$$

kus,

Φ_{vs} – kogu vabasoojuskoormus

Φ_{in} – inimeste keskmine vabasoojuskoormus,

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

Φ_{sead} - seadmetest eraldunud soojus,

Φ_p – päikesekiirguse poolt ruumi toodud soojus,

Inimeste, elektrivalgustuse ning seadmete vabasoojuskoormuse arvutamiseks on hoone energiatõhususe arvutamise metoodikas (Tabel 2.9) välja toodud hoone tüüpiline kasutus ja sellele vastav suurim vabasoojuskoormus köetava pinna ruutmeetri kohta [6]; § 6

Tabel 2.9 Hoone tüüpiline kasutus ja sellele vastav suurim vabasoojus köetava pinna ruutmeetri kohta

Hoone kasutusotstarve	Kasutusaeg			Kasutus-aste	Valgustus ^a W/m ²	Seade W/m ²	Inimene ^b W/m ²	Inimene m ² /inim.
	Kellaaeg	h/24h	d/7d					
Väikeelamu	00:00–00:00	24	7	0,6	8 ^c	2,4 ^d	2	42,5

Allikas: Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika (6; § 6)

^b inimese soojuseraldus sisaldab ainult ilmsset soojust. Varjatud soojuse arvesse võtmiseks tuleb toodud väärtused jagada läbi teguriga 0,6.

^c elamu valgustuse kasutusaste on 0,1.

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

Kasutusaste on keskmine valgustuse ja seadme kasutusaste ning inimese kohal viibimine hoone kasutusaja jooksul. Energiaarvutuse jaoks korrutatakse suurim soojuseraldus kasutusastmega. Valgustuse või seadme või inimese aastane soojuseraldus Q ; kWh/(m²·a) arvutatakse järgmise valemiga (10): [6]; § 6

$$Q = kP \cdot \frac{\tau_d}{24} \cdot \frac{\tau_w}{7} \cdot \frac{8760}{1000} \quad (10)$$

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

Vabasoojuskooormus tulenevalt seadmetest, valgustitest ja inimestelt, on arvatud „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ [6]; § 6 juhendis esitatud hoone soojuseralduse väärtuste, lähtuvalt kasutusotstarbest, ja nende kasutusastme tegurite järgi. P (W/m²) ning neile vastavate kasutusastmete k korrutiste summa on kogusoojuseraldus pinnauhiku kohta ΣkP W/m², mis on leitud valemiga (11):

$$\Sigma kP = \text{valgustus} \cdot 0,1 + \text{seadmed} \cdot 0,6 + \text{inimesed} \cdot 0,6 \quad (11)$$

Sellest tulenevalt $\Sigma kP = 8 \cdot 0,1 + 2,4 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0,6 = 3,44$ W/m²

Sisemised vabasoojused on leitud valemiga (12):

$$\Phi_{\text{sisemised}} = \Sigma kP \cdot A_{\text{kõetav}} \quad (12)$$

Seega seadmetest, valgustusest ja inimestest vabanevad soojused on:

$$\Phi_{\text{sisemised}} = 3,44 \cdot 74,4 = 255,9 \text{ W}$$

Akendest sisenev päikese kiirgusenergia muutub tahke pinnaga kokku puutudes soojuseks ning tõstab selle temperatuuri. Vabasoojust päikesest arvutatakse valemiga (13): [4]; lk 22

$$\Phi_{\text{päike}} = \Sigma \Phi_{\text{ilmakaar}} \cdot e \cdot K_{\text{klaas}} \cdot K_{\text{kardin}} \cdot g \cdot A_a \quad (13)$$

kus,

e – varjutegur, kui täpsem info puudub, siis kasutatakse 0,75,

K_{klaas} – klaasipinna osakaal kogu aknast, tavaliselt 0,8...0,9 ,

K_{kardin} – kardinat mõju akna valgusläbivusele, tinglikult 0,9 ,

g – klaasiosa päikesekiirguse läbivustegur (oleneb klaaside omadusest), 0,75 ,

A_a – akna pindala koos raamiga m^2 ,

Φ ilmakaar – päikese keskmine kiirgusvoog akna pinnale olenevalt ilmakaarest W/m^2 (Tabel 2.10)

Tabel 2.10 Keskmine päikesekiirguse voog akna välispinnale olenevalt ilmakaarest

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

Allikas: Korterehamute energiaauditite koostamise juhend (4; lk 22)

Sellest tulenevalt on koostatud arvutused päikese poolt toodetud vabasoojusele (Tabel 2.11)

Tabel 2.11 Elamu vabasoojuskoormus päikesest

Ilmakaar	Aknaava pindala A , m^2	Aknaraami arvestav varjestustegur $K_{kl.osa}$	Kardinaid arvestav varjestustegur K_{kard}	Varjetegur e	Valguse läbivustegur g	Ilmakaarest tulenev soojusvoog Φ ilmak, W/m^2	Päikese soojuskoormus Φ_p , W
Kirre	2,54	0,8	0,9	0,75	0,75	32	32,92
Kagu	7,2	0,8	0,9	0,75	0,75	57,9	168,84
Edel	0	0,8	0,9	0,75	0,75	57,6	0,00
Loe	3,36	0,8	0,9	0,75	0,75	31,7	43,14
Kokku	13,1						244,89

Allikas: Autori arvutused

Kogu vabasoojust ei kasutata küttesüsteemi tasakaalustamiseks. Vastavalt küttesüsteemi automatiseeritusele kasutatakse utiliseerimistegureid 0,55 (kui soojussõlmel on väljas asuv temperatuuriandur) ja 0,7 (kui radiaatorid on varustatud temperatuuri regulaatoritega). Aedniku tee 20 elamu on varustatud elektriradiaatoritega, seega tuleb arvutusliku vabasoojuse tulemläbi korrutada utiliseerimisteguriga 0,7. Sellest tulenevalt on hoone vabasoojuskoormused järgmised: [4]; lk 23

- 1) Vabasoojus päikesest 244,89W

2) Vabasoojus valgustusest, seadmetest, inimestest 255,9W

Kokku 500,79W, mis tuleb läbi korrutada utiliseerimisteguriga 0,7, saades hoone ööpäeva keskmiseks vabasoojuseks 350,55W. Aastane keskmine vabasoojuskoormus seega $350,55 \cdot 365/1000 = 128 \text{ kWh/a}$.

2.7. Tasakaalutemperatuur

Hoone küttenegiakulu leidmiseks tuleb leida alustuseks hoone tasakaalutemperatuur kraadpäevades (väljendab $1 \text{ }^\circ\text{C}$ erinevust arvestusliku siseõhu temperatuuri ja ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri vahel. Hoone tasakaalutemperatuuri arvutamisel lähtutakse kogu soojuserikaost ja utiliseeritavast vabasoojusest. Temperatuuri tõus Δt_{vs} vabasoojusest arvutatakse valemiga (14): [4]; lk 22

$$\Delta t_{vs} = \Phi_{vs}/H \quad (14)$$

kus,

Δt_{vs} – siseõhu temperatuuri tõus hoone soojusbilansis osaleva vabasoojuse arvel
 Φ_{vs} - keskmine vabasoojuskoormus, W

H – soojuserikaod, W/K

Sellest tulenevalt $\Delta t_{vs} = 350,55/121,87 = 2,88 \text{ }^\circ\text{C}$

Vabasoojusest tingitud siseõhu temperatuuri tõusu järgi on võimalik arvutada tasakaalutemperatuur. Vastavalt energiatõhususe miinimumnõuete lisas [7]; „Lisa“ välja toodud energiaarvutustes kasutatavate ruumitemperatuuri seadeväärtustele on arvestatud väikeelamu ruumitemperatuuriga $21 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$t_B = t_{\bar{o}} - \Delta t_{vs} \quad (15)$$

kus,

t_B – tasakaalutemperatuur, $^\circ\text{C}$

$t_{\bar{o}}$ – siseõhutemperatuur, $^\circ\text{C}$

Δt_{vs} – vabasoojusest tingitud temperatuuri tõus, $^\circ\text{C}$

Sellest tulenevalt $t_B = 21 - 2,88 = 18,12 \text{ }^\circ\text{C}$

Tasakaalutemperatuurile 18 °C vastav kraadpäevade arv on 3739. [11] Kui tasakaalutemperatuur on leitud, saab edasi arvutada hoone netoenergiavajaduse hoone kütteks.

2.8. Netoenergiavajadus küttele

Kraadpäevade ja eelnevalt arvatud soojuserikadude järgi saab leida hoone soojuskasutuse järgmise valemiga (16): [21], lk 63

$$Q_k = H \cdot S \cdot 24 \cdot 10^{-3} \quad (16)$$

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 sissepuhke temperatuurilt ruumitemperatuurini. [6]; § 10 Aedniku tee 20 kütte netoenergiavajaduse arvutused on välja toodud Tabelis 2.12.

Tabel 2.12 Elamu kütte netoenergiavajaduse arvutused

Kütte netoenergia vajadus	Soojuserikaod W/K	kraadpäevad	Netoenergia vajadus kWh/a
Piirdetarinditest	51,48	3739	4619,6
Külmasildadest	28,53	3739	2560,2
Infiltr.	4,4	3739	394,8
Vent.	37,68	3739	3381,25
Kokku:	122,09		10955,85

Allikas: Autori arvutused

Kütte netoenergia vajadusele lisatakse ka hoone tarbevee soojendamiseks vajaminev energia, mis on väikeelamu kohta on 430 l/(m²·a) ning mille soojendamiseks kuluv energia on 25 Wh/(m²·a). Arvutuslik aastane tarbevee soojendamiseks kuluv energia on: 25 · 74,4=1860 kWh/a. Seega on

Aedniku tee 20 elamu arvutuslik kütte ja tarbevee soojendamiseks kuluv netoenergiavajadus:
 $10955,85 + 1860 = 12815,85 \text{ kWh/a}$

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 meetodika“ tabelis 8 [6]; § 14, p.10 toodud andmeid. Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegur ning abiseadme elektritarbimine arvutatakse simulatsioonarvutusega või kasutatakse Tabelis 2.13 toodud andmeid. [6]; § 14

Tabel 2.13 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

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

Allikas: Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika [6]; § 14

Soojuspumpsüsteemi arvutus põhineb soojusteguril, mis näitab mitu kWh soojusenergiat saadakse soojuspumbaga ühest kWh elektrienergiast. Soojuspumba töötamine kombineeritud

küttesüsteemi osana võetakse arvutuses arvesse, kui osa küttevajaduse tipuvõimsustest kaetakse muu soojusallikaga (näiteks elektrilise küttekehaga või ka õli- või gaasikatlaga). Vee- või pinnaseenergiast soojusenergiat tootev maasoojuspump võib katta küttevõimsuse vajaduse osaliselt või täielikult. Muud soojuspumpa käsitletakse alati ühe osana kombineeritud küttesüsteemist, mis täidab kogu küttevõimsuse vajaduse osaliselt. Kuni 12 kW õhk-õhk soojuspumbale võib teha elektrienergiakasutuse arvutuse aasta keskmise soojusteguriga, millena kasutakse seadme energiamärgises toodud kõige külmema kliima SCOP arvu. SCOP arv eeldab, et õhk-õhk soojuspump on dimensioneeritud $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ välistemperatuurile vastavale võimsusele. [6]; § 16. Aedniku tee 20 elamusse on paigaldatud õhk-õhk soojuspump (Lisa 11), mille soojusteguriks tootja poolsete tehniliste andmete järgi on $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ puhul 2,9. SCOP arvu ei ole andmetes määratud, sellest lähtuvalt kasutab autor arvutustes andmete järgi kõige madalamat soojustegurit 2,9. Elamus on kasutatud kombineeritud kütet. Talvisel perioodil katab küttevajaduse umbes 30% ulatuses kamin-ahi. Kui lahutada arvestuslikult kamin-ahju kütmisest tulenev soojuskoormus (30% $\sim 3287\text{ kWh/a}$) ning arvestada eelnevalt arvatud vabasoojuskoormustega siis elektril põhinev küte on autori hinnangul jagatud järgmiselt:

- 1) Õhk-õhk soojuspump 70% 5368,2 kWh/a
- 2) Elektriküte (radiaatorid) 15% 1150,4 kWh/a
- 3) Elektri põrandaküte 15% 1150,4 kWh/a

Selle alusel on autor koostanud elektritarbimise arvutused Tabelis 2.14

Tabel 2.14 Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurid ning seadmete elektritarbimine

	Ruumide kütte SP 70%	Elektriradiaatorid 15%	Elektri- põrandaküte 15%	Soe tarbevesi	Ühik
Soojustegur	2,9	0	0	0	-
Jaotus- ja väljastustegur	1	1	1	1	-
Netoenergia vajadus	5368,2	1150,4	1150,4	1860	kWh/a
Elektri kulu	1851,1	1150,4	1150,4	1860	kWh/a
Küttesüsteemi lektrienergia kasutus kokku	6011,9				kWh/a

Allikas: Autori arvutused

Tabelis 2.14 on autori arvutusel põhinev hoone elektrienergiakasutus, kus on arvestatud ruumide kütte, ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamist. Arvutustest lähtudes on Aedniku tee 20 elamu kogu küttele kuluva elektrienergia kasutus 6012 kWh/a.

2.9. Energiatõhususarv ETA

Energiatõhususarv arvutatakse tarnitud energiatega põhjal, võttes arvesse energiakandjate kaalumistegurid. Tarnitud energiad tuleb summeerida energiakandjate kaupa ja siis see summa läbi korrutada vastava energiakandja kaalumisteguriga. Kaalumisteguritega läbikorrutatud tarnitud energiad tuleb summeerida ning seejärel see summa jagada köetava pinnaga. Saadud jagatise saadaksegi energiatõhususarv. [22]; lk 11

Kehtivad energiakandjate kaalumistegurid on järgmised:

- 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.

