



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

ÜKSIKELAMU ARVUTUSLIK JA TEGELIK ENERGIATARVE

SIMULATION AND MEASUREMENTS OF ENERGY
CONSUMPTION OF A DETACHED HOUSE

Üliõpilane: **Martin Polikarpus**

Juhendaja: **Tõnu Mauring**

Kaasjuhendaja: **Olgerd Vares**

Tartu, 2014

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

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood:

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

..... (kaasjuhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: (allkiri)

ABSTRACT

Polikarpus, M. Simulation and measurements of energy consumption of a detached house. Master's degree. Tartu 2014. 91 pages, 38 figures, 12 tables, 26 formulas. Format A4. In Estonian.

The study consists of a comparison of simulation and measurements of energy consumption for low-energy house in one-year period. The house is located in Tartu County, Estonia and is heated with ground-source heat pump. The house has been viewed in PHPP 2007, a software which is designed for passive houses. Comparison of internal heat gains, heat losses, domestic hotwater production and electricity usage has made between standard and actual usage profile. Calculations are made according to PHPP methods and according the requirements in Estonian Energy Efficiency law. Comparison between actual usage profile and energy measurements has been made according to climate data for the period of April 2013-April 2014. Calculations have been made according to different ground-source heat pump coefficient of performances which are given by heat pump producer and Estonian Energy Efficiency law.

In the calculations made according to Estonian Energy Efficiency law, internal heat gains and energy usage for domestic hotwater is overestimated in the viewed detached house. Ventilation heat losses are higher when minimum ventilation rates according to Estonian law are used. In the detached house that is subject to calculations it is impossible to compare calculations and actual energy consumption for heating and domestic hotwater production. Heat pump coefficient of performances given in Estonian law and by heatpump producer are underestimated and the actual calculated coefficient of performances are higher. The primary energy demand, when using coefficient of performances given in Estonian law, is 16% higher than calculations made according to actual coefficient of performances.

In the low-energy buildings where ground-source heat pump is used as a energy source for heating and domestic hotwater, there has to be made more precise calculations in the planning pahase for heatpump coefficient of performances. To avoid mistakes in calculations for primary energy demand, accurate calculations for internal heat gains and for domestic hotwater production has to be made.

Keywords: low-energy house, energy simulation, measurements, comparison, performance of ground-source heat pump ,user experience

SISUKORD

ABSTRACT	3
SISUKORD	5
KASUTATAVAD MÕISTED JA LÜHENDID	7
SISSEJUHATUS	10
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	12
1.1. Madala energiatarbega hoonete areng	12
1.2. Energiatõhususe miinimumnõuded Euroopas ja Eestis ning selle tulevik	13
1.3. Varasemalt teostatud sarnased uuringud.....	14
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	16
3. MATERJAL JA METOODIKA.....	17
3.1. Hoone kirjeldus.....	17
3.2. Hoone rõhutesti tulemused	26
3.3. Kasutatud mõõteseadmed	27
3.4. Vaadeldav periood	28
3.5. Arvutusmetoodika.....	29
3.6. Kasutatavad arvutustarkvarad.....	37
3.7. Piirete soojustehnilised näitajad.....	37
4. ENERGIAARVUTUSED	42
4.1. Standardkasutus	42
4.2. Tegelik kasutusprofiil	53
4.3. Standardkasutuse ja tegeliku kasutusprofiili võrdlus.....	64
5. MÕÕDETUD ENERGIAKULU VÕRDLUS TEGELIKU KASUTUSPROFIILI ARVUTUSTEGA NING KASUTAJATE HINNANG	73
5.1. Mõõdetud netoenergiakulu	73
5.2. Soojustegurite võrdlus tarbevee soojendamisel ning elektrienergiatarve tarbevee soojendamiseks.....	75
5.3. Hoone kütmiseks vajaliku mõõdetud neto elektrienergiakulu võrdlus tegeliku kasutusprofiili energiavajadusega.....	77
5.4. Mõõdetud neto energiakulu võrdlus tegeliku kasutusprofiili arvutustega.....	78
5.5. Kasutajate hinnang.....	83
6. KOKKUVÕTE	87

KASUTATUD KIRJANDUS	90
LISAD	93
LISA 1 Hoone soojakaod ja soojusenergia allikad vaadeldava perioodi tegelike kliimaandmete baasil	94
LISA 2 Tegeliku kasutusprofiili arvutuslik seadmete ja valgustuse poolt tarbitud elektrienergia nelja elaniku puhul (PHPP arvutus).....	98
LISA 3 Tehnoseadmete poolt tarbitav arvutuslik elektrienergia (PHPP arvutus).....	99
LISA 4 Niiskustagastusega soojusvaheti tehnilised andmed (Paul lueftung, entalpie).....	100
LISA 5 Ventilatsiooniseadme Paul Focus (F) 200 tehnilised andmed (Paul lueftung).....	101
LISA 6 Akumulatsioonipaagi Flamco KPS 500 tehniline spetsifikatsioon (Flamco).....	103
LISA 7 Rehau Geneo PHZ aknaraami sertifikaat ja tehnilised andmed (Passiv.de).....	104
LISA 8 klaaspaketi tehnilised andmed (tootjalt saadud andmed)	106
LISA 9 Klaaspaketi vaheliistu Chromatech Ultra F tehnilised andmed (tootjalt saadud andmed)	107
LISA 10 Maasoojuspumba Nibe F1245 tehnilised andmed (Nibe maasoojuspump)	108
LISA 11 Ventilatsiooniõhu eelkütteseadme DN160 tehniline spetsifikatsioon (Paul lueftung, defrosterelemente).....	109
LISA 12 Garaažiukse tehnilised näitajad (Tootjalt saadud andmed)	111
LISA 13 Toa ja tuulekoja vahelise ukse tehnilised andmed (Tootjalt saadud andmed)....	112
LISA 14 Välisukse tehnilised andmed (Tootjalt saadud andmed)	113
LISA 15 Hoone vaated lõunast ja põhjast	114
LISA 16 Hoone vaated idast ja läänest.....	115
LISA 17 Hoone esimese korruse plaan	116

KASUTATAVAD MÕISTED JA LÜHENDID

Mõisted määrustest Energiatõhususe miinimumnõuded. (2014), Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. (2012)

Energiatõhususarv [$\text{kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$] - arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiatega kaalutud erikasutus;

Hoone tegelik kasutusprofiil - hoone tegelik kasutus, mis võtab arvesse kasutajate eelistusi, tarbimisharjumusi ning neid mõjutavaid tegureid;

Hoone standardkasutus - hoone tavapärase kasutuse vastavalt kindlaksmääratud parameetritele. Standardkasutuse kindlaksmääramisel võetakse arvesse hoone kasutamise otstarvet;

Hoone summaarne energiakasutus (kW h/a) - hoone sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ja elektriseadmete kasutamiseks vajalik tehnosüsteemide soojusenergia ja elektri kasutus. Hoone summaarne energiakasutus sisaldab kõiki tehnosüsteemide, sealhulgas soojusallikate ja lokaalse tootmise jaotussüsteemide kadusid ja energia muundamist (soojuspumba soojustegur);

Köetav pind - sisekliima tagamisega ruumide netopind;

Liginullenergiahoone - parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendustega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui $0 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$ kuid ei ületa $50 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$;

Madalenergiahoone - parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendustega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille puhul ei eeldata lokaalset elektri tootmist taastuvenergiaallikast. Energiakasutus ei tohi väikeelamutes ületada $120 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$;

Netoenergiavajadus - sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ning valgustuse ja seadmete kasutamiseks vajalik soojus- ja elektrienergia ilma süsteemikadudeta ning

energia muundamiseta. Netoenergiavajadus jaguneb: netoenergiavajadus ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks, valgustamiseks ja seadmete kasutamiseks;

Netoenergiavajadus ruumide kütteks - ruumide ruumitemperatuurini kütmiseks vajalik soojusenergia (soojushulk), arvestades vabasoojusi, välispiirete soojuskadusid, välispiirete ebatiheidustest (infiltratsioonist) tulenevaid soojuskadusid ja ruumi sissepuhutava ventilatsiooniõhu soojenemist ruumitemperatuurini;

Netoenergiavajadus tarbevee soojendamiseks - vee soojendamiseks vajalik soojusenergia;

Netoenergiavajadus ventilatsiooniõhu soojendamiseks - ventilatsiooniõhu sissepuhketemperatuurini soojendamiseks vajalik soojusenergia, millest on maha arvatud soojustagastus;

Seadmed - tehnosüsteemide koosseisu mittekuuluvad lõppkasutaja seadmed, näiteks kodumasinad ja elektroonika;

Tehnosüsteemid - küttesüsteem, sooja tarbevee tootmise süsteem ja ventilatsioonisüsteem;

Vabasoojus - hoonesse sisenev päikesekiirgus, inimeste, valgustuse ja seadmete ning tehnosüsteemide soojuskaod.