Ahju ning soojust salvestava ja välisõhu saamiseks põlemisõhukanaliga varustatud kamina võib energiaarvutuses arvesse võtta kombineeritud küttesüsteemi osana. Energiaarvutuses ei võeta arvesse: [6]; § 8

- 1) ahju, mis kasutab põlemisõhuks ruumiõhku ning pole põhikütteseade,
- 2) kaminat, mis kasutab põlemisõhuks ruumiõhku või millel on soojust mittesalvestav otsene lõõr,
- 3) puukütteil kerist,
- 4) Ahju ja kamina soojusväljastuse arvutamisel lähtutakse sellest, et nende kütmine toimub üks kord ööpäevas.

Aedniku tee 20 kamina-ahju kütmisel kasutatakse põlemisel ruumi õhku ning kütmine on ebaregulaarne, seetõttu ei kasuta autor energiatõhususe arvutustes kamin-ahju ega kerisest tulenevat soojusenergiat.

Kuna hoones kasutatakse peamiselt elektrit siis kasutab autor kaalumistegurina 2,0 väärtust.

Energiatõhususarv leitakse valemiga (17): [6]; § 30

$$ETA = \frac{\sum_i (E_{tar,i} - E_{eks,i}) f_i}{A_{kõetav}} \quad (17)$$

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,

$A_{kõetav}$ – köetav pind, m².

Elektrienergia netoenergiatarve muudeks vajadusteks peale elektrikütte ja tarbevee soojendamise on arvestatud 40 kWh/(m²·a) ehk $40 \cdot 74,4 = 2976$ kWh/a

$$ETA = \frac{6012 + 2976}{74,4} \cdot 2 = 241,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Lähtuvalt eelnevast on Aedniku tee 20 kogu arvutuslik elektrienergia kasutus 8988 kWh/a ning energiatõhususarv vastavalt ülal toodud arvutusele 241,6 kWh/(m²·a).

Aedniku tee 20 ehitati 2006 a ja kasutusluba väljastati 2007 a. Kuigi sellel ajal veel energiamärgist ei nõutud, oleks hoone energiatõhususe arvutamisel kasutatud elektri kasutegurina 1,5. Siis oleks energiatõhususarv olnud 181,2 kWh/(m²·a). Autori arvutustest selgub, et elamu ehituse ajal kuulus Aedniku tee 20 Tabel 2.2 välja toodud energiatõhususarvu klassi skaala järgi klaasi „D“ ning vastas napilt miinimumnõuetele, kuid tänasega kuulub elamu energiaklassi „E“, mis ületab oluliselt miinimumnõude piirväärtuse.

2.10. Kaalutud energiakasutuse KEK leidmine

Aedniku tee 20 on elamuna kasutuses olnud 10 aastat, seega on autor lisaks koostanud kaalutud energiakasutuse arvutused. Vastavalt tegelikele näitudele on 3 aasta keskmine elektrienergia kasutus 6968 kWh/a. Lihtsustatud tabelarvutused vastavalt tegelikele näitudele (Tabel 1.1) on välja toodud järgnevalt. [25]

$$KEK = \frac{\text{elekter}(\text{kWh/a})}{\text{kõetav pind}(\text{m}^2)} \cdot 2 \quad (18)$$

1) Sooja vee tarbimise osa elektrikulust 25 kWh/(m²·a) (~26%)

Aasta	Protsent	Kulu (kWh/a)
2015	0,26	6989 · 0,26=1817,1
2016	0,26	7155 · 0,26=1860,3
2017	0,26	6762 · 0,26=1758,1

2) Muu tarbitud elektrienergia 40 kWh/(m²·a) (~42%)

Aasta	Protsent	Kulu (kWh/a)
2015	0,42	6989 · 0,42=2935,4
2016	0,42	7155 · 0,42=3005,1
2017	0,42	6762 · 0,42=2840

3) Kütte osa elektrikulust (~ 32%)

Aasta	Protsent	Kulu (kWh/a)
2015	0,32	$6989 \cdot 0,32=2236,5$
2016	0,32	$7155 \cdot 0,32=2289,6$
2017	0,32	$6762 \cdot 0,32=2163,8$

4) Eelnevale andmetele lisaks on arvesse vaja võtta ka, kui külmad või soojad olid need aastad võrreldes keskmise ehk normaalaastaga. Selleks kasutatakse kraadpäevade mõistet, mille kohta leiab infot Kredex-i kodulehelt. Kraadpäevade arv Tallinna kohta tasakaalutemperatuuril 18 °C [11]

Aasta	Kraadpäevi
2015	3838
2016	4187
2017	3739
Normaalaasta	4220

5) Normaalaastale taandatud mõõdetud energiakulu elektriküttele

Aasta	Kulu (kWh/a)	Arvutus (elekter)
2015	2459,1	$2236,5 \cdot 4220/3838$
2016	2307,6	$2289,6 \cdot 4220/4187$
2017	2442,2	$2163,8 \cdot 4220/3739$

6) Kolme aasta keskmise elamu aastane normaalaastale taandatud elektrikulu küttele, kulu sooja tarbevee soojendamiseks ja kulu muuks elektritarbimiseks (seadmed, valgustus).

Aasta	Kulu (kWh/a)	Arvutus
Küte (elekter)	2403	$(2459,1+2307,6+2442,2)/3$
Soe tarbevesi	1811,8	$(1817,1+1860,3+1758,1)/3$
Muu tarbitud elekter	2926,8	$(2935,4+3005,1+2840)/3$

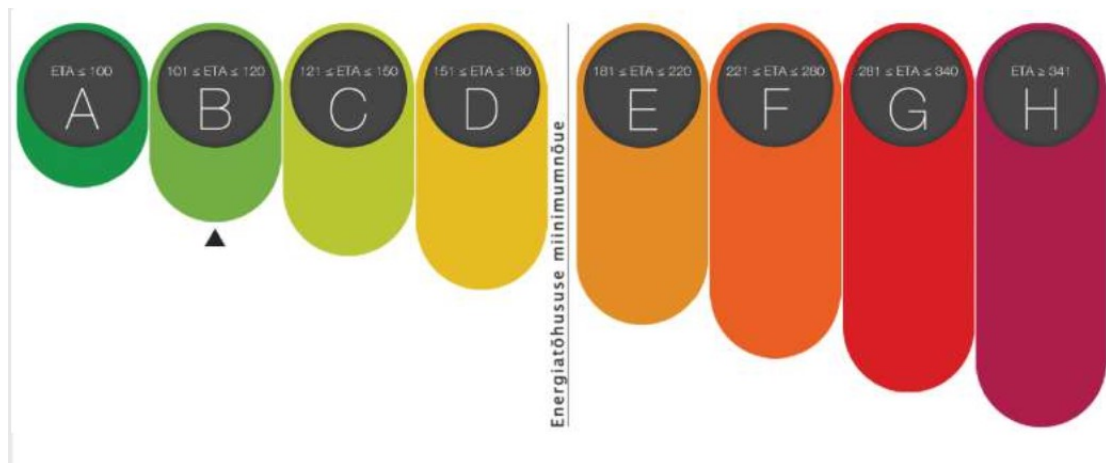
7) Kaalumisteguriga läbi korrutatud soojuse kulu (2007a =1,5 ; 2017a =2,0)

Aasta	Kulu (kWh/a)	Kaalumistegur	Kulu*kaalumistegur (kWh/a)
Küte (elekter)	2403	1,5 / 2.0	3604,5 / 4806
Soe tarbevesi (elekter)	1811	1,5 / 2,0	2717,7 / 3623,6
Muu tarbitud elekter	2926,8	1,5 / 2,0	4390,2 / 5853,6

8) Kolme aasta keskmine hoone kaalutud energiakasutus (KEK) (2007 ja 2017)

Kulu (kWh /m ² a)	Klass	Arvutus
144	2007 „C“	(3604,5+2717,7+4390,2)/74,4
192	2017 „D“	(4806+3623,6+5853,6)/74,4

Arvutustest selgub, et kaalutud elektrienergiakasutuse järgi 192 kWh/m²a kuulub hoone energiaklassi „D“ ning ei vasta kahjuks isegi väikeelamu (kuni 100 m²) energiatõhususe piirväärtusele. Hoone energiamärgis on oluline kriteerium, kui soovitakse elamut müüa või näiteks kasutada Kredex-i toetust väikeelamute energiatõhususe suurendamiseks. Samuti tunnevad aina rohkem huvi energiamärgise vastu pangad. Kui omanik hoonet müüa ei soovi siis ei ole energiamärgis nii oluline. Inimesed on erinevate harjumustega ning palju sõltub sellest, milliseid mugavusi ja temperatuure ruumis soovitakse ning kui suur on perekond ehk elanike või hoone kasutajate arv. Kui aga elamut soovitakse müüa siis soovib uus omanik teada, millised saavad olema uue elukoha energiakulud ning milliste võimalike täiendavate kuludega ta peaks tulevikus arvestama. Energiämärgise skaala näitab kui palju võib energiakasutus kõikuda – G klass vastab kõige kehvemas seisundis olevatele hoonetele, D klass on olulise rekonstrueerimise miinimumnõue, C klass uute hoonete miinimumnõue ja A klass liginullenergiahoonete nõue.[10]



Joonis 4. Energiamärgise tähised

Allikas: Hoonete energiatõhusus ja kaalumistegurid. (10)

Seega on energiamärgis elamu müügi korral vajalik ning mida madalamad energiakulud seda parema on energiaklass ning sellest tulenevalt ka väärtuslikum maja.

Aedniku tee 20 elamule on ehitusluba väljastatud 2006 aastal ning kasutusluba 2007 aastal. Sellel ajal oleks kehtinud antud hoone puhul ehitusaegne kehtiv energiaklass, milleks on kaalutud elektrienergia kasutuse 144 kWh/m²·a järgi klass „C“. Tänapäeva nõude järgi aga 192 kWh/m²·a klass „D“, mis tänapäeva mõistes ei vasta isegi väikeelamu energiatõhususe soovituslikele piirnormidele. Seetõttu on vajalik otsida võimalusi hoone energiatõhususe parandamiseks.

3. LAHENDUSED ENERGIATÕHUSUSE TÕSTMISEKS

Energiatõhusust saaks olemasolevas hoones parandada mitmel moel. Kuna üldehitustöid (välispiirete soojustamine) ei ole plaanis teostada siis keskendub autor peamiselt ventilatsiooni parendamisele ning kaalub ka elamule päikesekollektorite või päikesepaneelide paigaldust. Hoone kütte on lahendatud suuresti elektrienergiaga, seega on päikesepaneelide kasutus Aedniku tee 20 elamus vägagi aktuaalne teema. Järgnevalt on esitatud autori hinnanguline Aedniku tee 20 senise elektrienergia kulude jaotus (Tabel 3.1)

Tabel 3.1 Aedniku tee 20 senine elektrienergia tarbimine

	Keskmine kaalutud elektrikulu kWh/a
Elektriküttele kuluv energia	1622,6
Ventilatsiooniõhu soojenemiseks kuluv energia	702,5
Infiltratsiooniõhu soojenemiseks kuluv energia	78,1
Tarbevee soojendamiseks kuluv energia	1811
Valgusele ja seadmetele kuluv energia	2926,8
Kokku	7141

Allikas: Autori arvutused

Esmaseks sammuks soojuskadude vähendamiseks on paigaldada efektiivse soojustagastusega mehaaniline ventilatsioonisüsteem. Ventilatsioonisüsteemi paigaldamisega on võimalik tagada nõuetekohane õhuvahetus ning samas ka säästa elektrienergiat värskeõhu-klappidest tuleva õhu soojendamiseks.

Aedniku tee 20 hoone tarbevee soojendamine, kütte, olmeseadmed ning valgustus kasutavad kõik töötamiseks elektrit. Kui kasutada lokaalse energiatootmise süsteemi, on võimalik sellega katta hoonesse tarnitava elektrienergia kogust, mis vähendab oluliselt ka energiatõhususarvu. Teise võimalusena näeb autor sooja tarbevee kütmiseks kuluva energia kokkuhoidu päikesekollektorite paigalduse näol.

Järgnevalt pakub autor lahendused elamu energiatõhususe tõstmiseks. Arvutustes on lähtutud „Hoone energiatõhususe arvutamismetoodikas“ välja toodud arvutuspõhimõtetest. Hoonesse on

valitud autori hinnangul sobiv ventilatsiooniseade. Päikesepaneelide ning - kollektorite müügi ja paigaldusega tegelevate ettevõtete info põhjal on koostatud autori poolsed arvutused, arvestades tootja poolseid tehnilisi näitajaid.

3.1. Ventilatsioon

Et parandada elamu sisekliimat on elamusse vajalik paigalda energiasäästlik ning väga hea soojustagastusega ventilatsioon. Lisaks korralikule õhuvahetusele tagab efektiivne soojustagastus ka väljast tuleva õhu kütmisele kuuluva energia kokkuhoiu. Ventilatsioonisüsteemi ventilaatorid ja eelsoojendus tarbivad õhu transportimiseks elektrit. Tõhusa soojustagastusega hoonetes võib ventilatsioonisüsteemile vajalik aastane elektri kogus sageli osutada suuremaks ventilatsioonisüsteemi poolt tarvitavast soojusest. Ventilatsioonisüsteemi elektrikasutuse efektiivsust iseloomustab ventilatsioonisüsteemi elektri erivõimsus, mida tähistatakse tähekombinatsiooniga SFP (ingl *specific fan power*). Mida väiksem on SFP, seda väiksem on ka elektri kasutus.[22]; lk 51. Väikeelamute ventilatsiooniseadmetes kasutatakse soojuse tagastamiseks väljatõmmatavalt õhult sisse puhutavale õhule rootor- ja plaatsoojustagasteid. Energiatõhususarvu määramisel lähtutakse soojustagasti temperatuuri suhtarvust, sissepuhkeõhu temperatuurist ja soojustagasti jäätumise piiramisest minimaalse heitõhu temperatuuri määramisega. Kvaliteetsete ventilatsiooniseadmete temperatuuri suhtarv on $\eta = 0,8$ või natuke suurem. Minimaalne heitõhu temperatuuri väärtus sõltub soojustagasti tüübist ja on tootja andmete puudumisel vastuvoolu plaatsoojustagastitele $+5^{\circ}\text{C}$ ja rootorsoojustagastitele 0°C . [12]; lk 37 Ruumi ülekuumenemise vältimiseks valitakse sissepuhkeõhu temperatuur ruumi temperatuurist madalam (üldjuhul 18°C). [6]; § 18.

Aedniku tee 20 ventilatsioonisüsteemi välisõhu vooluhulgana kasutas autor eelnevates energiaarvutuses $0,42 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$, kuid seadmevalikul on järgmistes arvutustes lähtutud ventilatsiooni normatiivarvudest, mille järgi on autor määranud Aedniku tee 20 elamu ventilatsiooni vajalikuks õhuhulgaks $50 \text{ l}/\text{s}$ ehk $0,67 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$. Seadmete hulgast on autor valinud ettevõtte Systemair AS toote SAVE VTC 200 R, mille energiaklass on tehniliste andmete järgi A+ ning soojustagastus ulatub 90%-ni. Seadme tehnilised andmed on välja toodud Lisas 12. Seade töötab automaatselt vastavalt seadistatud programmile, millega tagatakse nõudluspõhine ja nõuetekohane õhuvahetus. Vajaduspõhise õhuhulga reguleerimisega hoitakse elektrienergia kulu minimaalne.

Väikeelamu ja korteri ventilatsiooniseadme, mille õhuvooluhulk on alla 0,25m³/s, elektrienergiakasutus E_v (kWh/a) arvutatakse järgmise valemiga (19): [6]; § 19

$$E_v = P_{vs} \cdot t_{vsn} \cdot x_p \quad (19)$$

kus,

E_v – ventilatsiooniseadme elektrienergiakasutus, kWh/a,

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

t_{vsn} – ventilatsiooniseadme aastane töötamisaeg, 8760 h,

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

Aedniku tee 20 hoonesse valitud seadme elektrienergiakasutus 50 l/s korral oleks seega: $E_v = 0,068 \cdot 8760 \cdot 1 = 595,7$ kWh/a. Kui seadet kasutada vaid vajaduspõhiselt saaks aastast tööaega vähendada pea poole võrra ehk 5664 tunnini. Siis oleks elektrienergiakasutus 385,2 kWh/a. Võrreldes, eelneva elektrienergiakuluga, väheneb elamu aastane ventilatsioonile kuluva elektrienergia kasutus 45 %. Aastane kogu energiakasutus oleks 6823,7 kWh ning kaalutud energiakasutus peale soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi paigaldust 183,4 kWh/m²·a. See tähendab, et peale soojustagastusega ventilatsiooni paigaldust oleks Aedniku tee 20 väikeelamu soovituslik energiatõhususe miinimum nõue (184 kWh/m²·a) täidetud.

3.2. Lokaalne päikeseenergia kasutus

Päikesepaneelide paigaldus kogub Eestis aina rohkem populaarsust. Päikesepaneelide areng on väga kiire ning järjest tõhusamaks muutuvad päikesepaneelid leiavad kasutust aina rohkem ka Eesti kliima tingimustes. Päikese näol on tegemist kiirgusliku soojusallikaga, mille energiat saab väikeelamus kasutada kolmel põhimõttel: [22]; lk 41

- 1) läbi akende ruumi tulev päikeseenergia (vabasoojus) kütab kütteperioodil ruume;
- 2) päikesekollektorid, mis toodavad soojust;
- 3) päikesepaneelid, mis toodavad elektrit ehk nn. PV-paneelid.

Aedniku tee 20 elamu puhul soovib autor kaaluda ja kalkuleerida nii päikesekollektorite kui ka päikesepaneelide paigaldust.

3.3. Päikesekollektorid

Soojust tootvad päikesekollektorid jagunevad lame- ja vaakumkollektoriteks. Väikeelamute soojusvarustuseks võib kasutada mõlemat tüüpi. Väikeelamu küttevajadus ja kollektorile tulev päikesekiirgus on aasta arvestuses vastas-faasis. Talvel on soojusvajadus suur, aga päikesekiirgust vähe, suvel vastupidi. Seetõttu ei saa Eesti kliimas kasutada päikesekollektoreid väikeelamu põhilise kütteallikana. Päikesekollektorid sobivad igati väikeelamu sooja tarbevee valmistamiseks. Aastasest tarbevee soojusest võib õigesti ja optimaalselt paigaldatud süsteemiga (päikesepaneelid ja sooja vee salvestuspaak) katta ligikaudu 50...70%. Päikesekollektorist saadav soojus ei ole pidevalt ühtlane, vaid ajas muutuv suurus ja sõltub põhiliselt atmosfääri pilvisusest, aastaajast ning kellaajast, kuid ei ole sõltuvuses hoone soojuse kasutusest. Sooja vett võib minna vaja ka näiteks pimedal ajal. Seetõttu on päikesekollektorite süsteemis vaja sooja vee salvestuspaaki, mis salvestab saadavat energiat. Kollektorite ja salvestuspaagi vahel tsirkuleeriv vedelik peab olema külmumiskindel. [22]; lk 42

Päikesekollektoriga toodetud soojusenergia arvutatakse asjakohase tarkvaraga, mis peab võimaldama kollektori ja süsteemi soojuskao, salvestuspaagi laadimise iseärasuse, hoone soojuskasutuse, kollektori pinnale langeva päikese kiirgusvoole varjude mõju arvesse võtmist ning kasutada seadme tootja poolt antud tehnilisi ja Eesti energiaarvutuste baasaasta kliima parameetreid. Täpsemate andmete puudumisel võib kasutada kollektorist saadava sooja tarbevee soojuse arvutamiseks valemit (20): [6]; § 27

$$Q_{kol} = 210 \cdot A_{kol} \cdot k_{ik} \cdot k_{nurk} \quad (20)$$

kus,

Q_{kol} - päikesekollektorist saadav aastane soojatarbevee soojus kWh/a;

210 on kollektori poolt toodetud soojusenergia kollektori aktiivpindala kohta kWh/(m²·a);

A_{kol} - kollektori aktiivpindala (m²), millele ei teki varje;

k_{ik} - tegur, mis arvestab päikesepaneeli suunatust ilmakaarte suhtes (väärtused on Tabelis 3.3.1);

k_{nurk} - tegur, mis arvestab päikesepaneeli kaldenurka horisondi suhtes. (väärtused on Tabelis 3.3.2)

Tabel 3.3.1 Kollektori või paneeli suunatuse tegur, k_{ik}

Suunatus	k_{ik}
Kagu/lõuna/edel	1
Ida/lääs	0,8
Loe/põhi/kirre	0,6

Allikas: Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika. Vabariigi valitsuse määrus nr 58 (6; § 27)

Tabel 3.3.2 Kollektori või paneeli suunatuse tegur, k_{ik}

Kaldenurk	k_{nurk}
<30°	1
30–70°	1,2
>70°	1

Allikas: Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika. Vabariigi valitsuse määrus nr 58 (6; § 27)

Valemi nr 20 kasutamisel võib edaspidistes energiaarvutustes arvesse võtta päikesekollektorist saadavast soojusenergiast hulga, mis moodustab kuni pool aastasest sooja tarbevee energiakasutusest. Päikesekollektori ringluspumba elektrikasutuse saab arvutada valemiga (21): [6]; § 27)

$$E_{kol.pump} = \frac{(50+5A_{kol}) \cdot t_{kol.pump}}{1000} \quad (21)$$

kus,

$E_{kol.pump}$ on päikesekollektori ringluspumba aastane elektrikasutus kWh/a;

A_{kol} on kollektori aktiivpindala (m²), millele ei teki varje;

$t_{kol.pump}$ on kollektori ringluspumba töötundide arv aastas h.

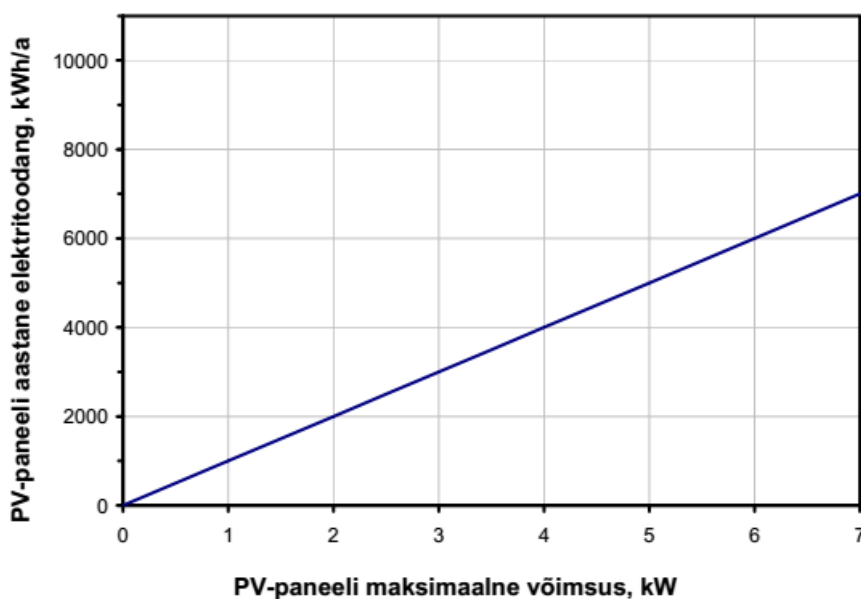
Täpsemate andmete puudumisel võib võtta ringluspumba töötundide arvuks $t_{kol.pump}$ 2000 h/a.

Autor kasutab arvutustes ArcticCat päikesekollektoreid (Lisa 13) Vastavalt lõigus toodud valemitele on $Q_{kol} = 210 \cdot 4,8 \cdot 1 \cdot 1 = 1008$ kWh/a ning ringluspumba elektrikasutus on $E_{kol.pump} = (50+5 \cdot 4,8) \cdot 2000 = 196000/1000 = 148$ kWh/a. Kui toodetud energias lahutada ringluspumbale kulunud elektrienergia, jääb tootluseks 860 kWh/a. Aedniku tee 20 sooja tarbevee aastane energiakulu on 1811 kWh, mis tähendab, et arvestuslikult katavad päikesekollektorid ligi 50% sooja tarbevee kütmiseks kuluva energia. Sellest lähtuvalt langeb päikesekollektorite ja ventilatsiooni paigalduse järgselt kogu energia kasutus kuni 160,3 kWh/(m²·a), kuid elamu

energiaklass ei muutu ja jääb napilt klassi „D“. Järgnevalt toob autor võrdluseks ka päikesepaneelide arvutuslikud näitajad.

3.4. Päikesepaneelid

Elektrit saab toota eri päikesepaneelidega, mida sageli nimetatakse PV-paneelideks (lühend PV ingliskeelsest terminist *photovoltaic*). PV-paneelide kasutegur, mis näitab, mitu protsenti paneeli pinnale langenud päikesekiirgusest muundatakse elektriks, on suurusjärgus 11...17%. Ühest ruutmeetrist paneeli pinnast on ideaaltingimustel (selge ilm ja päikesekiired on risti paneeli pinnaga) võimalik saada elektrit suurusjärgus kuni 150 W. Õige orientatsiooniga paigaldatud paneeli üheruutmeetrisest pinnast saab Eesti oludes elektrit suurusjärgus 100...150 kWh elektriaastas. Ligikaudsetes arvutustes võib lähtuda järgnevast graafikust Joonis 3.3.1: [22], lk 42-43)










Joonis 3.4.1 PV-paneelide ligikaudne aastane elektritoodang paneelide maksimaalse võimsuse järgi.

Allikas: Madalenergia ja liginullenergiahoone kavandamine (22; lk 43)

Paneelide asukoha valikul ja paigaldamisel tuleb lähtuda samadest põhimõtetest nagu päikesekollektorite puhul, kusjuures soovituslik paigaldusnurk maapinna suhtes on 40°. Näiteks kui hoone katusele paigalda 35 m² PV-paneele, on toodetav maksimaalne elektrivõimsus suurusjärgus 4 kW ja aastas saadav elektri maht ca 4000 kWh. Aedniku tee 20 elektriseadmete ja valgustuse aastane elektrikasutus on ~ 2900 kWh. PV-paneelidega on võimalik

summaarse aasta bilansi mõttes katta enamus elektriseadmete ja valgustuse aastasest elektrikasutusest. Tuleb arvestada, et PV-paneelid toodavad suvel oluliselt rohkem elektrit kui talvel, mis tõttu talvel ei piisa paneelide toodetud energiast ja suvel toodetakse elektrit oluliselt rohkem kui tarbitakse. Tabel 3.4.1 on toodud hoone katusele paigaldatud päikese-elektrisüsteemi orienteeruv aastane elektrienergia tootlus Eesti tingimustes. Tabelist on näha, kui palju 1kW nominaalvõimsusega erineva kaldega viilkatusele paigaldatud varjudeta päikese-elektrisüsteem ühe aasta jooksul keskmiselt elektrienergiat toodab. Hinnangulise katuse pindala vajaduse määramiseks võib arvestada, et 1 kW päikesepaneelide jaoks on tarvis umbes 6,5–8 m². [12]; lk 54)

Tabel 3.4.1 Päikese-elektrisüsteemi hinnanguline aastane eritootlus Eestis

Katuse/fassaadi kalle ja orientatsioon	1 kW nominaalvõimsusega päikese-elektrisüsteemi aastane toodang, kWh/a							
	Põhi	Kirre	Ida	Kagu	Lõuna	Edel	Lääs	Loe
0° 	810	810	810	810	810	810	810	810
15° 	690	720	800	880	810	870	800	720
30° 	560	620	780	910	960	910	770	620
45° 	440	550	750	910	970	900	740	540
60° 	380	500	700	880	940	870	690	490
75° 	350	460	650	830	870	800	640	450
90° 	330	410	580	720	760	710	570	410

Allikas: Liginullenergia hooned, väikemajad – juhend (12; lk 54)

Tabelist 3.4.1 on näha, et Aedniku tee 20 elamu asend ja katuse kalle (kagu ja 30°) on ilmakaarte suhtes üsna soodne päikese energia tootmiseks. Ühtlustamiseks paneelide poolt toodetud elektrit ja väikeelamu tegelikku elektri kasutust, on vaja toodetud elektrit salvestada akudesse või muuta vahelduvvooluks ja müüa seda elektrivõrku. Juhul kui PV-paneelidega toodetud elektrit saab tarnida elektrivõrku, tuleb hoone energiatõhususarvu leidmisel võrku antud energia läbi korrutada elektri kaalumisteguriga (2,0) ja energiatõhususarv väheneb selle korrutise võrra. [22]; lk 43-44)

Päikesepaneeliga toodetud aastane elektrienergia arvutatakse valemiga (22): [6]; § 28

$$E_{pan} = \frac{Q_{päike} \cdot P_{max} \cdot k_{kas}}{I_{ref}} \quad (22)$$

kus,

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

$Q_{päike}$ – päikesepaneeli pinnale, millele ei teki varje, tulev aastane päikeseenergia kWh/a,

P_{max} – päikesepaneeli maksimaalne võimsus standardtingimustel, kW ($I_{ref}=1$ kW/m², temp. 25°C),

k_{kas} – kasutegur, mis arvestab päikesepaneeli kasutustingimusi, (mööduka tuulutusega 0,75)

I_{ref} - standardkiirgus 1 kW/m².