Teemakohased mõisted ja lühendid

EEB - Eesti energiaarvutuste baasaasta. Sisekliima- ja energiaarvutuseks koostatud väliskliima andmete kogum, mis põhineb üle-eestilistel kliimaandmetel ajavahemikus 1970-2000 ja on koostatud vastavalt standardile *Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling* EVS-EN ISO 15927-4:2005;

Hoone – käesolevas töös käsitletakse hoonena kogu hoonet, mille sisepindala on õhutiheda hoonekarbi (182 m²) ning garaaži (32 m²) pindalade summa 214 m²;

Kompaktsustegur - Hoone välispinna (seinad, põrand, lagi) ja siseruumala suhe (A/V);

Maasoojuspumba soojustegur (COP) - näitab mitu kW h soojusenergiat saadakse soojuspumbaga ühest kW h elektrienergiast;

Madalenergiahoone (*low-energy house*) - vaadeldava hoone energiatõhusus on kõrgem kui energiatõhususe miinimumnõuded; väljendab hoone energiatõhususe taset, kus ruumide neto küttevajadus on 30-70 kW h/(m² a). Eeldusandmed ja arvutusmeetodid on riigiti erinevad (ühtset standardit ei ole), seega ei ole saadud tulemusi üks-ühele võrrelda võimalik. Arv millega energiatõhus hoone on defineeritud, on ajas olnud muutuv – varasem tase 70 kW h/(m² a) on tänaseks mitmete riikide miinimumnõue; hetkel on Euroopas tüüpiliseks tasemeks ruumide neto küttevajadus 40 kW h/(m² a); (Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatõhususega hoone ehitamisel, 2009)

Passiivmaja (*Passive House*) - hoone, milles kõrget mugavust tagavat temperatuuri hoitakse talvel ja suvel väga väikese energiavajadusega. Kõrge siseõhu kvaliteet ja soojuslik mugavus on tagatud ruumide neto küttevajaduse juures, mis on vähem kui 15 kW h/(m² a) ja primaarenergiavajaduse juures, milles sisaldub ka sooja tarbevee ja majapidamisseadmete energiavajadus, alla 120 kW h/(m² a). Lisaks on oluline piirete õhupidavus $n_{50} < 0,6$ korda tunnis ning akende soojusjuhtivus $U_w < 0,8$ W/(m² K); (Passive House requirements)

PHPP - Passiivmaja planeerimise pakett (*Passive House Planning Package*), mis kasutab Passiivmaja Instituudi (*Passive House Institute*) poolt välja töötatud hoonete energiaarvutuste metoodikat;

Õhutihe hoonekarp - käesolevas töös hooneosa, mille ehitamisel on kasutusele võetud õhutihedust tagavad meetmed ning mille ventileerimine toimub ventilatsiooniseadmega. Käesolevas töös on õhutiheda hoonekarbi pindala võrdne hoone elamispinna 182 m².

SISSEJUHATUS

Energihindade tõusu ning karmistuvate hoonetele esitatavate energiatõhususnõuete taustal on hoonete arvutuslike energiatarvete võrdlus tegeliku tarbimisega aktuaalne, andmaks tagasisidet arvutusmetoodika pädevusele ja seadusandluses kirjeldatud metoodikale, võttes seejuures arvesse hoone soojustehnilisi omadusi, kasutatavaid tehnoseadmeid, tegelikke kasutajate harjumusi ja tagasisidet valminud hoonele. On ka oluline, et hoonete energiatõhususe suurendamisel säiliks või paraneks tulevaste kasutajate elukvaliteet, mistõttu on vajalik kasutajatepoolne tagasiside.

Vaadeldava töö aluseks on 2013. aasta kevadel eriprojekti alusel valminud ühekorruseline ühepereelamu Tartumaal, Kambja vallas. Energiaarvutuste võrdluses mõõdetud võrdlusandmetega on vaadeldavaks perioodiks aprill 2013 - aprill 2014.

Hoone energiatarbe arvutused on teostatud passiivmajade planeerimise arvutustarkvaga PHPP 2007 vastavalt Passiivmaja Instituudi poolt välja töötatud metoodikale. Hoone kavandamisel on olnud eesmärgiks saavutada võimalikud madalad ekspluatatsioonikulud, projekteerides hästi soojustatud hoonekarp ning kasutades võimalikult efektiivseid tehnoseadmeid ja madala soojusjuhtivusega aknaid, tegemata seejuures kompromisse hoone arhitektuuris ja tulevaste kasutajate mugavuses. Passiivmajastandardi saavutamine ei ole olnud hoone ühekorruselisuse tõttu eesmärgiks, sest hoone suure kompaktsusteguri tõttu ($1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$) ei ole see majanduslikult ega tehniliselt Eesti kliimavöötmes otstarbekas ja võimalik.

Kirjanduse ülevaates käsitletakse madala energiatarbega hoonete liike ning tutvustatakse passiivmaja, selle ajalugu ning kontseptsiooni rakendamist Euroopas ja Eestis. Kirjeldatakse ka üldist energiatõhususe alast tausta Eestis ja Euroopas ning varasemalt teostatud sarnaseid uuringuid.

Töös püstitatud ülesanneteks on võrrelda PHPP metoodika ning töö koostamise hetkel kehtiva energiatõhususalase seadusandluse põhjal tehtud hoone standardkasutuse arvutusi tegeliku kasutusprofiili arvutustega ning teostada vaadeldaval perioodil mõõdetud energiakulude võrdlus arvutuslike kuludega vastavalt kehtiva seadusandluse ning hoone tehnoseadmete spetsifikatsiooni andmetele.

Vaadeldaval hoonel teostatakse välistarindi soojakadude ja külmasildade arvutused, võttes arvesse erinevaid välispiirde konstruktsioone. Arvutuste aluseks on võetud standardid Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. (2010), Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. (2008) ning PHPP metoodika. Arvutatakse soojusenergiakaod läbi välispiirete ja ventilatsioonisüsteemi, hoone tehnosüsteemide käitamiseks ja tarbevee soojendamiseks kuluv energiahulk ning kasutajate, elektriseadmete ja valgustuse poolt tekitatav vabasoojus vastavalt PHPP metoodikale ja töö koostamise hetkel Eestis kehtivatele hoonete energiatõhususe määramise nõuetele. Arvutused teostatakse vastavalt standardkasutusele ning tegelikule kasutusprofiilile.

Töö teises osas võrreldakse standardkasutust tegeliku kasutusprofiiliga ning antakse ülevaade hoone tegelikest eksploatatsioonikuludest. Tegelike eksploatatsioonikulude võrdlus toimub tegeliku kasutuseprofiili energiaarvutustega vaadeldaval perioodil. Võrreldavuse tagamiseks teostatakse arvutused kraadtunni meetodil vastavalt vaadeldava perioodi väliskliimale. Võrdluses kasutatakse Eesti seadusandluses kirjeldatud nõudeid, hoone tehnoseadmete tootjate poolt antud andmeid ning tegelikel tarbimistel arvutatud andmeid ja võrreldakse andmete alusel saadud arvutustulemusi tegeliku energiatarbega.

Töö lõpus antakse hoone kasutajatepoolne hinnang. Vaatluse alla tuleb hoone rajamise kogemus ja kulude suurusjärgud, sisseelamisperiood, tehnosüsteemide kasutamise kogemus, soojuslik mugavus ning ülalpidamiskulud.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Madala energiatarbega hoonete areng

Madalenergiאהoonete (*super-insulated house*) kontseptsioon sai alguse 1970. aastatel ning selle põhjustajaks oli naftakriis. Hiljem on seda ideed edasi arendatud ning üheks väljundiks on passiivmaja. Esimene passiivmaja ehitati Saksamaal 1991. aastal ja alates sellest on passiivmaja planeerimise meetod ennast tõestanud ja leidnud järjest laiemat kasutuselevõttu Euroopas (Feist et al, 2005). Lisaks passiivmajakontseptsioonile on olemas ka teisi väga energiatarbivate hoonete lahendusi nagu Šveitsi standardid „Minergie“, „Minergie-P“, „Minergie-Eco“ (Minergie) ning Saksa standard „Niedrigenergie“. (Niedrigenergiehaus)

Passiivmajakontseptsioon ja selle rakendamine

Passiivmaja on hoone, mille ehitamisel on kasutatud väga energiasäästlikke komponente. Komponentideks on väga hea soojapidavusega välispiirded ja aknad, kõrge soojustagastusega ventilatsiooniseadmed ning päikesekiirguse ära kasutamine kütteks talvisel perioodil. (Passive house)

Passiivmajadele esitatavad nõuded (Passive house):

- hoone kütmiseks ja jahutamiseks kulub aastas $< 15 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$
- primaarenergia tarve - küte, soe vesi ja majapidamiseks kuluv elekter $< 120 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$
- akende soojajuhtivus $U_w < 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
- piirete õhupidavus $n_{50} < 0,6$ korda tunnis

Passiivmajakontseptsioon on end enam kui 20 aastaga tõestanud, mistõttu kogub see järjest suuremat populaarsust ja kasutuselevõttu. Viimase 10 aasta jooksul on sertifitseeritud passiivmajade arv kasvanud hüppeliselt. 2012. aasta seisuga on Euroopas ehitatud enam kui 65 000 passiivmaja ning see arv kasvab kontseptsiooni laia kasutuselevõtu tõttu kiirelt (Current situation of Passive House in Europe). Eestis on 2014. aasta kevade seisuga 1 sertifitseeritud passiivmaja, mis asub Põlva maakonnas. Sertifitseerimisel on ka teine maja Tartu lähistel, Õssu külas. (Passiivmajaliit)

1.2. Energiatõhususe miinimumnõuded Euroopas ja Eestis ning selle tulevik

Euroopa hoonete energiatarve moodustab 40% kogu primaarenergia vajadusest (Tommerup et al, 2007) ning sellest enam kui 70% kulub hoonete kütmisele (Anisimova, 2011). Sellest tulenevalt omab hoonete energiatõhususe suurendamine olulist potentsiaali. Võimalikud energiasäästumeetmed on paremate soojusisolatsiooniomadustega materjalide kasutamine, õhutihedus, soojustagastusega ventilatsiooniseadmed, mis aitavad vähendada hoonete poolt tarbitavat energiat. (Hesaraki ja Holmsberg, 2013)

Energiahindade tõusu ja CO₂ emissiooni vähendamise taustal on Euroopa seadusandjad esitanud seadusloome käigus uutele ja ehitatavatele hoonetele järjest karmimaid energiatõhususe nõudeid. Euroopa parlament on vastu võtnud direktiivi, mille kohaselt peavad Euroopa Liidus kõik uued ehitatavad hooned olema 2020. aasta lõpust alates liginullenergia hooned. (Directive 2010/31/EU, 2010)

Direktiiviga on liikmesriikidele pandud kohustus kohaldada järk-järgult seadusandlust selliselt, et eelmainitud eesmärk oleks täidetud. Viimase kolme aastaga on Eesti energiatõhususe miinimumnõuete määrus karmistunud selles valguses märgatavalt ning kasutusele on tulnud järgmised mõisted: madalenergiahoone, liginullenergiahoone ja netonullenergiahoone (Energiatõhususe miinimumnõuded, 2014).