Päikesepaneeli pinnale tulev aastane päikeseenergia arvutatakse valemiga (23): [6]; § 28)

$$Q_{päike} = 960 \cdot k_{ik} \cdot k_{nurk} \quad (23)$$

kus,

960 on horisontaalpinnale tulev aastane päikesekiirgus kWh/(m²·a);

k_{ik} on tegur, mis arvestab päikesepaneeli suunatust ilmakaarte suhtes (Tabel 3.3.1);

k_{nurk} on tegur, mis arvestab päikesepaneeli kaldenurka horisondi suhtes. (Tabel 3.3.2)

Päikesepaneeli maksimaalne võimsus standardtingimustel P_{max} sõltub paneeli tüübist ja saadakse lähtudes tootja andmetest. Kasutustingimuste tegur k_{kas} võtab arvesse päikesepaneeli ümbritseva keskkonna iseärasusi ja kadusid vahelduvvooluks muundamisel. [6]; § 28)

Autor on arvutustes kasutanud kaubamärgi ArcticCat päikesepaneeli (AC Kliima OÜ), mille ühe paneeli pind on 1,6 m² ja võimsus 295W. Pakutav komplekt on mõeldud 5 kW elektrienergia tootmiseks. Täpsem info on esitatud Lisa 14.

Eelnevast lähtudes:

$$Q_{päike} = 960 \cdot 1 \cdot 1,2 = 1152 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$E_{pan} = 1152 \cdot 0,295 \cdot 0,75 = 254,88$ kWh/a, Paneeli pind on 1,6 m² ning 5 kW tootmiseks on arvestatud 17 paneeli, seega on PV-paneeli toodang $17 \cdot 254,9 = 4333$ kWh/a. Kui sellega õnnestub katta valgustuse ja muude elektriseadmete (kokku ~ 2927 kWh/a) aasta elektrikulud, siis jääks parimal juhul 1406 kWh/a n.ö varuks, mida saab võimalusel müüa tagasi elektrivõrku. Sellisel juhul tuleb müüdav elektrienergia läbi korrutada kaalumisteguriga 2,0 ($1406 \cdot 2 = 2812$ kWh/a) ning vastav tulemus arvestatakse energiatõhususe arvutustes. Kuna võrku müüdav energiakogus võib olla ilmastiku oludest ja muudest faktoritest põhjustatuna suuresti muutuv siis autor käesolevas arvutustes antud väärtust ei arvesta.

Veendumaks, et päikesepaneelide arvutused ja tootlikkus on õige, on autor täitnud ka päikesepaneelide tootlikkuse arvutamise PVGIS andmebaasi abil. Andmefailis toodud tabelis on kuvatud lahtris "Ed" keskmine päeva tootlikkus (kWh) vastavas kuus. Lahter "Em" näitab tootlikkust kuus (kWh). Lahtri "Em" lõpus on toodud PV süsteemi tootlikkus aastas (Total for year kWh), mis on ka kõige tähtsam number PVgis kalkulaatori tulemuste puhul kui tegemist üldvõrguga ühendatud süsteemiga. [19]. Täiendavalt on autor teinud ka erinevate PV-paneelide tootlikkuse arvutused tarnijate kodulehel olevatel kalkulaatoritel. Hea meel on tõdeda, et suures osas kattuvad tulemused autori arvutustega. Täpsemad andmed saadud tulemuse kohta on näha Lisas 15 ja Lisas 16.

Kui päikesepaneelide paigaldusel lähtuda autori eelnevatest arvutustest, langeks kaalutud elektrienergia kasutus $104,7 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ ning elamu energiamärgis vastavalt klassi „B“. See tähendaks, et Aedniku tee 20 väikeelamu kuuluks vastavalt energiatõhususarvule madalenergia hoonete hulka, mis on märkimisväärne tulemus algset taset arvestades. Sellest järeldeb autor, et päikesepaneelide paigaldus on ideaalsete tingimuste korral väga suureks abiks hoone energiatõhususe langetamisel. Võrreldes päikesekollektoriga jääb hoone omanik valiku ette, kas paigaldada üks pakutud lahendustest või hoopis mõlemad? Autori arvutustele tuginedes, oleks soojustagastusega ventilatsiooni ja mõlema päikeseenergia kasutuse puhul energiatõhususarv ligi $81,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, elamu kuuluks endiselt madalenergia hoonete hulka ehk klassi „B“. Kui aga arvestada päikesepaneelidest saadavat maksimaalset toodangut ehk 4333 kWh/a , oleks arvutuslik energiaklass lausa $43,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ja elamu kuuluks energiaklassi „A“ ehk liginullenergiahoonete hulka. Rõhutama peab, et selline tootlikkus on võimalik vaid ideaalsetel tingimustel. Lisaks hakkab kogu paketti puhul rolli mängima ka süsteemide investeeringu suurus ja tasuvusaeg.

Üheks alternatiiviks katusele paigaldatavatele PV-paneelidele on katuse konstruktsiooni integreeritud päikesepaneelid. Sel juhul ei ole tarvis katusekatet ja päikesepaneeli eraldi paigaldada. Visuaalselt ei erine integreeritud paneelid tavalistest katuseelementidest. Seetõttu sobivad need paigaldamiseks ka näiteks miljööväärtuslikes piirkondades kavandatavatele ja olemasolevatele hoonetele (Joonis 3.4.2)



Joonis 3.4.2 Elamu elektrit tootva valtsplekk-katusega

Allikas: Liginullenergia hooned, väikemajad – juhend. (12; lk 55)

Selline lahendus on tootja ja ka autori hinnangul üks parimatest alternatiividest uue elamu ehitusel või vanema hoone katuse renoveerimisel. Kuna info toote kohta ilmus alles hiljuti siis käesolevas töös ei ole autor saanud seda täpsemalt uurida, kuid täiendavat infot pakutava lahenduse kohta leiab viidatud kirjandusest, Allikas [2].

3.5. Arvutuste tulemused ja süsteemide tasuvusaeg

Aedniku tee 20 kaalutud energiakasutus $192 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ on tänapäeval küllaltki kehv tulemus ning ei vasta väikeelamu energiatõhususe piirväärtustele. Samuti on elamu sisekliima lahendus ebatõhus ning ei vasta tänapäeva nõuetele. Vastavalt autori poolt pakutud lahendustele paraneb oluliselt elamu sisekliima ning soojustagastusega ventilatsiooni süsteemi paigalduse järgselt oleks energiatõhususe arv $183,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$, mis vastaks ka juba väikeelamu piirnormile.

Kui lisada autori valikul päikesepaneelid tootlikkusega 5 kW , langeks elamu energiatõhususarv $104,7 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$. Kui arvestada, et autor ei ole arvestanud arvutustes kogu PV-paneelidest saadavat toodangut siis võib tulemus olla ka parem. Päikesepaneelide toodetud elektrienergiaga on võimalik katta arvestatava osa elektrienergiakuludest ning hoone vastaks energiaklassile „B“. Järgnevalt on autor esitanud kokkuvõtva tabeli arvutuslikest elektrienergia säästudest ja energiaklasside parendusest.

Tabel 3.5.1 Kaalutud elektrienergiakasutuse muutus paigaldatud süsteemide järgselt

Nimetus	Ohukord hetkel	Soojustagastusega ventilatsioon	Soojustagastusega ventilatsioon ja päikesekollektorid	Soojustagastusega ventilatsioon ja päikesepaneelid 5 kW
Netoenergia vajadus kWh/a	12816	12816	12816	12816
Elektrienergia vajadus kWh/a	7141	6824	6824	6824
Lokaalne taastuv energia kWh/a	-	-	860	2927
Tarnitav elektrienergia kWh/a	7141	6824	5964	3897
Energiaõhusarv kWh/(m ² ·a)	192	183,4	160,3	104,7
Energia klass	D	D	D	B

Allikas: Autori koostatud

Ventilatsioonisüsteemi peamine eesmärk on elamu sisekliima ja õhuvahetuse parendamine. Samuti aitab korralik õhuvahetus eemaldada hoonest liigniiskust. Korraliku ja säästliku süsteemi paigalduse maksumus Aedniku tee 20 elamule on vastavalt konsultatsioonile kuni 4000 eurot. Lisaks kulub filtrite vahetusele ja tehnilisele hooldusele ligikaudu 50 eur/a. Süsteemi eluiga loetakse kuni 20 a. Tasuvust antud süsteemi puhul ei ole autori hinnangul otstarbekas arvutada, kuna õhuvahetus on elanike tervise ning elamu energiaõhususe tõstmise ja parema säilimise eesmärgil hädavajalik.

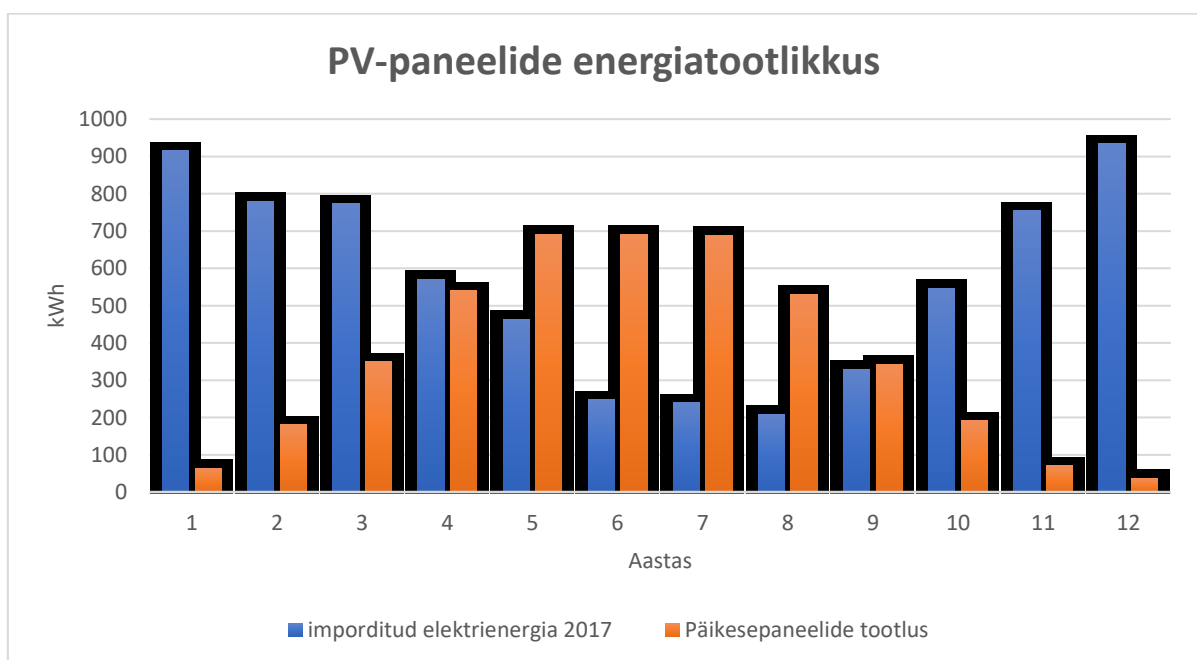
Päikeseelektrijaamade paigaldamise üldine kasv nii maailmas kui ka Eestis on viinud nende rajamise hinna järjepideva languseni. Igat objekti tuleb maksumuse ja tasuvuse seisukohalt vaadelda eraldi, mistõttu on raske tasuvusaja kohta üldist järeldust teha. Üldjuhul on tasuvusajaks pakutud 6 kuni 15 aastat. Mõistlikuks loetakse tasuvust alla 10 aasta.

Päikeseelektrijaama tasuvusaja kujunemisel mängivad kõige suuremat rolli kolm tegurit – jaama rajamise maksumus, päikesepaneelide tootang aastas ning elektri hind. Lihtsustamaks tasuvusaja arvutusi võetakse arvesse järgmisi tegureid: [16]

- 1) Elektrienergia lõpphinnaks on 0,13 €/kWh
- 2) Elektri hind tarbija jaoks ei tõuse, inflatsioon ja elektri hinna tõus on võrdsed
- 3) 5 kW päikeseelektrijaam toodab ligikaudu 4300 kWh aastas
- 4) Toodangu kujunemisel ei arvestata päikesepaneelide iga-aastast degradeerumist
- 5) Kogu toodetud elektrienergia tarbitakse kohapeal ära
- 6) Päikeseelektrijaama hoolduskulud aastas on ~100 €
- 7) Päikeseelektrijaam ostetakse kohe välja

Autori poolt valitud paneelide tootlikkus on arvutuslikult 4333 kWh/a. Arvestades elektrienergia pidevat tõusu, arvestab autor elektrienergia hinnaks 0,13 €/kWh. Hoolduskuludeks arvestab autor vastavalt 100 €/a. Iga-aastane sääst tulenevalt elektri tootmisest on järgmine $(4333 \cdot 0,13) - 100 = 463,3$ €. Jagades paigaldamise maksumuse (~6000 €) antud summaga, saame tasuvusajaks ligikaudu 13 aastat. Aedniku tee 20 elamu puhul tuleb ligikaudu 33% suvisest elektritootmisest ka võrku müüa, kuid seda soodustab taastuvenergia toetus. Lisaks võib katusekalde 30° puhul paneelide määrdumise tõttu tootlikkus langeda 2-10%. Siiski on päikeseelektrijaamade paigaldamisel lisaks rohelisele mõtte- ja tegutsemisviisile ning iga-aastasele energiasäästule, ka teisi positiivseid külgi. Päikeseelektri tootmisega kaitstakse ennast võimalike suuremate elektrienergia tõusude eest kümneteks aastateks. Paneelide elueaks loetakse 25-30 aastat, 80-85% tootlikkusest on säilinud ka 25 aasta pärast. Päikesepaneelidega varustatud hooned on kinnisvaraturul atraktiivsemad. Ning lõpetuseks – igal päikeseelektrijaama omanikul on hommikuse päikesetõusu ajal rohkem põhjust rõõmu tunda. [16]

Joonis 3.3 Elektrienergia tarne ja PV-paneelide tootluse võrdlus



Allikas: Autori koostatud

Ülaltoodud tulpdiagrammis on autor andnud ülevaate 2017 energiakuludest kuude lõikes ning arvutusliku päikesepaneelide tootlikkuse. Tulpdiagrammist on näha, kui suure osa suvisest tootlusest peaks salvestama akudesse või müüma elektrivõrku. Kokkuvõtlikult võib siiski öelda,

et üle 60% Aedniku tee 20 elamu aastasest elektrienergiast on võimalik katta PV-paneelide elektritoodanguga. Ligikaudu 1458 kWh ehk ~33% toodangust tuleb akudesse salvestada või võrku müüa.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli koostada energiaarvutused olemasolevale väikeelamule, leida lahendused sisekliima parendamiseks ning pakkuda lahendusi elamu energiatõhususe tõstmiseks.

Lõputöös viis autor läbi energiaarvutused, lähtudes „Hoone energiatõhususe miinimumnõuetest” ja „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodikast”. Kuna hoone on valminud 2007 aastal, on konstruktsioonid ja välisilme visuaalselt heas seisukorras. Autori arvutustest lähtuvalt mahuvad välispiirete soojuserikaod energiatõhususe miinimumnõuete järgi soovituslikesse piiridesse ning seetõttu ei ole hoone välispiirete ümberehitusi või lisasoojustamist lahendusena pakutud.

Arvutustest lähtuvalt on Aedniku tee 20 väikeelamu kaalutud energiakasutusarv 192 kWh/m²a ning hoone kuulub energiaklassi „D”. Suur energiakulu tuleneb peamiselt elamu loomuliku ventilatsiooni lahendusest ning suures osas elektrienergia kasutusest, kuna elamus kasutatakse põhiliselt elektrikütet. Et hoone energiatõhusust tõsta ning saavutada parem energiaklass, on autor pakkunud lahenduseks tõhusa soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi ning lisaks päikesepaneelide paigalduse, et kompenseerida elamu osaline või suvisel perioodil ka täielik elektrienergia kulu. Soojustagastusega seade vähendab arvutuste põhjal ventilatsiooni energiakulu kuni 45% ning PV-paneelid vähendavad seadmetele ning valgustusele kuluva aastase elektrienergia kuni 100 % ulatuses. Antud lahenduste rakendamisega on arvutuste põhjal elamu kaalutud energiakasutus 104 kWh/m²a ehk ligikaudu 54% madalam. Tulemusest lähtuvalt saaks elamule määrata energiaklassi „B“ ning elamu kuuluks madalenergiahoonete hulka.

Autori hinnangul on selline lahendus optimaalseim ning energiatõhususe tõus märkimisväärne. Soojustagastusega ventilatsiooni paigaldus tagab energiatõhusa sisekliima ning päikeseenergia kasutus elektri tootmiseks annab soovitud tulemuse energiatõhususe tõstmiseks. Sellega on autori hinnangul täidetud ka antud lõputöö eesmärk. Elamu saab liigitada madalenergia hoonete hulka ning kuulub energiaklassi „B“

Koostatud lõputöö võib kasulik olla eramute omanikele, kelle elamud on ehitatud samal perioodil ning kes otsivad lahendusi energiakulude kokkuhoiuks. Loomulikult vajab iga objekt olenevalt asukohast ja muudest tingimustest eraldi käsitlust, kuid sarnaselt käesolevas töös koostatud arvutustele, on võimalik hoone energiatõhususe parendamiseks saavutada märkimisväärseid

tulemusi. Olenemata investeeringu tasuvusajast, on energiatõhus ja päikesepaneelidega varustatud elamu kinnisvaraturul atraktiivsem ning võib autori hinnangul elamu müügi korral anda parema turupositsiooni teiste samaväärsete seas.

VIIDATUD ALLIKAD

1. **Anti Hamburg**, *Eluhoonete lihtsustatud energiatõhususe tõestamine ja kütte netoenergiakulu leidmine kraadpäevade järgi.*, Tallinna Ülikool. [WWW]: https://www.ttu.ee/public/p/projektid/BuildEst/Eluhoonete_lihtsustatud...A_Hamburg.pdf
2. *Alternatiivne lahendus päikesepaneelidele.* [WWW]: <http://roofit.solar>
3. *Ehitusseadustik (2015) 2. osa, Eriehitised ja erinõuded* Allikas: Riigiteataja [WWW]: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001>
4. EKVÜ; Kredex, *Korterelamute energiaauditite koostamise juhend.* (2015) [WWW]: http://kredex.ee/public/Energiatohusus/Korterelamute_energiauditite_koostamise_juhend.pdf
5. *Energiamärgis.* [WWW]: <https://www.abaudit.eu/>
6. *Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika. Vabariigi valitsuse määrus nr 58. (2015).* Allikas: Riigiteataja [WWW]: <https://www.riigiteataja.ee/akt/109062015021>
7. *Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi valitsuse määrus nr 55. (2015).* Allikas: Riigiteataja [WWW]: <https://www.riigiteataja.ee/akt/128022017002>
8. *Hoonete energiatõhusus.* Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium [WWW]: <https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/ehitus-ja-elamumajandus/hoonete-energiatohusus>
9. *Hoone soojuskoormuse määramise meetodika EVS 829:2003.* [WWW]: http://www.estplast.ee/files/u2/Hoone_soojuskoormuse_m_aramise_meetodika.pdf
10. **Jarek Kurnitski** *Hoonete energiatõhusus ja kaalumistegurid.* [WWW]: http://www.eph.ee/images/2017/2017-05-25_Energiatohusus_ja_kaalumistegurid-Kurnitski.pdf
11. *KredEx SA, Kraadpäevad.* [WWW]: <http://www.kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/>
12. *Liginullenergia hooned, väikemajad – juhend.* (detsember 2017) [WWW]: <http://kredex.ee/energiatohususest/liginullenergiahooned/>
13. *Metsanurme küla,* [WWW]: <http://www.metsanurme.eu/Metsanurme-kula>
14. *Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele. Vabariigi valitsuse määrus nr 36. (2015).* Allikas: Riigiteataja [WWW]: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107102016004>
15. *Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatõhususega hoone ehitamisel (2009).* [WWW]: <https://www.tervemaja.ee/nou/passiivmajatehnoloogia.pdf>
16. *Päikesepaneelide tasuvus.* [WWW]: <https://www.tera.ee/paikesepaneelide-tasuvusaeg/>
17. *Päikesepaneelid.* [WWW]: <http://energogen.ee/paikesepaneelid/paikesepaneelid/>
18. *Päikesepaneelid.* [WWW]: <http://www.ackliima.eu/et/a/komplekt-paikeseest-elektri-tootmiseks-5kw-plekk-katusele>
19. *Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamine PVGIS andmebaasi abil.* [WWW]: <http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneelide-tootlikkuse-arvutamine-pvgis.html>

20. *Saku vald*. [WWW]: <http://www.sakuvald.ee/>
21. **Teet-Andrus Kõiv, Aivar Rant** (2013). *Hoonete küte*. Tallinn, TTÜ Kirjastus
22. **T. Kalamees; T. Tark** (2012) *Madalenergia ja liginullenergiahoone kavandamine*. [WWW]: http://kredex.ee/public/Uuringud/Madalenergia-ja_liginullenergiahoone_kavandamine_Vaikeelamu.pdf
23. TTÜ Ehitusteaduskonna uuring, *Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpparuanne*.(2011). Tallinn. [WWW] http://kredex.ee/public/Uuringud/TTY_Puitelamute_uuring.pdf
24. *Ventilatsiooniseadme tehnilised andmed*. Systemair AS [WWW]: <https://www.systemair.com/ee/Eesti/Tooted/residential-systems/counter-flow-units/top-connected/save/SAVE-VTC-200-R/>
25. **Viljar Puusepp** *Energiamärgise arvutused*. [WWW]: <http://www.soojusaudit.ee/teenused/energiamargis/50-energiamargise-koostamine?format=pdf>

4. LISAD

Lisa 1 Aedniku tee 20, elamu tehnilised näitajad.

11. Tehnilised näitajad

	olemasolev	juurdeprojekt.	kokku
1. Krundi pind	862 m ²		862 m ²
2. Täisehituse %	9,3		11,4
3. Ehitusalune pind	80,0 m ²	18,5 m ²	98,5 m ²
4. Ehitise alune pind	118,5 m ²	21,5 m ²	140,0 m ²
5. Netopind	74,0 m ²	13,5 m ²	87,5 m ²
5.1. Elamispiind	55,2 m ²	—	55,2 m ²
4.2. Abipiind	18,8 m ²	13,5 m ²	32,3 m ²
6. Hoone maht	230,0 m ³	35,0 m ³	265,0 m ³
7. Korruste arv	1		1
8. Tubade arv	3		3
9. Tulepüsivuse klass	TP-3		TP-3

Projekt vastab Ehitusseaduse §3-le.

Koostas:



arh. Elo Toomik

Allikas: Autori kogu

Lisa 2 Aedniku tee 20, elektritarbimine 2015-2017

Elektritarbimise teatis

1

Väljastaja: Eesti Energia AS

Klient: OLEV KRUUSENVALD, 37905306025

Tarbimiskoha aadress: Aedniku tee 20, 75506 Metsanurme küla, Saku vald, Harju maakond

Tarbimiskoha EIC: 38ZEE-00633965-I

Periood: 2015 kuni 2017

Kuupäev: 25.11.2017

Tarbimine 2015. aastal

Kuu	Päev (kWh)	Öö (kWh)	Kokku (kWh)
Jaanuar	466,00	525,00	991,00
Veebruar	390,00	478,00	868,00
Märts	354,00	435,00	789,00
Aprill	250,00	335,00	585,00
Mai	149,00	279,00	428,00
Juuni	123,00	135,00	258,00
Juuli	118,00	123,00	241,00
August	116,00	130,00	246,00
September	149,00	169,00	318,00
Oktoober	283,00	359,00	642,00
November	310,00	328,00	638,00
Detsember	493,00	492,00	985,00
Aasta kokku	3 201,00	3 788,00	6 989,00

Elektritarbimise teatis

2

Tarbimine 2016. aastal

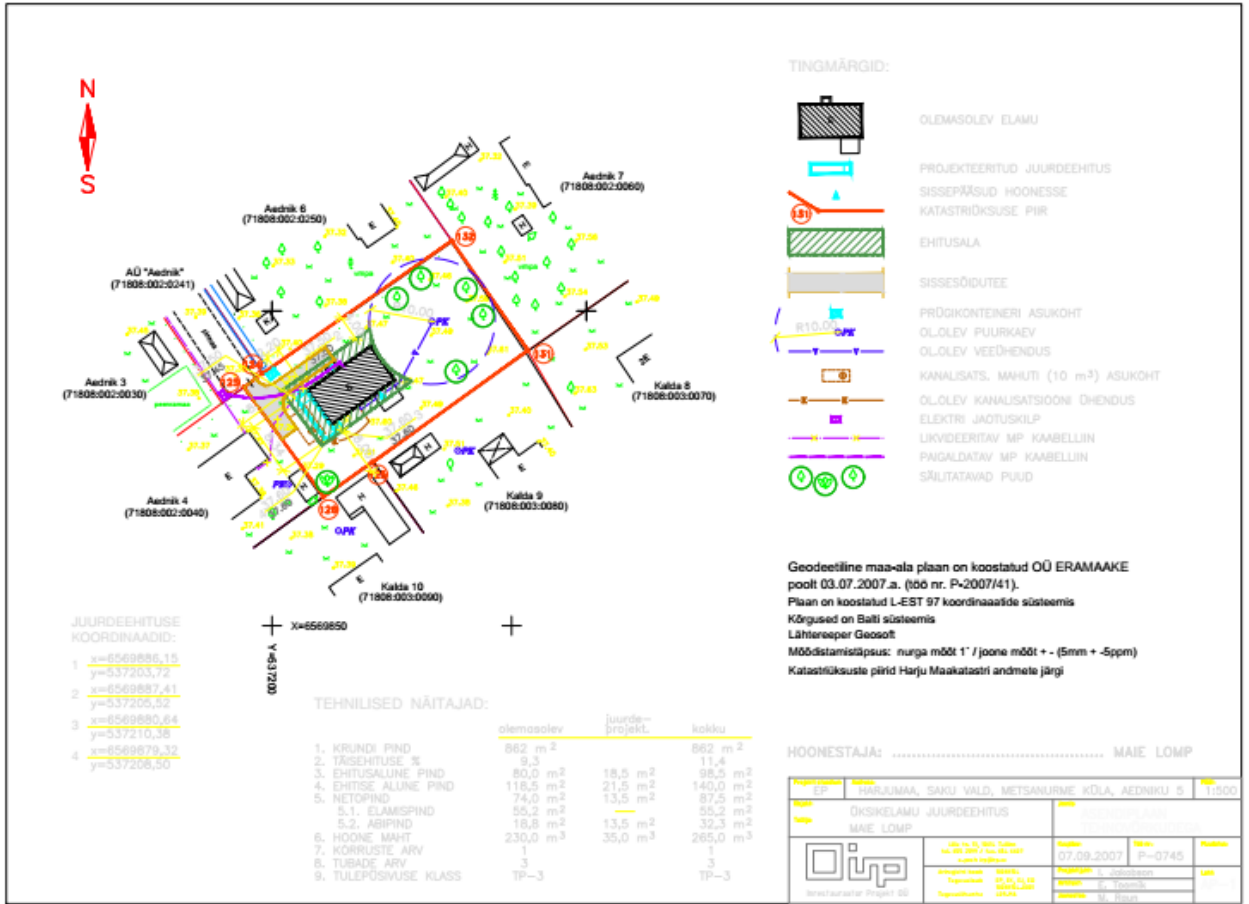
Kuu	Päev (kWh)	Öö (kWh)	Kokku (kWh)
Jaanuar	601,00	651,00	1 252,00
Veebruar	405,00	482,00	887,00
Märts	410,00	475,00	885,00
Aprill	204,00	283,00	487,00
Mai	124,26	217,34	341,60
Juuni	111,57	134,57	246,14
Juuli	80,34	118,46	198,81
August	110,27	116,65	226,92
September	122,04	162,56	284,59
Oktoober	265,16	328,10	593,26
November	431,95	438,90	870,85
Detsember	416,02	466,32	882,34
Aasta kokku	3 281,62	3 873,89	7 155,51