Madalenergiahoone puhul on tegemist üleminekuvariandiga, kus tarnitud energiavajadus ei tohi ületada 120 kW h/(m² a) ning ei kasutata kohapeal toodetud taastuvatest energiaallikatest energiat. Liginullenergiahoone puhul eeldatakse taastuvatest energiaallikatest energiatootmist ning tarnitud energiavajadus ei tohi ületada 50 kW h/(m² a). Netonullenergiahoone puhul tuleb kogu hoones tarbitud energia toota kohapeal ning arvestatakse aastast energiabilanssi. Kuna kohapealne energiatootmine peab ära katma ka valgustuse ja elektriseadmete poolt tarbitava energia, siis on vajalik kasutada näiteks *on-grid* PV-paneelide süsteemi või piisava võimsusega tuulegeneraatorit. (Energiatõhususe miinimumnõuded, 2014)

Eesti on väheseid riike Euroopas, kus liikmesriikidele määratud hoonete energiatõhususalased nõuded on kehtestatud seadusandluses. Karmistunud nõuded toovad endaga kaasa mitmeid lahendamist vajavaid probleeme. Vajalik on hinnata investeeringute otstarbekust ja teha tasuvusarvutused hoonekomponentide lõikes, viies seejuures hoone soojakaod miinimumi, vältimaks kõrgeid investeeringukulusid taastuvenergiasse.

Primaarenergiaarvutustel on oluline tagada arvutuste aluseks olevate parameetrite adekvaatus, vältimaks tarbetuid investeeringuid.

Üle-Euroopalise projekti CEPHEUS (*Cost Efficient Passive Houses as European Standards*) tulemustes on välja toodud passiivmajakontseptsioon kui üks võimalikest variantidest direktiivi 2010/31/EU eesmärkide saavutamisel. Seejuures on peetud oluliseks ka hoonete ehitamise kuluefektiivsus ja ehitatud näidishooned ei ole võrreldes tavahoonetega kallimad, sest passiivmajastandardi kasutuselevõtuga on võimalik ära jätta kulukas küttesüsteemi ehitus. (Schniedersa, Hermelink, 2006)

Eestis on passiivmajastandardit järgimata võimalik saavutada madalenergiahoone tase. Oluliselt keerulisem ja vähem kuluefektiivsem on passiivmajastandardit järgimata ehitada liginullenergiahoonet ning netonullenergiahoone ehitamine on praktiliselt võimatu. Rakendades passiivmajameetodi nõudeid, on võimalik soojakaod viia miinimumini, vähendades seejuures kütteenergiavajadust. Väiksema energiatarbe puhul on võimalik vähendada ka investeeringuid taastuvenergiatootmisse.

1.3. Varasemalt teostatud sarnased uuringud

Simulatsioon versus tegelik tarve

Rootsis võrreldi hoonete projekteerimise käigus arvutatud (modelleeritud) energiakulu mõõdetud energiakuluga. Mõõdetud tulemused on olnud kõrgemad, sest kasutajad on hoidnud ruumides kõrgemat sisetemperatuuri kui see on olnud arvutustes (20 °C). Hoone üldine energiatarve on olnud suurem ka seetõttu, et kasutajad on paigaldanud projekteeritust rohkem elektrienergiat tarbivaid seadmeid või on kasutusele võtnud planeeritust väiksema energiatarbega elektroonikaseadmeid. (Wall, 2006) Selles tulenevalt on juba hoone projekteerimise faasis, energiatarbe arvutuse adekvaatsuse tagamiseks, oluline arvesse võtta kasutajate tegelikke nõudmisi sisekliimale ning kasutatavatele elektriseadmetele.

Londonis tehtud uuringu kohaselt täheldati modelleeritud ning tegelike vabasoojuste vahel suurt erinevust. Modelleerimistarkvara PHPP standardkasutuse korral on sisemine vabasoojus 2,1 W/m², ent vaadeldaval passiivmajal oli tegelik vabasoojus 3,65 W/m², mis on 43% rohkem. Artiklis on antud ka soovitus suhtuda standardkasutuse vabasoojuse hulka kriitiliselt kuna see võib olla ala- või ülehinnatud. (Ridley, 2013)

Tavahoonete kasutajate hinnang versus madalenergiamaajade kasutajate hinnang

Rootsis on koostatud uuring, mis baseerub madalenergia-ja tavahoonete kasutajate tagasisidel mõlema hoonetüübi elamis-ja kasutustingimuste osas. Vaatlusalusteks hooneteks olid kolm passiv-ja madalenergia kortermaja Lääne-Rootsis. (Zaljeska - Jonsson, 2012)

Ruumitemperatuuri osas oli enam kui 50% kasutajatest rahul. Miinusena toodi mõnel juhul välja suvist liialt kõrget temperatuuri ning talveperioodil kurdeti ebapiisava sisetemperatuuri üle (18-21 °C), mis sundis inimesi paksemalt riietuma. See probleem oli pigem sertifitseeritud passiivmajades. Hoones, mis ei vastanud passiivmaja standardile (kütteenergia tarve 25 kW h/m² a) ning kus oli küttesüsteem, seda probleemi ei esinenud. Samuti ei esinenud probleemi ka tavahoonetes. (sealsamas)

Heliisolatsiooniga oldi kõikides vaadeldavates hoonetes väga rahul, sest madalenergiahooned paksu soojustusega seinad pakuvad head heliisolatsiooni. Tavahoonetes täheldati kasutajate poolt kõrgemat mürataset. (sealsamas)

Õhukvaliteedi osas olid selged erinevused tava-ja madalenergiahoonete vahel. Küsimustele vastanutest madalenergiahoonetes pidas õhukvaliteeti väga heaks 39%, tavahoonetes andis sama vastuse 26% elanikest. Osalt kurdeti talveperioodi liigese õhukuivuse üle, ent siin võib põhjuseks olla liialt suur õhuvahetus. Probleemiks toodi ka toiduvalmistamise lõhnade levikut, ent see probleem esines mõlemas hoonetüübis ning suurem probleem oli sellega tavahoonetes just ventilatsioonisüsteemi puudumise tõttu, mis ebasoovitavad lõhnad ruumis välja viivad. (sealsamas)

Ventilatsioonisüsteemi käitamise ja seadistamise keerukus toodi madalenergiahoonetes ühe probleemkohaga välja. Kuna võrreldes tavahoonetega on kasutajatel võimalik ventilatsiooni intensiivsust ise reguleerida, siis oli see kohati raskusi tekitav. (sealsamas)

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

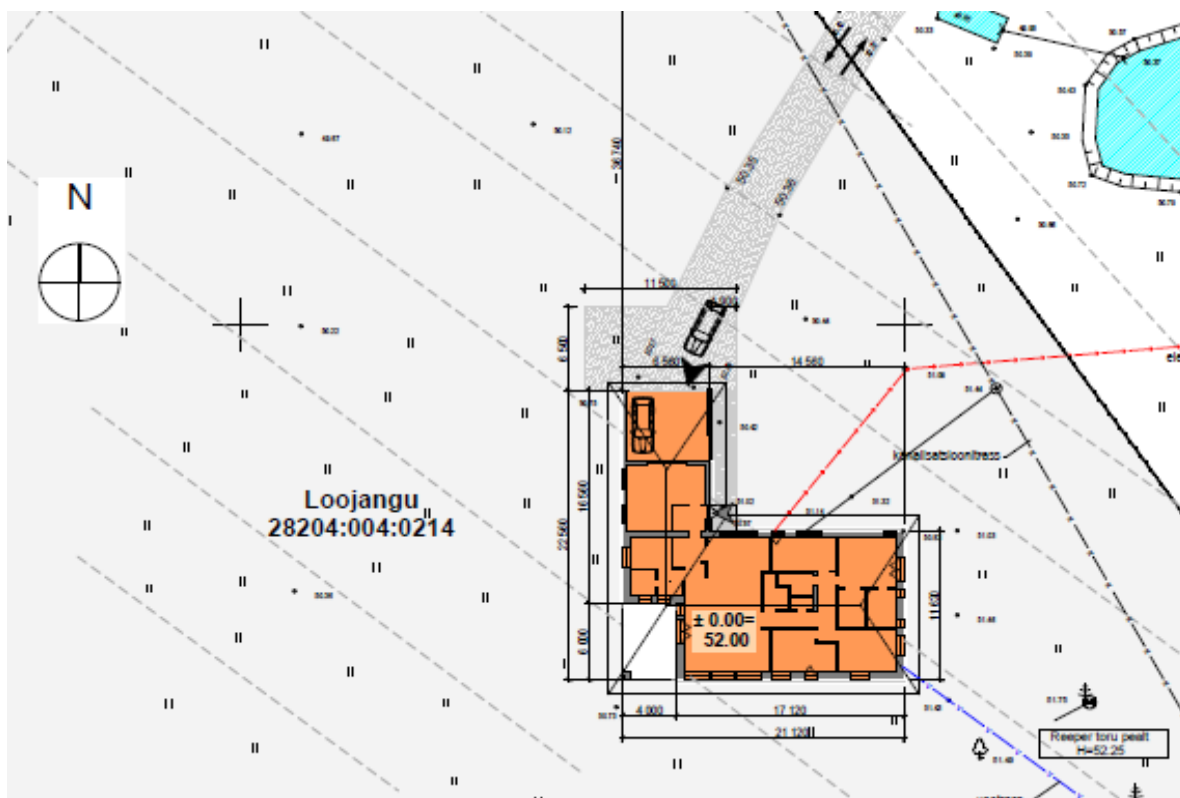
Töö eesmärgiks on kontrollida vaadeldaval perioodil arvutusprogrammis PHPP tehtud energiatarbe arvutusi tegelike mõõdetud tarbimisandmetega hoone tegeliku kasutusprofiili puhul, tuues välja erinevused standardkasutuse ning tegeliku kasutusprofiili vahel vastavalt PHPP metoodika ning määruse „Energiatõhususe miinimumnõuded“ metoodika arvutustele. Arvutuste eesmärgiks on tagada maksimaalselt täpne hoone soojabilansi analüüs, mis võtab arvesse hoone konstruktiivseid, soojustehnilisi, seadmete erisusi ning kasutusprofiili. Töö lõpuosas antakse kasutajapoolne hinnang lähtuvalt sisekliimast, tehnosüsteemide kasutusest ning ehituseelsetest ootustest ja nende täitumisest või mittetäitumisest.