Tarbimine 2017. aastal

Kuu	Päev (kWh)	Öö (kWh)	Kokku (kWh)
Jaanuar	445,02	469,93	914,95
Veebruar	355,44	424,92	780,37
Märts	359,12	414,23	773,35
Aprill	217,83	353,26	571,09
Mai	197,08	226,66	423,74
Juuni	107,30	140,21	247,52
Juuli	115,34	123,93	239,27
August	99,19	109,20	208,39
September	168,26	160,73	328,99
Oktoober	243,69	303,25	546,94
November	266,68	273,35	540,04
Detsember			
Aasta kokku	2 574,96	2 999,67	5 574,64

Allikas: Eesti Energia AS, e-teenindus.

Lisa 3 Aedniku tee 20, paiknemine ilmakaarte suhtes



Lisa 4 Aedniku tee 20, välispiirete soojuserikaod - välisseinad.

Aedniku tee 20 välispiired	Paksus	Ühik	λ	Ühik
Sisepind				
kipsplaat	13	mm	0,21	W/mK
metallkarkass, vahel min vill	50	mm	0,12/0,033	W/mK
Puitkarkass 50x150, vahel min vill	150	mm	0,12/0,033	W/mK
Tuuletõkkeplaat	13	mm	0,032	W/mK
Tuulutusroov	25	mm	0,18	W/mK
Voodrilaud	22	mm	0,18	W/mK

Soojustakistus Rd 0,13 m2 K/W
Soojustakistus Rd 0,04 m2 K/W

Sisepind
Välispind

Leida mittehomoense puitsõrestikseina soojusjuhtivus U W/m2K

(Lahendamiseks läheb vaja standardit EVS 908-1:2010 peatükk 4.2.3.7)

1. Esmalt arvutatakse kogusoojustakistuse ülemise piirväärtuse jaoks vajalikud homogeensete sektsioonide soojustakistused:

* Soojustuse sektsiooni soojustakistus. Nõrgalt ventileeritud korral *0,5

$$R_{\text{soojustuse sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,013}{0,21} + \frac{0,05}{0,033} + \frac{0,150}{0,033} + \frac{0,013}{0,032} + \frac{0,025}{0,18} + 0,16 * 0,5 + \frac{0,022}{0,18} * 0,5 + 0,04 * 0,5 =$$

$$= 0,13 + 0,06 + 1,52 + 4,55 + 0,4 + 0,14 + 0,08 + 0,06 + 0,02 = 6,69 \text{ m2 K/W}$$

* Sõrestikupostide sektsiooni soojustakistus (valem 4.8):

$$R_{\text{sõrestiku sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,013}{0,21} + \frac{0,05}{0,12} + \frac{0,150}{0,12} + \frac{0,013}{0,032} + 0,14 + 0,16 * 0,5 + \frac{0,022}{0,18} * 0,5 + 0,04 * 0,5 =$$

$$= 0,13 + 0,06 + 0,42 + 1,25 + 0,4 + 0,14 + 0,08 + 0,06 + 0,02 = 2,56 \text{ m2 K/W}$$

* Kogu soojustakistuse ülemine piirväärtus (Valem 4.12)

$$R^t = \frac{550+50}{\frac{550}{6,69} + \frac{50}{2,56}} = 5,9 \text{ m2 K/W}$$

* Mittehomoense materjali kihtide soojustakistused:

50 mm paksuse soojustuse kihi soojustakistus (valem 4.14):

$$R_{50\text{mmsoojustus/sõrestik}} = \frac{550+50}{\frac{550}{\left(\frac{0,050}{0,033}\right)} + \frac{50}{\left(\frac{0,050}{0,12}\right)}} = 1,25 \text{ m2 K/W}$$

150 mm pakuse soojustuse kihi soojustakistus

$$R_{150\text{mm soojustus, sõrestik}} = \frac{550+50}{\frac{550}{\left(\frac{0,150}{0,033}\right)} + \frac{50}{\left(\frac{0,150}{0,12}\right)}} = 3,73 \text{ m2 K/W}$$

* Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus (valem 4.13)

$$R^{\text{''}}T = 0,13 + 0,06 + 1,25 + 3,73 + 0,14 + 0,04 + 0,08 + 0,06 + 0,02 = 5,15 \text{ m2 K/W}$$

* Piirdetarindi kogu soojustakistus (Valem 4.11)

$$RT = \frac{5,9+5,15}{2} = 5,53 \text{ m2 K/W}$$

* Suhteline arvutusviga (Valem 4.15)

$$e = \frac{R^t - R^{\text{''}}T}{2 * RT} * 100\% = \frac{5,9 - 5,15}{2 * 5,53} * 100 = \frac{0,75}{11,06} * 100 = 6\%$$

* Piirde soojusjuhtivus U arvutatakse valemiga 4.7 ja ümardatakse kahe kohani peale koma:

$$U = \frac{1}{5,53} = 0,18 \text{ W/(m2K)}$$

Lisa 5 Aedniku tee 20, välispiirete soojuserikaod - lagi.

Lagi	Paksus	Ühik	λ	Ühik
Lae konstruktsioon				
Sisepind				
Kips	13	mm	0,21	W/mK
Puitsõrestik 50x150/ Puistevill	400	mm	0,12/0,034	W/mK

Möölmel on 12x6,2m.

Üksiku kihu soojustakistus R arvutatakse valemiga

$$R = \frac{d}{\lambda} = 4,06$$

Kus

d - kihi paksus

λ - kihi soojusjuhtivus (W/(m*K))

Kogusoojustakistus R_t arvutatakse valemiga

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Kus

R_{si} - piirde sisepinna soojustakistus (m²*K/W)

$R_1; R_2$ - piirde üksiku kihi soojustakistus m²*K/W

R_{se} - piirde välispinna soojustakistus m²*K/W

R soojustus

$$R = 0,1 + \frac{0,013}{0,21} + \frac{0,4}{0,034} + 0,04 = 0,1 + 0,62 + 11,76 + 0,04 = 12,52$$

R puit

$$R = 0,1 + \frac{0,013}{0,21} + \frac{0,150}{0,12} + 0,04 = 0,1 + 0,62 + 1,25 + 0,04 = 2,01$$

* Kogu soojustakistuse ülemine piirväärtus

$$R_t = \frac{850+50}{\frac{850}{12,52} + \frac{50}{2,01}} = 9,7 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

400 mm pakuse soojustuse kihi soojustakistus

$$R_{400\text{mm soojustus, sõrestik}} = \frac{850+50}{\frac{850}{\left(\frac{0,4}{0,034}\right) + \left(\frac{0,150}{0,12}\right)} + \frac{50}{2,01}} = 8,02 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus

$$R_{\text{mT}} = 0,1 + 0,06 + 8,02 + 0,04 = 8,22 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

* Piirdetarindi kogu soojustakistus (Valem 4.11)

$$R_T = \frac{9,7+8,22}{2} = 8,96 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Katuslae soojusläbivus U arvutatakse valemiga

$$R = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{8,96} = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Piirde pindade soojustakistused [12, p. 153]

Soojustakistus	Soojusvoo suund		
	Üles	Horizontaalsuunas	Alla
$R_{si}, \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}, \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,04	0,04	0,04

Lisa 6 Aedniku tee 20, välispiirete soojuserikaod - põrand

Põrand	Paksus	Ühik	λ	Ühik
Põranda konstruktsioon				
Sisepind				
Parkett	10	mm	0,12	W/mK
Alusmatt	3	mm	0,043	W/mK
Betoon	150	mm	2	W/mK
Vahtpolüstüreen	150	mm	0,04	W/mK
Aluskate	1	mm	-	W/mK
Muud andmed				
Seina kogupaksus w	0,28	m		
Põranda sisemõõtmed	6,2x12	m		
Pinnase liik	liiv-kruus			

Mõõtmed on 12x6,2m. Seina kogupaksus w = 0,28m.
Põranda konstruktsioon on esitatud tabelis.
Liiv + killustik pinnas.

$$B' = \frac{A}{0,5P}$$

EE MÄRKUS: kus

B' põranda tunnusarv, m;
 A põranda pindala, m²;
 P põranda välisperimeeter, m.

$$B' = \frac{74}{0,5 \cdot 36,4} = 4,06$$

$$d_1 = w + \lambda (R_{si} + R_1 + R_{se}) \quad (3)$$

kus

w on seinte kogupaksus koos seina kõrkide kihtidega;
 R_1 on põrandaplaadi soojustakistus, kaasa arvatud kõik soojustuskihid plaadi peal, all ja vahel, ning põrandakattematerjal soojustakistus;

$$dt = 0,28 + 2,0 * (0,17 + \frac{0,1}{0,12} + \frac{0,03}{0,043} + \frac{0,15}{2} + \frac{0,15}{0,04} + 0,04) =$$

$$= 0,28 + 2,0 * (0,17 + 0,83 + 0,7 + 0,075 + 3,75 + 0,04) = 12,67 \text{ m}$$

λ on pinnase soojus-erijuhtivus, mille leiab tabelist nr 1

Tabel 1 — Pinnase soojusliikud omadused

Kategooria	Kirjeldus	Soojusjuhtivus λ W/(m·K)	Soojusmahtuvus $\rho \cdot C_p$ J/(m ³ ·K)
1	Savi või savimõli	1,5	$3,0 \times 10^6$
2	Liiv või kruus	2,0	$2,0 \times 10^6$
3	Homogeenne kivim	3,5	$2,0 \times 10^6$

Tabel 4.6 – Piirde pindade soojustakistused piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamisel

	Soojusvoolu suund		
	Üles (lagi)	Horisontaalne (sein) *	Alla (põrand)
R_{si} (m ² ·K)/W	0,10	0,13	0,17
R_{se} (m ² ·K)/W	0,04	0,04	0,04

*Juhul, kui soojusjuhtivuse suurus on nõutud olenemata soojusvoo suunast, on soovitatav kasutada horisontaalsele soojusvoolule vastavaid väärtusi.

*Ehitise sisetarindite, nagu vaheseinad, vahelaed, või sisekesikonna ja kütmata ruumi vahelise tarindi kogusoojustakistuse arvutamisel võetakse piirde mõlema pinna soojustakistusteks R_{si} .

Käesolevas arvutuses on täidetud teine tingimus ehk $dt \geq B'$ 12,67 ≥ 4,06

Kui $d_1 \geq B'$ (hästi soojustatud põrandad),

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \times B' + d_1}$$

MÄRKUS 1 Hästi soojustatud põrandate puhul võib valemi esitada ka järgmisel kujul:

$$U = \frac{1}{(R_1 + R_{si} + R_{se} + w/\lambda) + R_0}$$

kus R_0 on maapinna võrdväärne soojustakistus, mis leitakse valemiga

$$U = \frac{2}{0,457 \cdot 4,06 + 12,67} = \frac{2}{14,52} = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Lisa 7 Aedniku tee 20, aknad - tootja poolsed andmed

Aknad on investeering kogu eluks: nii uut maja ehitades kui olemasolevat renoveerides seisate olulise valiku ees. Kui peate oluliseks kaunist disaini, mugavust ja küttekulude kokkuhoidu, olete REHAU Euro-Design 70 profiilidest aknaid valides teinud ainuõige otsuse. Just Euro-Design 70 tagab efektiivse soojapidavuse ja püsiva väärtuse.

Kauni disainiga aknad Teie kodule

Investeerides oma kodusse aega ja raha, soovite, et see vastaks pisimagi detailini Teie ootustele. REHAU Euro-Design 70 profiilidest akandel on selles oma osa, eelkõige siis, kui panete rõhku akende disainile.

Just aknad kujundavad hoone lõpliku välisilme. Erinevate vormide, värvide ja disainraamide rohkus annab REHAU Euro-Design 70-ga Teile selleks piiramatult võimalusi. Alumiiniumesipaneelid võimaldavad integreerida aknaid ja uksi alumiiniumfassaadidega või luua kauneid aktsente.



70 mm ehitussügavus ning viis kambrit tagavad efektiivse soojapidavuse.

Soojusjuhtivustegur: U_f^* -arv = 1,3 W/m² K

* U_f väärtus näitab akna soojusjuhtivust.

Mida väiksem see arv on, seda väiksemad on soojakaod.

Profiili sise- ja välisküljel paiknevad eeskambrid tagavad hea helikindluse ja soojapidavuse



See märk sümboliseerib REHAU aknaprofiilide kvaliteeti.

REHAU Euro-Design 70 profiilisüsteemi eelised: Profiilisüsteem Euro-Design 70 – kõrgendatud nõudmistega elamuehitajale

Soojapidavus:	U_f : 1,3 W/m ² K
Ehitussügavus:	70 mm
Sissemurdmiskaitse:	kuni turvaklassini 2
Helikindlus:	kuni helikindlusklassini 4
Pealispind:	kvaliteetne, sile, kergesti hooldatav

- ideaalne energiasäästlike majade ehituseks ning renoveeritavate majade energiasäästlikkuse tõstmiseks
- profiilisüsteemi on integreeritavad REHAU Comfort-Design ruloosüsteemid
- viiekambriiline
- sobiv nii akende kui ka rõduuste valmistamiseks
- nõudlikule tarbijale

Lisa 8 Aedniku tee 20, välisuks – tootja poolsed andmed

Klaasiga välisuks Victoria 4RK TEAK kilpide ja liistudega



Klaasiga välisuks Victoria 4RK TEAK on ilus ja omapärane kilpide ja liistudega välisuks. See välisuks on teak spooniga ning viimistletud toonid õliga. Victoria 4RK TEAK sobib hästi eramutele, ühiskondlikele hoonetele ja tootmishoonetele. Ukse lävepakk on tammepuidust ning alumiiniumliistuga.

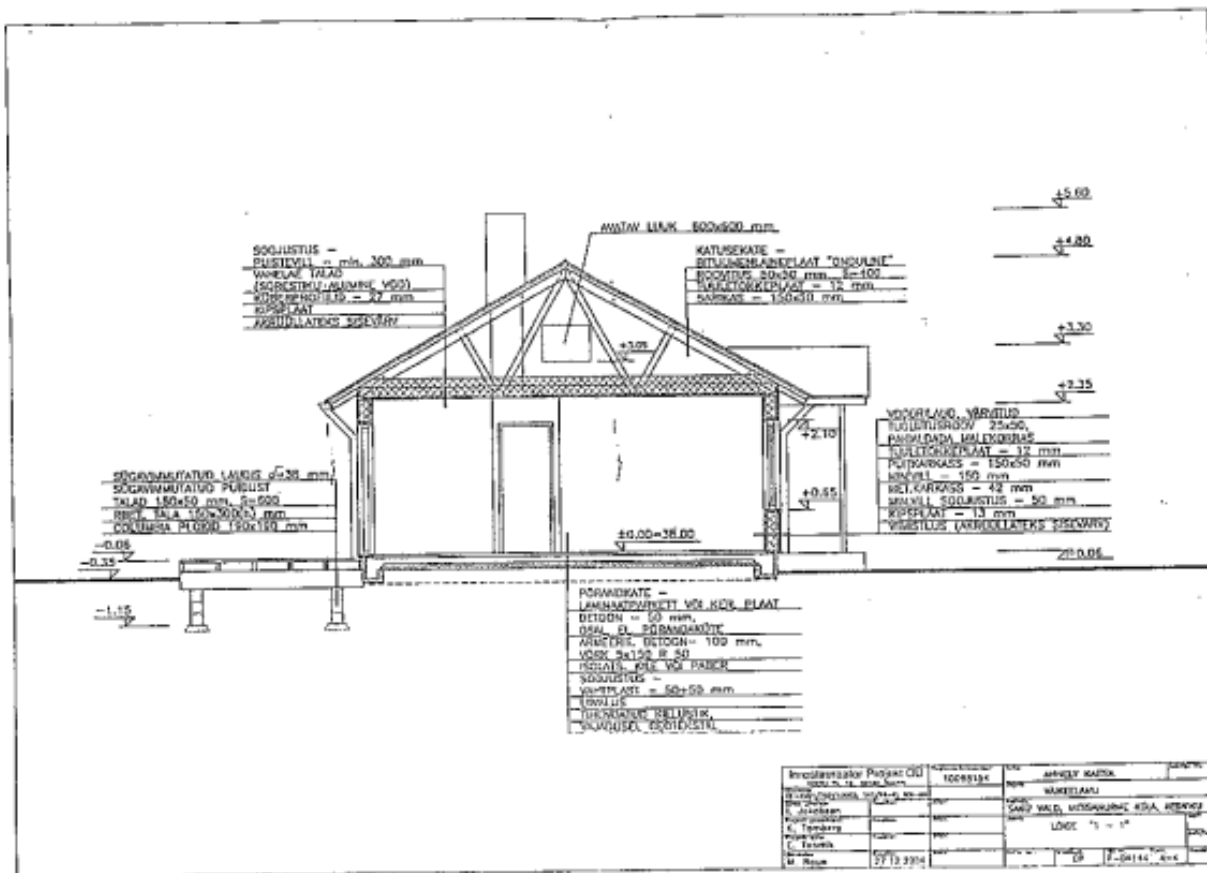
Ukselehe paksus on 62 mm ning välisküljel on muster. Ukselengid on toodetud männipuidust ning uksekomplekti kuulub ka lukukorpus, mis aga ei sisalda käepidemeid ja luku südamikku.

Välisuks Victoria 4RK TEAK helipidavus on R_w 25dB ja soojapidavus on $U=1,0$ W/m²K.

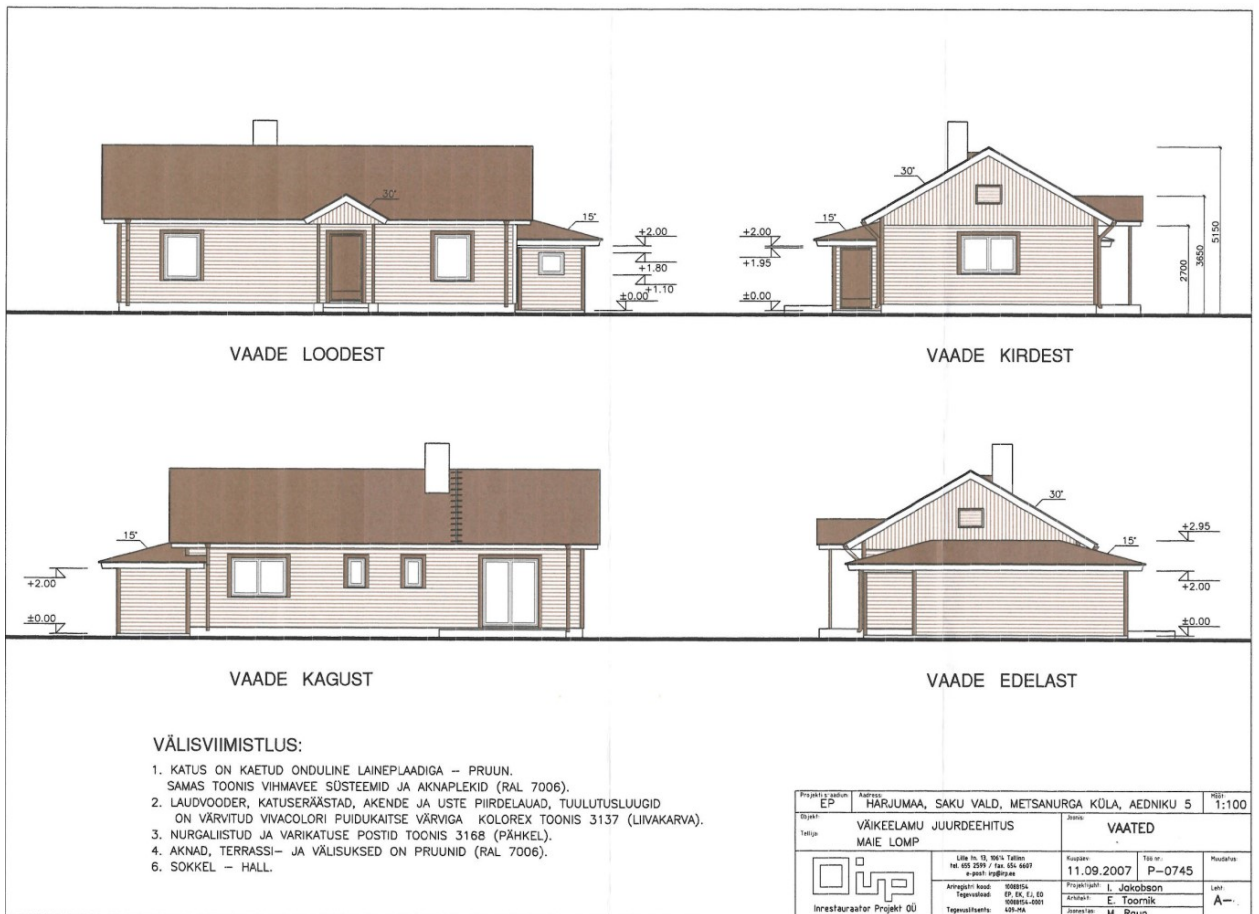
Omadused

Mõõt	ava 10×21 dm (lengi välismõõt 990×2088 mm), ava 9×21 dm (lengi välismõõt 890×2088 mm)
Erimõõt	min ja max mõõdud kahepoolse ukse puhul 15-20 x 17-25 dm (laius x kõrgus), min ja max mõõdud laiendiga ukse puhul 11-15 x 17-25 dm (laius x kõrgus), min ja max mõõdud ühepoolse ukse puhul 7-13 x 17-25 dm (laius x kõrgus)
Helipidavus	Rw 25dB
Soojapidavus	U=1.0 W/m ² K
Ukseleht	ukselehe paksus 62 mm, muster välisküljel
Leng	männipuit 42×105 mm
Lävepakk	tammepuit alumiiniumliistuga
Lukukorpus	ASSA 565 (ei sisalda käepidemeid ja luku südamikku)
Hinged	3248-110 TMKSS
Lisad	erinevate tootjate lukud, jalaplekk, postkastiluuk, uksekell, ukseilm
Kasutusala	ühiskondlikud hooned, eramud
Erivärv	standardsed erivärvid: M161 (pruun), RAL 5023(sinine), RAL 3011 (punane), RAL 6003 (roheline), RAL7040 (hall), võimalik erinevate värvikataloogide järgi
Viimistlus	teak spoon+toonitud õli. NB! Lülipuidu pinnal võib esineda värvikõikumisi (roheline, kollane, punane jne) ja tumedaid (peaaegu mustasid) triipe., Värvikõikumised tekivad kuivatamise ajal, ning ühtlustuvad hiljem valguse ja õhu toimel tumepruuniks.
Klaas	2-kordne klaaspakett energiasäästuklaasi ja argoontäitega (diamante,kirgas või cotzwold), võimalik toota sooja vahelistuga

Lisa 9 Aedniku tee 20, lõige



Lisa 10 Elamu vaated



Lisa 11 Õhk-õhk soojuspump – tehnilised andmed

Fujitsu DC inverter ASYA 12LEC/AOYR 12LECN



Üldised andmed

Soojendusvõimsus + 35° C	4.0 (0.9-5.6) kW
Jahutusvõimsus + 7° C	3.4 (0.9-3.9) kW
Elektrivõimsus kütmisel:	0.99 kW
COP (kasutegur kütmisel) + 7° C	4.12 W/W
COP (kasutegur kütmisel) -25° C	2.92 W/W
EER (kasutegur jahutamisel) +35° C	3.85 W/W
Soovitatav ruumi pindala (kütmisel)	40-80 m ²
Soovitatav ruumi pindala (jahutamisel)	kuni 35 m ²
Niiskuseraldus	max 1.5 l/hr
Kompressori tüüp	DC Inverter / Rooror
Tagatud töötemperatuur kütmisel:	-25° C

Müratase

Siseseadme müratase	21-43 dB(A)
Müratase unerežiimis	21 dB(A)
Välisseadme müratase	48 dB(A)

Mõõtmed

Siseosa (laius x sügavus x kõrgus)	790x202x260 mm
Välisosa (laius x sügavus x kõrgus)	790x290x540 mm

Kaal

Siseseadme netokaal	8 kg
Välisseadme netokaal	36 kg

Elektriandmed

Elektritoide	230V/50Hz/1faas
Töövool	5.6 amprit / max. 8.0
Kaitseautomaadi tüüp	C10A
Toitekaabli mõõt	3x1.5
Juhtimiskaabli mõõt	4x1.5
Toitekaabli ühendus	Välisseadmes

Lisainformatsioon

Seadme tüüp	DC Inverter
Energiaklass	A
Külmaaine	R410A
Garantii	2 aastat
Temperatuuri vahemik	16-30 °C (+10° C)

Režiimid

Automaatne Soojendus Jahutus Kuivatus Ventilaator

Lisa 12 Ventilatsiooni seade SAVE VTC 200R – tehnilised andmed



SAVE VTC 200 R#

Toote number 24802

Version: Filter F7-G4

Document type: Toote kaart
Document date: 2018-01-08
Generated by: Systemairi veebikataloog



Description

- A high-efficiency heat recovery unit with about 90 % heat recovery
- Energy-efficient RadiCal fans with modern EC technology
- Separate settings of supply and extract air flow
- Start-up wizard for easy commissioning
- Automatic defrosting (built-in humidity sensor)
- Demand ventilation regulation as standard by the built-in humidity sensor
- Modbus communication via RS-485

The SAVE VTC 200 is designed for installation on the wall and preferably installed in a secondary room, for example a storeroom or laundry room. The SAVE VTC 200 is designed for applications up to approx. 160 m².

The casing is built of sheet metal and well insulated against condensation. The inner part of the case is made of expanded polypropylene (EPP) and provides extremely good insulation in terms of noise and heat losses. All components are easily removed for maintenance and service.

Commissioning of the unit will be done from one or more CD control panels. A start-up wizard will make the commissioning easier, which can avoid that the unit is running at wrong conditions. Symbols and text in the display will indicate chosen settings; Supply air temperature and fan speed. Commissioning of airflow on supply and extract, will be done at start-up but can be set from the menu settings as well. Timer-function for automatic change between day and night operation is integrated. Setting of filter period is also available. Alarm signal will indicate possible malfunctions.