3. MATERJAL JA METOODIKA

3.1. Hoone kirjeldus

Üldkirjeldus

Hoone on orienteeritud ilmkaarte järgi nii, et peamine viibimisruum, elutuba, oleks võimalikult valgusküllane, avanedes lõunasse ning abiruumid, garaaž ja autode varjualune avaneksid põhja. Hoone lõunaküljel päikest varjavad takistused (kõrghaljastus, tõusev reljeef, naaberhooned) puuduvad. Hoone lõunafassaadil on ka suured aknapinnad, püüdmaks maksimaalselt päikeseenergiat. Hoone geograafilised koordinaadid on 58°15'1``N; 26°46'48``E ning hoone paiknemine krundil ja ilmakaarte suhtes on esitatud järgneval joonisel (Joonis 3.1.).



Joonis 3.1. Hoone paiknemine krundil ja ilmakaarte suhtes

Hoone Arhitektuurne kirjeldus vastavalt arhitektuursele eelprojektile

Hoone arhitektuurne osa on projekteerinud arhitektid Kaidi Õis ja Jaan Tiidemann, kelle ülesandeks on olnud energiasäästliku ühepereelamu projekteerimine. Kuna hoonestatav

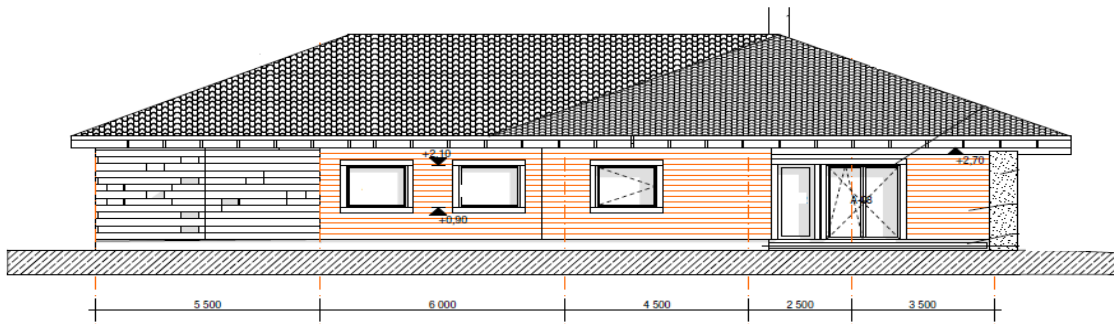
kinnistu asub looduskaunis maakohas Lõuna-Eestis, siis ka hoone arhitektuurne vorm ja ilme on inspireeritud piirkonna taluarhitektuurist. Hoonel on energiasäästu põhimõtteid järgivad massiivsed välisseinad ja laiad katuseräästad (0,8 m). Laiade katuseräästaste eesmärgiks on vältida suveperioodil sisetemperatuuri tõusu üle kriitilise piiri (27 °C).

Hoonel on ilma ülemääraste liigendusteta üldkuju. Siiski on energiatõhususe seisukohast vaadatuna hoone kompaktsustegur ühekorruselisuse tõttu suur, mis on 1,4 m²/m³. Kompaktsustegur on hoone välispinna ja ruumala suhe (A/V). Mida kompaktsem on hoone, seda väiksem on tegur (Mauring, 2010).

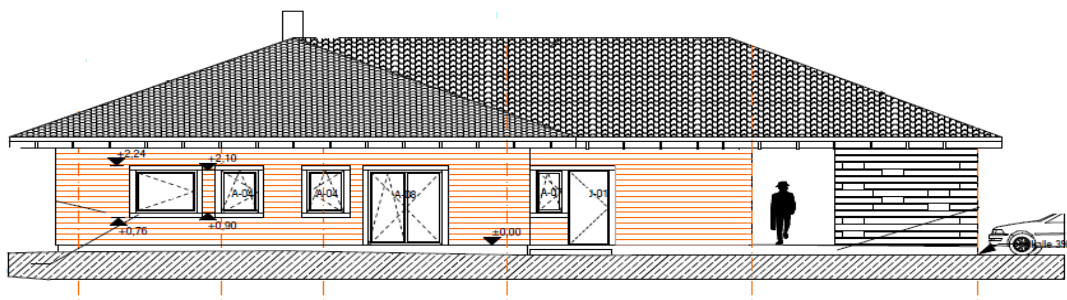
Vaadeldava hoone soojakaod on suuremad, sest välispiiret ühe hoone sisekuupmeetri õhu kohta on rohkem kui tavapäraselt. Selle kompenseerimiseks on suurendatud välispiirde soojaisolatsioon. Siiski on mindud vastuollu passiivmajade planeerimise põhimõtetega: mida kompaktsem hoonekarp, seda parem. Keskmiselt on ühepereelamute kompaktsustegur vahemikus 0,77-0,93 m²/m³, mis on ligi kaks korda vähem kui vaadeldava hoone puhul (Fingerling et al., Konstruktionshandbuch für Passivhäuser, 2008). Hoone hoone paiknemine ilmakaarte suhtes on esitatud joonistel 3.2. ja 3.3. ning mõõtmetega plaanid on esitatud lisades 15 ja 16.



Joonis 3.2. Hoone vaated lõunast ja põhjast



M 1:100



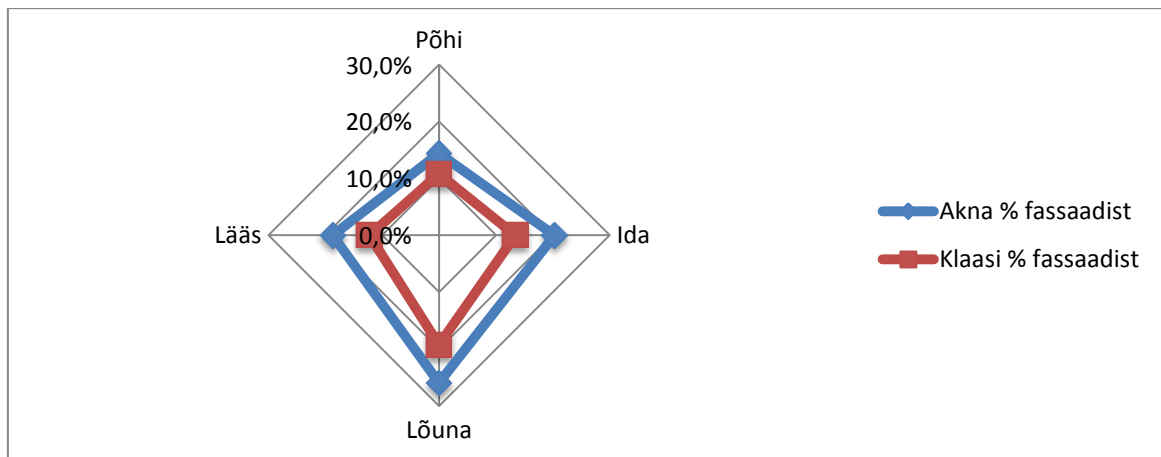
Joonis 3.3. Hoone vaated läänest ja idast

Välisseinte mõõtmed ning mõõtude alusel arvutatud pindalad on esitatud alljärgnevas tabelis (Tabelis 3.1.), kus on toodud ka akende ja klaaside pindalad ruutmeetrites ning nende osakaal vastavast seinast.

Tabel 3.1. Õhutiheda hoonekarbi välisseina mõõtmed meetrites ja pindalad ruutmeetrites (välismõõdud) ning akende ja klaaside osakaal seinast

Ilmakaar	Välisseina pikkus	Välisseina kõrgus	Välisseina pindala	Akna pindala	Klaasi pindala	Akna % seinast	Klaasi % seinast
Põhi	21,1	3,6	76,0	10,9	8,2	14,4%	10,8%
Ida	11,6	3,6	41,8	8,5	5,6	20,3%	13,4%
Lõuna	21,1	3,6	76,0	19,7	14,6	25,9%	19,2%
Lääs	11,6	3,6	41,8	7,8	5,1	18,7%	12,2%

Graafiliselt on esitatud akna ja klaasipinna osakaal fassaadipinnast ilmakaarte suhtes (Joonisel 3.4.). Suurim klaasiosa on hoone lõunaküljes ning väikseim põhjaküljes.



Joonis 3.4. Akna-ja klaasipindade osa õhutiheda hoonekarbi fassaadist

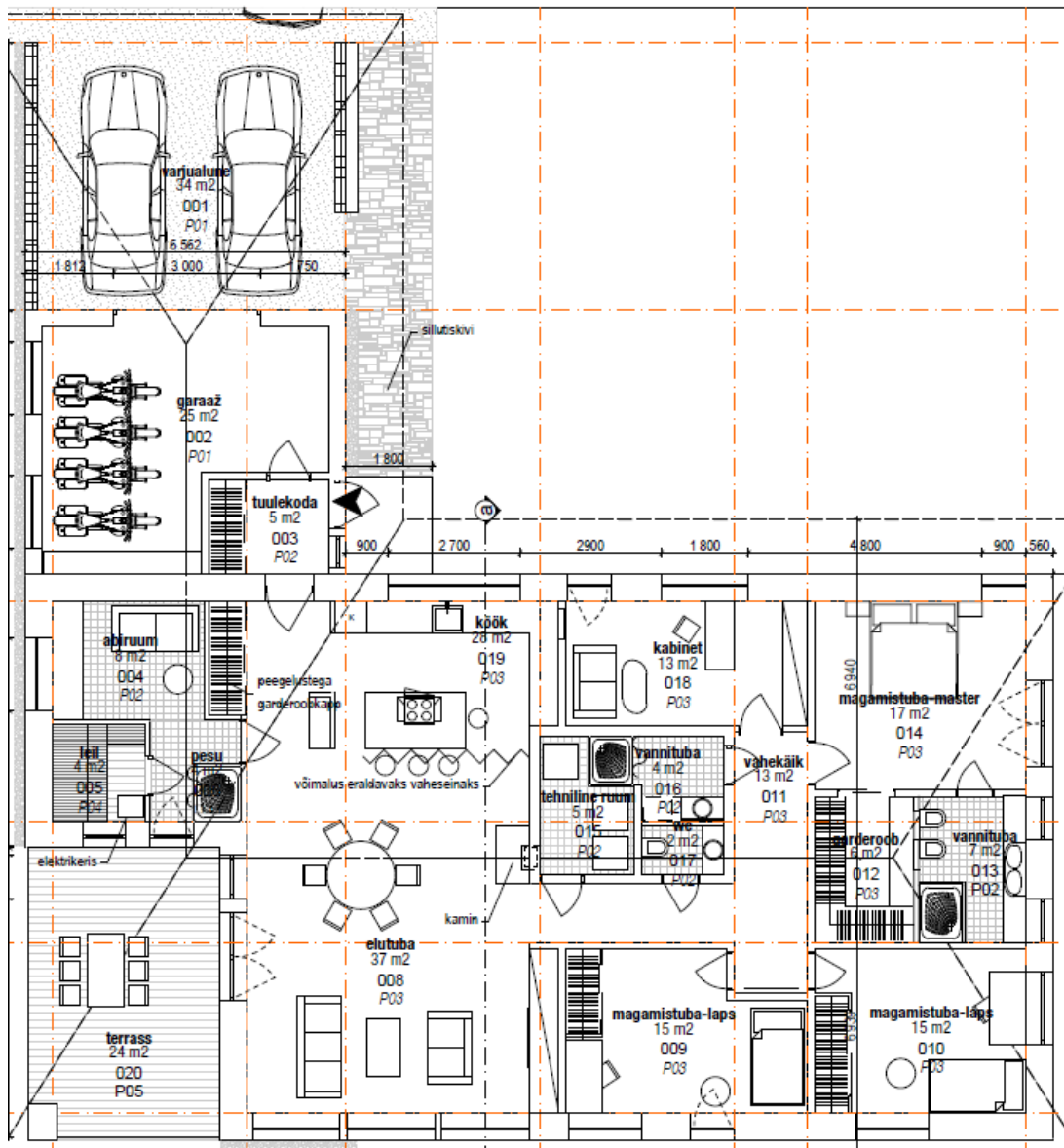
Hoone funktsionaalne ülesehitus ja ruumijaotus

Elamule on kavandatud katusealune terrass, mis avaneb hoone lõunaküljele. Peasissepääs hoonesse on planeeritud garaažibloki ja eluruumide bloki ühenduskohta hoone põhjapoolsel küljel (joonis 3.5.).

Avalikud eluruumid asuvad hoone keskmes, hoone idatiiba jäävad privaatsed magamistoad. Autode varjualune, garaaž ning saun moodustavad eraldi abiruumide kompleksi. Eluruumide keskmes on tehnoruum mis võimaldab hoone tehnosüsteemide optimaalsemat ülesehitust. Ühised eluruumid on lahendatud avatud planeeringu põhimõttel: köök-söögituba ning elutuba moodustuvad ühe suure ruumi. Kabinet jääb hoone põhjakülge ning on teistest ruumidest eraldatud. Hoones on kolm magamistuba.

Elektrikerisega saunaruumid on paigutatud abiruumide hoonemahtu. Saun on ühendatud katusealuse terrassiga hoone lõunaküljel. Saunablokk koosneb leiliruumist, pesunurgast ning riietus- abiruumist.

Hoone köetav netopind on 214,8 m², mis jaguneb kaheks: eluruumid 182 m² ning garaaž 32,8 m². Garaaži väljatoomine on oluline, kuna garaažile teostatakse eraldi energiaarvutused erineva ruumitemperatuuri tõttu. Hoone esimese korruse plaan on esitatud lisas 17.



Joonis 3.5. Hoone esimese korruse plaan

Hoone konstruktsioonide kirjeldus

Välissein

Hoone õhutiheda karbi kandekonstruktsiooniks on puit ning kandvaks elemendiks on 600 mm sammuga puitprussid mõõtudega 50x100 mm. Jäigastavaks elemendiks on diagonaalid ning 12 mm OSB-plaadid nii sees kui väljas Sisemine OSB-plaat täidab ka auru- ja õhutiheduse funktsiooni ning plaatide liitekohad on teibitud. Sein on soojustatud tselluvillaga [$\lambda=0,041 \text{ W}/(\text{m K})$] kahes kihis (400 mm+45 mm), millest 45 mm paikneb aurutõkkekihist seespool konstruktsiooni installatsioonivahes.

Hoone garaažibloki välisõhuga kokkupuutuvad seinad koosnevad 50x150 mm ning nendele rõhtselt kinnitatud 50x100 mm prussidest, mille vaheline osa on täidetud tselluvillaga. Seina sise-ja väliskihis on 12 mm OSB plaat.

Lagi

Hoone vahelagi kinnitub katusefermide alumise vöö külge. Katusefermide materjaliks on 45 mm×90 mm puitprussid. Fermid on paigutatud 900 mm sammuga ning fermide tugipunktide vaheline sille on 10,5 m. Kogu vahelaele on paigaldatud 650 mm paksune tselluvilla soojustuskiht, mis katab ka seinaelemendid kuni seina välimise kihini. Aurutõkkefunktsiooni täidab 12 mm OSB-plaat, mille liitekohad on teibitud. Garaažiosa lae soojustuse paksus on 400 mm.

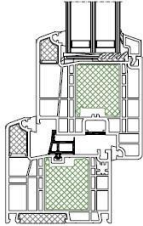
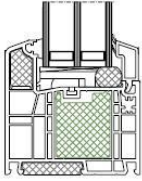
Põrand ja sokkel

Kogu hoone toetub plaatvundamendile. Vundamendi alune ja sokkel on soojustatud 300 mm EPS 100 perimeeter plaadiga [$\lambda=0,037$ W/(m K)], millele on valatud kiudarmeeritud betoon. Betoonplaadi paksus hoone välisperimeetris on 300 mm ning väheneb alates 1,5 m kauguselt välisperimeetri sisepinnast sujuvalt kuni saavutab põranda keskosas paksuse 120 mm. Õhutiheda hoonekarbi sokkel on soojustatud 300 mm paksuselt EPS 120 perimeeter plaadiga [$\lambda=0,037$ W/(m K)] ning garaažiosa 200 mm paksuselt. Ümber plaatvundamendi on paigaldatud maapinnast 250 mm sügavusele 100 mm EPS 120 perimeeter plaadist horisontaalne soojustus 120 cm laiuselt ning hoone sise-ja välisnurkades 200 cm laiuselt.

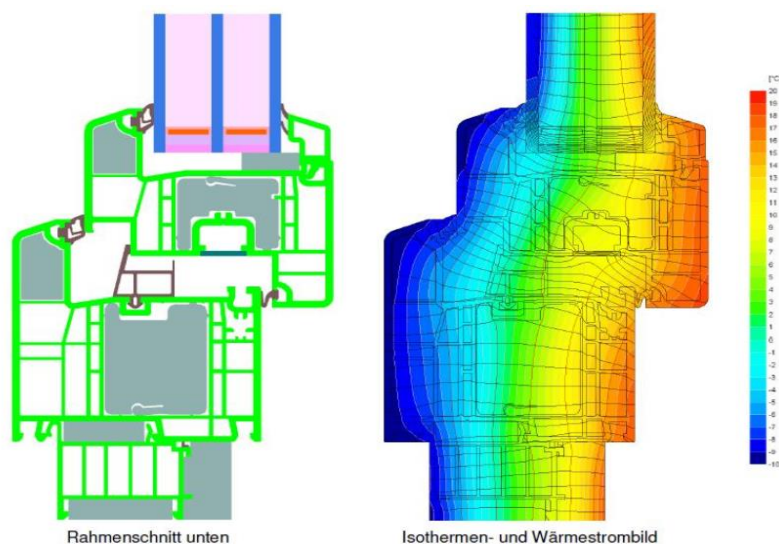
Aknad

Hoonele on paigaldatud Rehau Geneo PHZ passiivmaja sertifikaadiga aknad, mis on praktiliselt külmasillavabad (joonis 3.6.). Akendes on kasutatud kolmekordseid selektiivklaasidega klaaspakette, mille soojusjuhtivus $U_g=0,5$ W/(m² K), päikese läbilaskvuse koefitsient $g=0,5$ ning klaasi vaheliist Chromatek Ultra F, joonkülmasild $\Psi=0,037$ W/(m K). Aknad jagunevad avatavateks ja mitteavatavateks ning mõlema aknatüübi tehniline spetsifikatsioon on esitatud tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Akna soojustehnilised näitajad (Rehau Geneo PHZ w prezencie), (Lisad 7., 8., 9.)