The unit is equipped with outputs to control an external hot water battery and inputs prepared for demand controlled ventilation from external sensors, e.g. CO₂, presence or humidity sensor (potential free contact). Unit is delivered with built in moisture sensor that not only provides you demand controlled ventilation as standard but also is used for detecting and control defrosting in colder climate

The unit has an automatic defrost function with the built in moisture sensor that can be chosen in 3 different modes depending on the indoor environment as well as the outdoor conditions. Without preheater in tight houses / passive houses where unbalanced airflow is not allowed the unit works down to 0°C. Without preheater when unbalance is allowed the unit works down to -3°C. With preheater the unit works down to -20°C depending on the preheater size. The CB preheater can be obtained as an accessory together with the preheater card



The unit is delivered with supply air filter G4 and extract air filter G4. Option for F7 supply air filter is available.



Tehnilised parameetrid

Unit	
Pinge	230 V
Sagedus	50 Hz
Faas	1 ~
Kaal	52 kg
Soovitatav kaitse	10 A
Kaitseklass	IP24 IP
Heat exchanger	
Exchanger type	Vastvoolu soojusvaheti
Heater	
Heating type	pole

Lisa 12 järg

Supply fan		
Input power (P1)		68 W
Extract fan		
Input power (P1)		68 W
Supply filter		
Filter, sissepuhe		G4
Extract filter		
Filter, väljatõmme		G4
Others		
Mounting type		Vertikaalsed seadmed
Supply side		Parem
ErP		
Energy class, basic unit		
Energy class, basic unit option		
ErP ready		ErP 2016/ErP 2018

Lisa 13 Päikesekollektorid ArcticCat – AC Kliima OÜ

Esileht » Päikesekütte komplekt AC300 - 3-4 inimese sooja tarbevee tootmiseks



Zoom



Päikesekütte komplekt AC300 - 3-4 inimese sooja tarbevee tootmiseks

Tootekood: AC300

Kaubamärk: ARCTICCAT

Ühik: komplekt

SOETADA AITAB AC JÄRELMAKS

Hind: 2149,00 €

Kogus: - või -

Meeldib

Päikesekütte komplekt AC300 sooja tarbevee tootmiseks

Komplekti kuuluvad:

plaatkollektor - 3tk
päikesekütte kontrolleri
päikesekütte pumbagrupp
päikesekütte boiler 300l
päikesekütte paisupaak.

Komplektis olevad boileril on 2 soojusvahetit, seega on võimalik lisada ka täiendav kütteallikas (soojuspump, katel vmt.).

Komplekt sobib 3-4 inimese sooja tarbevee tootmiseks. Hinnang on soovituslik ning individuaalne.

Lisa 14 Päikesepaneelid ArcticCat – AC Kliima OÜ



Komplekt päikesest elektri tootmiseks 5kW (plekk või valtsplekk)

Tootekood: 5-17PK

Kaubamärk: ARCTICCAT

Ühik: komplekt

SOETADA AITAB AC JÄRELMAKS

Hind: **5958,00 €**

Kogus:

LISA KORVI

- või - Võrdle

Meeldib Registreeru, et näha, mis su sõpradele meeldib.

PÄIKSEPANEELIDE UUS PÕLVKOND - 295W VÕIMSUSEGA PANEELI! Saadaval vaid AC Kliimas!

Komplekti kuuluvad:

- * 17PV paneeli (iga paneel võimsusega 295W) * Fronius inverter
- * Renusoli alusraamide paigalduskomplekt plekk-katusele
- * 30m solaarkaablit
- * Vahekilp 230V/380V

Selle komplekti paigaldamiseks on vaja minimaalselt 31m² katusepinda.

Miks eelistada ArcticCat päikesepaneele?

- Paigaldame oma paneelid kvaliteetsetele Saksamaa päritoluga Renusoli raamidele
- Kui peaks tekkima vajadus, siis on võimalik igat paneeli hiljem eemaldada nii, et teisi paneele liigutada ei ole vaja.
- Näiteks 64m² katuselahendus toodab aastas ligikaudu 10000kWh energiat.
- Tootjapoolne garantii paneelidele on 12 aastat
- Uue põlvkonna tehnoloogiana kasutatakse laseriliga jootmist, mitte mehhaanilist. Laser-jootmine annab paneelidele pika eluea.
- Paigaldamiseks kasutame väga kvaliteetseid anodeeritud alumiiniumist raame. Paigalduse garantiiaeg on 7 aastat.
- Paneelidel kasutatav klaas on spetsiaalselt Indias toodetud püramiidse stuktuuriga klaas, mis töötab põhimõttel, et 95% paneelile langevatest päikesekiirtest ringlevad klaasis olevates minipüramiidides, enne kui langeb elemendile ja hakkab elektrit tootma. See tagab, et päikeseenergia ei lähe kaduma ning paneelid on ülitõhusad.
- Paneelid toodetakse Eestis ning seetõttu on võimalik toota ka eritellimuspaneele, nagu näiteks ümmargusi, ovaalseid, kolmnurkseid, painduvaid, erinevates värvides vastavalt maja disainile. Samuti on võimalik valmistada elektritootvaid fassaadi - või katusekatte elemente.

Lisa 15 Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamine PVGIS andmebaasi abil

The screenshot displays the PVGIS web application interface. The browser address bar shows the URL: `re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php`. The page header includes the JRC and CM SAF logos, and the title "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps".

The main interface is divided into two main sections:

- Map Section:**
 - Search bar: "Aedniku tee 20, Metsanurme".
 - Cursor position: 59.267, 24.652
 - Selected position: 59.266, 24.653
 - Map view: "Map" (selected), "Satellite".
 - Map labels: AEDNIK, SIDELANE, KASESALU, KURESOO, VILI, AUTO, LEHEKE, TIGU, MÄNNIKU.
- Configuration Panel (Performance of Grid-connected PV):**
 - Navigation tabs: PV Estimation (selected), Monthly radiation, Daily radiation, Stand-alone PV.
 - Alert: "NEW: PVGIS 5 release candidate. Read about it here and try it out!"
 - Radiation database: Classic PVGIS
 - PV technology: Crystalline silicon
 - Installed peak PV power: 5 kWp
 - Estimated system losses [0;100]: 5 %
 - Fixed mounting options:**
 - Mounting position: Building integrated
 - Slope [0;90]: 30 °
 - Azimuth [-180;180]: -45 °
 - Tracking options:**
 - Vertical axis: Slope [0;90]: 0 °
 - Inclined axis: Slope [0;90]: 0 °
 - 2-axis tracking
 - Horizon file: Choose file (No file chosen)
 - Output options:**
 - Show graphs:
 - Show horizon:
 - Web page:
 - Text file:
 - PDF:
 - Buttons: Calculate, [help]

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 59°15'56" North, 24°39'9" East, Elevation: 43 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 5.0 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 11.6% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.4%
Other losses (cables, inverter etc.): 5.0%
Combined PV system losses: 18.9%

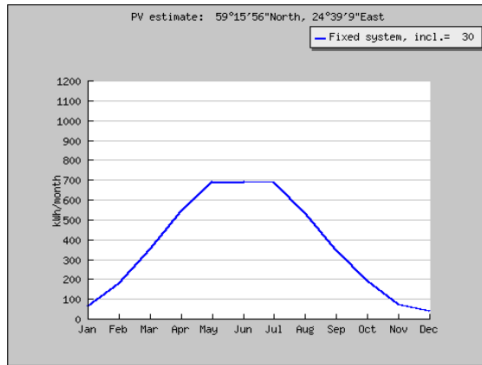
Fixed system: inclination=30 deg., orientation=-45 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.08	64.3	0.46	14.2
Feb	6.42	180	1.42	39.7
Mar	11.20	349	2.57	79.8
Apr	18.00	540	4.31	129
May	22.30	692	5.62	174
Jun	23.10	692	5.92	178
Jul	22.20	688	5.82	180
Aug	17.10	531	4.37	136
Sep	11.40	343	2.81	84.2
Oct	6.15	191	1.44	44.8
Nov	2.36	70.9	0.54	16.3
Dec	1.21	37.4	0.28	8.59
Year	12.00	365	2.97	90.4
Total for year		4380		1080

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

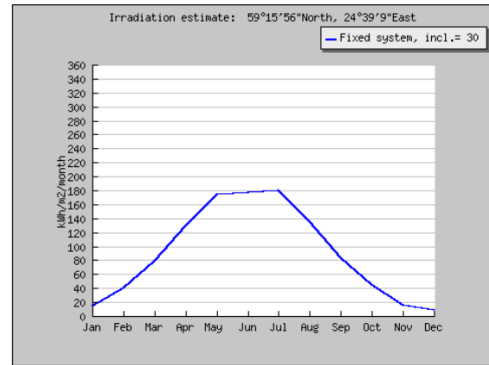
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

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

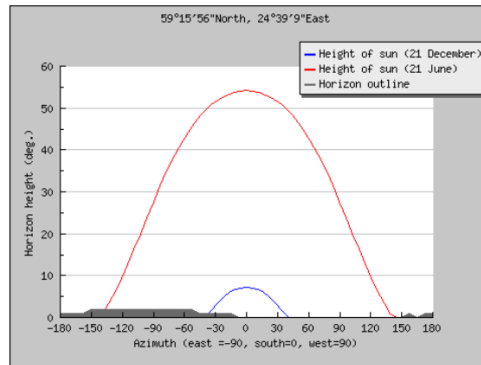
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

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

This information is:

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

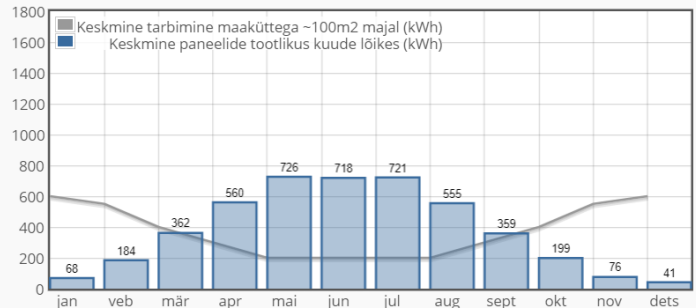
Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred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

Lisa 16 Päikesepaneelide kalkulaatorite arvutused

Kui suur oleks sinu energiatootlikus?

Muutes lähteandmeid näed graafikult planeeritava päikesepaneelide süsteemi elektrienergia tootlikust kuude lõikes.

Süsteemi võimsus:	5kW
Paneelide asetsemise nurk: ?	30°
Paneelide paiknemine: ?	-45°
Paneelide haaratav pindala: ?	33m ²
Paneelide arv: ?	20tk
Orienteeruv aastane tootlikus:	4569kWh
Orienteeruv maksumus koos paigaldusega: ?	8640EUR



Kasutades lähteandmeid, soovin täpsemat hinnapakumist

PÄIKESEPANEELIDE KALKULAATOR

SISESTA OMA AASTA ELEKTRIVARVE

850 €

ARVUTA

SINU ANDMED

Kasutatav kWh aastas	6428.57 kWh
Sobilik süsteem	5 kW
Maksumus € koos km-ga	7500 €
Tootlikkus aastas	4710 kWh*
Vajalik pind m ²	33 m ²
Omatoodetud elektrihind 30-aastaks	0.09 €/kWh
10 aasta aastakeskmine sääst	870.86 €**

*paneelid suunaga lõunasse, 40 kraadise nurga all
**arvestades elektrihinna tõusuks aastas 5%

Vaata, kui palju sa säästa võid

Sisesta oma aasta elektriarve:

850

€

ARVUTA

Soovitav süsteemi võimsus 4.4 kW

Süsteemi maksumus koos käibemaksuga 5400 €

Omatoodetud elektri summa aastas 595 €

* Kui paneelid on suunatud lõunasse ja paigutatud 40 nurga alla

SUMMARY

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND INDOOR CLIMATE ON THE EXAMPLE OF DETACHED HOUSE IN AEDNIKU ROAD 20

Olev Kruusenvald

Language:	Estonian	Figures:	7
Pages:	72	Tables:	20
Referenses	25	Appendixes:	10

The purpose of this thesis was to calculate the energy performance of an existing detached house, and to find solutions for the improvement of indoor climate and energy efficiency.

In this thesis the author conducted calculations based on “Minimum energy performance requirements” and “Methodology for calculating the energy performance of buildings”. The house was built in 2007 and therefore the constructions and the exterior are visually in good condition. Author’s calculations signify that the thermal transmittance through the building’s outside surface stays in the recommended value and for this reason reconstruction of outside surface or additional insulation is not suggested.

According to the calculations the weighted energy consumption of Aedniku Road 20 is 192 kWh/m²a and therefore the building holds an energy label “D”. Considerable energy loss is mainly caused by the house’s natural ventilation system and the usage of electric heating. To receive a better energy label, the author suggests installing a heat recovery ventilation system and solar panels to compensate the consumption of electric energy partially or entirely during summer period. Based on the calculations heat recovery ventilation will reduce the energy loss by 45% and solar panels will cover the electric energy expended on devices and lighting by up to 100%. If these suggestions are implemented, the weighted energy consumption would drop to 104 kWh/m²a

or approximately 54% lower. The house would achieve energy label “B” and would become a low-energy home.

In the author’s opinion, this solution is the most optimal and the raise of energy efficiency is remarkable. Heat recovery ventilation will ensure an energy efficient indoor climate and using solar power to produce electricity will give the desired outcome for improving energy efficiency. As a result the author believes that the purpose of this thesis has been achieved. The house can be categorised as a low-energy home and will receive the energy label “B”.

This thesis can be beneficial to the owners of detached houses whose homes have been built in the same time period and who are looking for solutions to improve energy efficiency. Naturally every object will need a personal approach depending on the location and other factors, but similarly to the calculations conducted in this thesis it is possible to achieve remarkable results in raising a house’s energy efficiency. Regardless of the payback period of such investment, an energy efficient and solar powered house is more attractive on the real estate market and in author’s opinion may have a better market position compared to other houses of equivalent value.

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: Olev Kruusenvald
(Eesnimi Perenimi, 09. jaanuar 2018)

Üliõpilaskood: 143507BDRR

Töö vastab kehtivatele nõuetele.

Juhendaja: Roode Liias
(Eesnimi Perenimi, 09. jaanuar 2018)

Kaitsmisele lubatud: "....." 2018
kaitsmiskomisjoni esimees:

.....
(nimi, allkiri)