Avanev aken	Mitteavanev aken
 <p>Raam GENEО ® 86 soojustatud Avanev aknaosa GENEО ® 84 soojustatud Klaasi vaheliist Chromatek Ultra F $U_f = 0,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ $U_g = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ $\Psi = 0,037 \text{ W}/(\text{m K})$</p>	 <p>Fikseeritud raam GENEО ® 86 soojustusega Klaasi vaheliist Chromatek Ultra F $U_f = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ $U_g = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ $\Psi = 0,037 \text{ W}/(\text{m K})$</p>

Akna alumisel küljel on kasutatud külmasillavaba paigaldusprofiili (joonis 3.6.) ning akna ülaosa ja küljed on väljastpoolt soojustatud täiendavalt 30 mm paksuse klaasvillaplaadiga, mis katab nii paigaldusvahe (15 mm) kui ka aknaraami 15 mm laiuselt. Põrandani ulatuvad aknad on vundamendi külmasilla vältimiseks paigaldatud sokli soojustuse keskele ning toetuvad metallist kanduritele.



Joonis 3.6. Rehau Geneo Phz külmasillavaba avatav aknaraam (Fensterrahmen)

Uksed

Hoonel on kolm ust. Siinjuures ei ole arvestatud rõduksi, sest need on arvesse võetud akende jaotuses.

- Välisuks, mis eraldab õhutihedat hoonekarpi garaaži hoonemahus olevast tuulekojast. Soojusjuhtivus $U_w=1,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ vastavalt tootja andmetele (Lisa 13).
- Välisuks tuulekojast õue. Soojusjuhtivus $U_w=0,86 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ vastavalt tootja andmetele. (Lisa 14).
- Garaažiuks. Soojusjuhtivus $U_w=1,2 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ vastavalt tootja andmetele (Lisa 12).

Hoone tehnosüsteemide kirjeldus

Ventilatsioonisüsteem

Hoonesse on paigaldatud Paul Focus (F) 200 ventilatsiooniseade, mille soojustagastuse efektiivsus on 91% ning ventilaatorite efektiivsus $0,31 \text{ W}/(\text{m}^3 \text{ h})$. Tegemist on passiivmajadele mõeldud ning sertifitseeritud seadmega. Lisaks kõrgele soojustagastusele on soojusvaheti üheks lisaomaduseks ka niiskustagastuse võimekus. Niiskustagastus töötab entalpia põhimõttel ning aitab talveperioodil vähendada liigset õhukuivust.

Ventilatsiooniseade paikneb hoone tehnoruumis, mis asub hoone keskmes. Ventilatsioonigregaaadi sissetõmbe- ja väljapuhketorud on soojustatud 50 mm reflektiivse kattega soojustusvillaga ning mõlema toru pikkus on 1,1 m. Andud andmed on vajalikud ventilatsiooniseadme efektiivsuse määramisel. Seadme tehnilised andmed on esitatud lisas 5.

Ventilatsiooni eelküte

Ventilatsiooniseadmele on paigaldatud elektriline eelküte, mis soojendab talveperioodil agregaat siseneva õhu 0°C , vältimaks soojusvaheti jäätumist ning soojustagastuse efektiivsuse langust. Elektrilise eelküte maksimaalvõimsus on 2000 W ning võimsuse reguleerimine toimub kontrolleri abil, mis mõõdab ventilatsioonigregaat sisenevat temperatuuri ning kindlustab talveperioodil, et sissepuhketemperatuur ei langeks alla 0°C . Seadme tehnilised andmed on esitatud lisas 11.

Küttesüsteem

Hoone kütmine ja sooja tarbevee tootmine toimub Nibe F1245 maasoojuspumbaga, mille nimivõimsus on 6 kW ning millel on integreeritud soojaveeboiler mahuga 180 l. Seadme tehnilised andmed on esitatud lisas 10.

Küttesüsteem koosneb järgmistest komponentidest: maasoojuspump, mis kütab akumulatsioonipaaki, akumulatsioonipaagist transporditakse soojusenergia tsirkulatsioonipumba abil läbi segusõlme põrandaküttekontuuridesse.

Maasoojuspump

Maasoojuspumba soojustegur (COP - *Coefficient Of Performance*) on vastaval standardi EN 14511 metoodikale miinimum- ja maksimumtemperatuuride erinevuse 0/35 °C korral COP=4,51 (kütmine) ning temperatuuride erinevuse 0/45 °C korral COP=3,58 (tarbevesi). Standard võtab arvesse ka maasoojuspumba tsirkulatsioonipumpade ja elektroonika energiatarvet.

Määruses „Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika“ on kirjeldatud maasoojuspumpade kütteperioodi keskmisi soojustegureid, kus põrandakütte kasutamisel COP=3,6 (kütteevee pealevool 35 °C tagasivool 28 °C) ning tarbevee soojendamise puhul on soojustegur COP=2,7. Edaspidistes arvutustes vaadeldakse mõlemaid andmeid.

Akumulatsioonipaak

Akumulatsioonipaagi puhul on tegemist 500 l *solar* akumulatsioonipaagiga Flamco KS500, millel on sisseehitatud päikeseküttespiraal. Akumulatsioonipaagi paigaldamise vajadus on tingitud perspektiivsest päikesekollektorite paigaldamise võimalusest, mille abil planeeritakse katta enamus aastasest sooja tarbevee vajadusest ning osaliselt ka kütteeenergia vajadusest. Ilma päikesekütte kasutamise soovita ei ole maasoojuspumba paigaldamisel akumulatsioonipaak vajalik. Akumulatsioonipaagi tehnilised andmed on esitatud lisas 6.

Põrandaküte

Põrandaküttekontuurid on ruumipõhised, st. igal ruumil on oma küttekontuur. Põrandaküttekontuurides paneb vee liikuma eraldi tsirkulatsioonipump. Tsirkulatsioonipumbaks on Grundfos Alpha 2L 25-40, mis on võimeline vastavalt süsteemi vasturõhule reguleerima pumba kiirust. Kuna tarbitav võimsus võib jääda vahemikku 5-45 W, siis arvutustes kasutatakse võimsust 30 W.

Maasoojuspumba maakontuur

Maasoojuspumba maakontuuri on paigaldatud horisontaalselt sügavusele 0,7-0,9 m ning kontuuri pikkuseks on 420 m. Kontuur on paigaldatud niiskele alale, savipinnasesse, kus pinnavee tase ühtib kontuuri paigaldussügavusega. Tingituna eelnevast, on tagatud efektiivne soojusvahetus maapinna ja kontuuri vahel ning on välistatud maapinna läbikülmumine talveperioodil. Vaatluste kohaselt ei ole maakontuurist soojuspumpa sisenev külmaaine temperatuur olnud kütteperioodil madalam kui +1 °C, mis lubab

eeldada, et pump töötab kõrge efektiivsusega. Kütteperioodi välisel ajal jääb sisenev energiakandja temperatuur vahemikku 10-18 °C.

Hoone õhu-ja tuuletihedus

Hoone õhutiheda välispiirde moodustavad avatäited, betoonpõrand ning nii sein kui lae sisepinnas paiknev 12 mm OSB-plaat, mis ühtlasi täidab ka aurutõkke funktsiooni.

Õhutihedalt on teibitud kogu hoone sisepiire: OSB-plaadi liited (seinad, laed), akende ja uste liitumine seinaga, sein ja põranda liitumiskoht, lae ja sein liitumiskoht, läbiviigud (kaablid, ventilatsioonitorud, korsten). Tuuletiheduse tagamiseks on teibitud kogu hoone välispiire: sein ja sokli sõlm, avatäidete liitumine seinaga, läbiviigud (kaablid, ventilatsioonitorud, fermid).

3.2. Hoone rõhutesti tulemused

Ventileeritava hooneosa rõhutesti tulemus $n_{50}=1,1-1,2$ korda tunnis. Arvutustes kasutatakse väärtust 1,2 korda tunnis. Mõõtmise käigus täheldati õhulekkeid järgmistes hooneosades:

Kaminahi

Traditsioonilise ahju puhul ei ole võimalik hermeetilisust piisaval määral tagada. Ahju ja korstna olemasolu hoones mõjutab oluliselt hoone rõhutesti näitajaid. Kuna põlemisõhk võetakse samuti väljast, siis on välisõhuga ühenduses olevaid kanaleid kaks. Suitsu-ja põlemisõhukanalite siibrid olid mõõtmise ajal suletud asendis. Parema tulemuse saavutamiseks on oluline ahju ehitamist vältida.

Pliidi kohal olev väljatõmme

Tegemist on välisõhuga otseühenduses oleva väljatõmbeventilaatoriga, mille hermeetilisust aitab tagada isesulguv klapp. Alarõhutesti puhul on klapp suletud asendis, ülerõhu puhul avaneb klapp rõhu tõttu. Parema tulemuse saavutamiseks on soovitatav kasutada ringlusõhu ja söefiltriga varustatud seadmeid.

Avatavad aknad

Testi käigus täheldati lekkeid avatavate akende tihendite vahelt. Õhulekkehulka antud konstruktsioonis on võimalik vähendada akende suluste reguleerimisega.

Pistikupesad

Pistikupesad asuvad seespool õhupidavat kihti ning kõik OSB-plaatide liited on hermetiseeritud teibiga. Õhuleke antud punktides on seletatav üksnes OSB-plaadi vähese õhupidavusega.

OSB-plaadi õhupidavuse on oma töös kahtluse alla seatud ka OSB-plaadi õhupidavuse uuringus (Langmans et al, 2010), kus uuriti kaheksa erineva tootja OSB-plaatide õhupidavust. Kaheksast üks oli väga heade õhupidavuse omadustega, ülejäänute puhul oli õhuleke läbi plaadi pinna võrdlemisi suur, mis suure välispiirde pinna puhul annab arvestatava õhulekke (Langmans et al, 2010). Parema tulemuse annaks aurutõkmemembraani või paksema OSB-plaadi kasutamine.

3.3. Kasutatud mõõteseadmed

Elektrienergiakulu

Hoone elektrienergiakulu on mõõdetud järgmistes punktides:

- Kogu hoone energiatarve võrgu liitumispunktis.
- Kõikide tehnoseadmete poolt tarbitav summaarne energia – maasoojuspump, tsirkulatsioonipump, ventilatsiooniseade, ventilatsiooni eelküte.
- Mõõteseadme Dinmearing DTS-353 arvesti DIN-liistule. Arvesti vastab EN and EMC (*Electromagnetic Compability*) direktiividele. Pinge: 3x230/400 V 50/60Hz, Täpsus: klass 1, SO väljund : 800 impulssi/ kW h.
- Ventilatsiooniseadme energiakulu eraldivõetuna. Mõõteseadmeks kaubandusvõrgust kättesaadav energiakulumõõtja täpsusklassiga 3.
- Ventilatsiooniõhu eelkütteseadme energiakulu eraldivõetuna. Mõõteseadmeks kaubandusvõrgust kättesaadav energiakulumõõtja täpsusklassiga 3.

Mõõdetud veehulgad

- Sooja tarbevee hulk.
- Külma vee tarve hoones sees.

Sisetemperatuuri mõõtmine

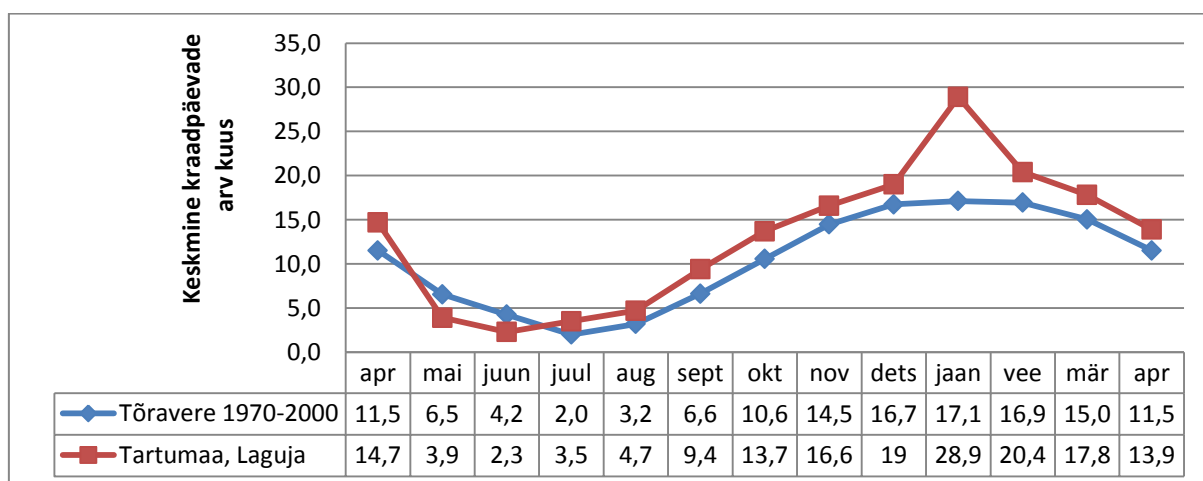
Hoone sisetemperatuuri mõõdetakse 1,4 m kõrguselt põrandast hoone keskosas, tehnoruumiga piirneval seinal, päikesepaiste eest varjatud kohas. Mõõteseadme on

ühendatud maasoojuspumbaga, mis koostab nädalate lõikes keskmise temperatuuri graafiku.

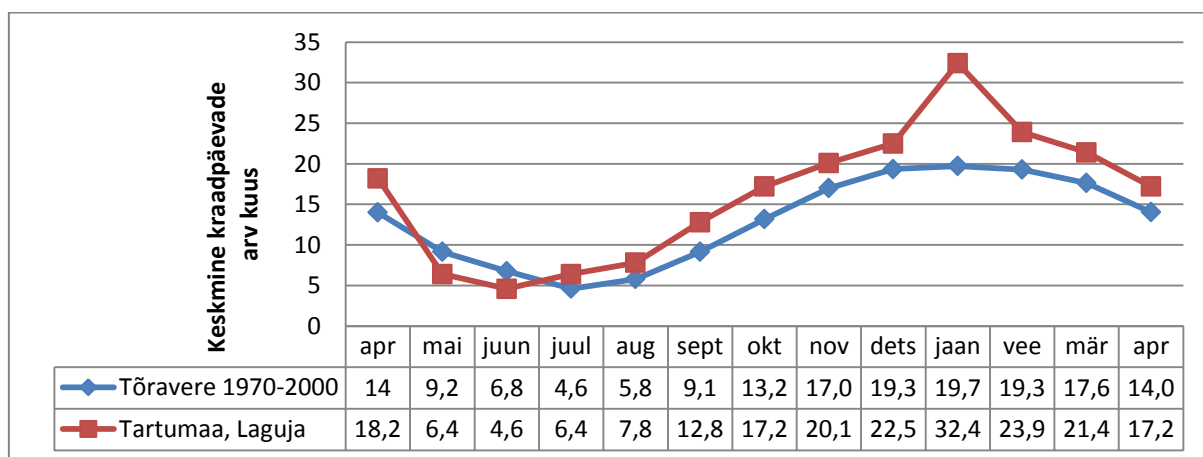
3.4. Vaadeldav periood

Hoone ehitusperiood oli mai 2012-märts 2013 ning märjad tööd hoones lõppesid veebruar 2013. Seega jäi ehitusaegse niiskuse väljakuivamiseks pool kütteperioodi ning 2013. aasta suvi. Arvutustes vaadeldav periood on aprill 2013- aprill 2014.

Järgnevalt on välja toodud EEB (Eesti Energiaarvutuste Baasaasta) Tõravere ilmajaama mõõdetud kraadpäevade keskmistatud väärtused (Kalamees ja Kurnistski, 2010) ning Tartumaal, Laguja (Degree-days) mõõtetpunktis mõõdetud kraadpäevad vaadeldaval perioodil sisetemperatuuride 20 °C ja 23,5 °C puhul (Joonised 3.7. ja 3.8.).



Joonis 3.7. Kraadpäevade võrdlus sisetemperatuuril 20 °C, periood aprill 2013 - aprill 2014



Joonis 3.8. Kraadpäevade võrdlus sisetemperatuuril 23,5 °C periood aprill 2013 - aprill 2014

Kraadpäevade arv perioodil aprill 2013 - aprill 2014 on praktiliselt igal vaadeldaval kuul, välja arvatud mai ja juuni 2013, olnud suurem kui baasaasta puhul (joonised 3.7. ja 3.8.). Suurim erinevus on 2014. aasta jaanuaris, mil kraadpäevade arv oli baasaastaga võrreldes enam kui 10-kraadpäeva võrra suurem. Vaadeldaval perioodil vajatud rohkem kütteenergiat kui baasaastal. Edasistes arvutustes on kütteperioodist täielikult välja jäetud kuud mai, juuni, juuli, august. Kraadpäevade erinevus esitatud andmete puhul on kütteperioodi sisetemperatuuri 20 °C puhul 33,9 kraadpäeva ning sisetemperatuuri 23,5 °C, 42,4 kraadpäeva. Esitatud andmed on edasiste arvutuste aluseks.

3.5. Arvutusmetoodika

Välispiirde soojustakistus-ja juhtivus

Valemite ja tabelite osas on arvutuste aluseks võetud Passivmaja käsiraamat „*Passive House Planning Package 2007*“ (Feist W., 2007), määrused Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika (2012), Energiatõhususe miinimumnõuded. (2014), ning standardid Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. (2010), Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. (2008), Thermal performance of windows, doors and shutters. (2006).

Homogeensete kihtidega piirdetarindi soojustakistus R ($\text{m}^2 \text{K/W}$) leitakse valemiga (1):

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (1)$$

kus R - piirdetarindi termiliselt homogeense kihi soojustakistus (soojapidavus) $\text{m}^2 \text{K/W}$,
 d - kihi paksus komponendis (m),
 λ - materjali arvutuslik soojuserijuhtivus W/m K .

Kogu piirdetarindi soojustakistus R_t ($\text{m}^2 \text{K/W}$) leitakse valemiga (2):

$$R_T = R_{si} + \sum \left(\frac{d_i}{\lambda_i} \right) + \sum R_{\delta} + R_{se}, \quad (2)$$

kus R_{si} - sisepinna soojustakistus $\text{m}^2 \text{K/W}$,
 R_{se} - välispinna soojustakistus $\text{m}^2 \text{K/W}$,
 R_{δ} - õhkvahe soojustakistus $\text{m}^2 \text{K/W}$.

Piirdetarindi soojusjuhtivus U ($W/(m^2/K)$) leitakse valemiga (3):

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

kus R_t - kogu piirdetarindi soojustakistus $m^2 K/W$.

Tabelis 3.3. on esitatud piirdetarindite sise- ja välispinna soojustakistused sõltuvalt soojavoolu suunast.

Tabel 3.3. Piirdetarindite sise- ja välispinna soojustakistus $m^2 K/W$ (Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. 2008)

Pinnakihtide soojustakistus	Soojavoolu suund		
	Üles	Rõhtne	Alla
Sisepind R_{si}	0,10	0,13	0,17
Välispind R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tabelis 3.4. on esitatud ventileerimata õhkvahe soojustakistused sõltuvalt õhkvahe paksusest ning soojavoolu suunast. Tuulutavat õhkvahet (nt. voodrilauatagune tuulutusvahe) ja sellest väljapoole jäävaid kihte välispiirde soojustakistuse arvutamisel arvesse ei võeta.

Tabel 3.4. Ventileerimata õhkvahe soojustakistus (Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. 2008)

Õhkvahe paksus, mm	Õhkvahe soojustakistus R_{δ} , $m^2 K/W$		
	Soojavoolu suund		
	Üles	Rõhtne	Alla
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22

Mittehomogeense piirdetarindi soojustakistus R ($m^2 K/W$) leitakse valemiga (4):

$$R = (R' + R'')/2, \quad (4)$$

kus R' - tarindi soojustakistuse ülempiir $m^2 K/W$,

R'' - tarindi soojustakistuse alampiir $m^2 K/W$.

Mittehomogeense tarindi arvutused teostab PHPP programm vastavalt homogeenses osas paikneva teist tüüpi materjali osale ja soojustehnilistele näitajatele automaatselt.

Akende soojakadude ja läbi akna siseneva soojusenergia arvutusmetoodika

Akna soojusjuhtivus U_a $W/(m^2/K)$ leitakse valemiga (5):

$$U_a = \frac{(U_k A_k + U_r A_r + \psi_k l_k + \psi_r l_r)}{(A_k + A_r)}, \quad (5)$$

kus U_k - klaasiosa U -arv $W/(m^2 K)$,

A_k - klaasiosa pindala m^2 ,

U_r - piida- ja raamiosa U -arv $W/(m^2 K)$,

A_r - piida- ja raamiosa pindala m^2 ,

ψ_k - klaasiserva joonkülmasilla lisajuhtivus $W/(m K)$,

l_k - klaasiserva perimeetri pikkus m ,

ψ_r - aknaraami paigaldusest tulenev joonkülmasilla lisajuhtivus $W/(m K)$,

l_r - aknaraami perimeetri pikkus m .

Läbi akende siseneva soojusenergia hulga h_+ ($kW h/a$) leitakse valemiga (6):

$$h_+ = R_- \times g_a \times A_a \times C_{kesk}, \quad (6)$$

kus R_- - päikesekiirguse reduktsioonitegur %,

A_a - akende pindala m^2 ,

C_{kesk} - keskmine päikesekiirgusest tulenev soojus $kWh/(m^2 a)$,

g_a - akna g -väärtus %.

Läbi akende väljuva soojusenergia hulga h_- ($kW h/a$) leitakse valemiga (7):

$$h_- = A_a \times U_a \times G_t, \quad (7)$$

kus G_t - välispiiretest kaduva soojuse koefitsent $kK h/a$,

U_a - akende U -väärtus $W/(m^2 K)$,

A_a - akende pindala m^2 .

Joonkülmasildade arvutusmetoodika

Välispiirdeosa külmasildade soojuslähivus $\Delta\Psi$ (W/K) leitakse valemiga (8):

$$\Delta\Psi = \sum \Psi_j l_j + \sum \chi_p n_p, \quad (8)$$

kus Ψ_j - joonkülmasilla soojuslähivus W/(m K),

l_j - joonkülmasilla pikkus m,

χ_p - punktkülmasilla soojuslähivus W/K,

n_p - samasuguste punktkülmasildade arv välispiirdeosas.

Tabelis 3.5. antud väärtused on PHPP tarkvara täpsust arvestades liialt üldistavad. Arvutuste täpsuse tagamiseks on oluline kasutada täpsemaid andmeid või teostada detailne soojavoo analüüs läbi piirde.

Tabel 3.5. Välispiirete geomeetriliste joonkülmasildade soojuslähivused (Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. 2012)

	Joonkülmasilla soojuslähivus Ψ , W/(m K)
	Uus hoone
Välisseina välisnurk	0,2
Välisseina sisenurk	-0,1
Välisseina ja siseseina liitekoht	0,1
Katuse ja välisseina liitekoht	0,2
Põrand-pinnase ja välisseina liitekoht	0,3
Akna liitumine välisseinaga (aken soojustuse kihis, raam)	0,1

Aastane kütteenergia arvutus

Aastase kütteenergia arvutusel on kasutatud kuupõhist arvutusmeetodit, sest Eesti kliimas on kütteenergia osas määrava tähtsusega talvekuud. Peamised soojakaod toimuvad läbi välispiirde (sh. külmasillad), akende, uste ning ventilatsiooni (sh. on arvesse võetud ventilatsiooni soojatagastus ning soojakaod). Lisaks kütteenergiale võetakse arvesse akende kaudu siseneb soojuskiirgus ning inimeste, seadmete ja valgustuse poolt tekkiv vabasoojus.

Läbi piirdetarindite väljuv soojusenergia Q_T [kW h/(m² a)] leitakse valemiga (9):

$$Q_T = q_{vs} + q_p + q_k + q_v + q_a + q_u + q_{vks}, \quad (9)$$

kus q_{vs} - läbi välisseina kaduv soojusenergia kW h/(m² a),

q_p - läbi põranda kaduv soojusenergia kW h/(m² a),

q_k - läbi katuse kaduv soojusenergia kW h/(m² a),

q_v - läbi vundamendi kaduv soojusenergia kW h/(m² a),

q_a - läbi akende kaduv soojusenergia kW h/(m² a),
 q_u - läbi välisukse kaduv soojusenergia kW h/(m² a),
 q_{vsk} - välisseina külmasildade tõttu kaduv soojusenergia kW h/(m² a).

Piirdetarindi soojusenergiakaod q_i [kW h/(m² a)] leitakse valemiga (10):

$$q_i = A_i \times U_i \times c \times G_t, \quad (10)$$

kus A_i - arvutatava osa pindala m²,
 U_i - arvutatava osa U-väärtus W/m² K,
 c - reduktsioonikonstant,
 G_t - välispiiretest kaduva soojuse koefitsient kK h/a.

Ventileerimisest tekkivad soojusenergiakaod

Ventileerimisest tekkiv soojakadu Q_V (kW h/a) leitakse valemiga (11):

$$Q_V = Q_{V1} + Q_{V,e}, \quad (11)$$

kus Q_{V1} - õhuvahetusest tulenev soojakadu läbi maapealsete välispiirete kW h/a,
 $Q_{V,e}$ - õhuvahetusest tulenev soojakadu läbi maapinna kW h/a.

Õhuvahetusest tulenev soojakadu läbi välispiirete Q_{V1} (kW h/a) leitakse valemiga (12):

$$Q_{V1} = V_{RAX} \times n_{V,e} \times c_{\delta hk} \times G_t, \quad (12)$$

kus V_{RAX} - hoone kubatuur m³,
 $n_{V,e}$ - efektiivne õhuvahetus läbi välispiirde 1/h,
 $c_{\delta hk}$ - õhu energiakonstant W h/(m³ K),
 G_t - välispiiretest kaduva soojuse koefitsient kK h/a.

Õhuvahetusest tulenev soojakadu läbi maapinna $Q_{V,e}$ (kW h/a) arvutatakse valemiga (13):

$$Q_{V,e} = V_{RAX} \times n_{V,g} \times c_{\delta hk} \times G_t, \quad (13)$$

kus V_{RAX} - hoone kubatuur m³,
 $n_{V,g}$ - efektiivne õhuvahetus läbi maapinna 1/h,

$c_{\delta hk}$ - õhu energiakonstant W h/(m³ K),

G_t - välispiiretest kaduva soojuse koefitsent kK h/a.

Efektiivne õhuvahetus läbi välispiirde $n_{V,e}$ (1/h) leitakse valemiga (14):

$$n_{V,e} = n_{V,sys} \times (1 - \eta_{SHX}^*) \times (1 - \eta_{HR}) + n_{V,Res} , \quad (14)$$

kus $n_{V,sys}$ - keskmine õhuvahetus hoones 1/h,

η_{SHX}^* - soojusvaheti nimikasutegur %,

η_{HR} - soojusvaheti tegelik kasutegur %,

$n_{V,Res}$ - infiltratsiooni poolt tulenev õhuvahetus 1/h.

Efektiivne õhuvahetus läbi maapinna $n_{V,g}$ (1/h) leitakse valemiga (15):

$$n_{V,g} = n_{V,sys} \times \eta_{SHX}^* \times (1 - \eta_{HR}) , \quad (15)$$

kus $n_{V,sys}$ - keskmine õhuvahetus hoones 1/h,

η_{SHX}^* - soojusvaheti nimikasutegur %,

η_{HR} - soojusvaheti tegelik kasutegur %.

Ventileeritav kubatuur V_{RAX} (m³) leitakse valemiga (16):

$$V_{rax} = A_i \times h , \quad (16)$$

kus A_i - netopindala m²,

h - ruumi kõrgus m.

Õhuvahetuse kordsus V_{1h} (h₋₁) leitakse valemiga (17):

$$V_{1h} = \frac{n_v}{V_{rax}} , \quad (17)$$

kus n_v - ventilatsiooni kaudu siseneva värske õhu hulk m³h,

V_{RAX} – ventileeritav kubatuur m³.

Kogu hoone soojakaod

Kogu hoone soojakaod Q_L (kW h/a) leitakse valemiga (18):

$$Q_L = (Q_T + Q_V) \times c , \quad (18)$$

kus Q_T - läbi piirdetarindite väljuv soojusenergia kW h/(m² a),
 Q_v - ventileerimisest tekkiv soojakadu kW h/a,
 c - vähendustegur (elamutes 1,0).

Vabasoojused

Hoone vabasoojused köetava pinna ruutmeetri kohta Q_I [kW h/(m² a)] leitakse valemiga (19):

$$Q_I = (Q_v + Q_s + Q_{in}) \frac{d_k}{d} \times A_{TFA} \quad , \quad (19)$$

kus Q_v - valgustusest tekkiv vabasoojus W/m²,
 Q_s - seadmetest tekkiv vabasoojus W/m²,
 Q_{in} - inimeste poolt tekitatav vabasoojus W/m²,
 d_k - kütteperioodi pikkus p,
 d - päevade arv aastas 365,
 A_{TFA} - hoone köetav netopind m².

Valgustusest tekkiv vabasoojus Q_v (W/m²), seadmetest tekkiv vabasoojus Q_s (W/m²) ja inimeste poolt tekitatav vabasoojus Q_{in} (W/m²) leitakse valemiga (20):

$$Q_I = kP \frac{T_d}{24} \times \frac{T_v}{7} \times \frac{8760}{1000} \quad , \quad (20)$$

Kus k - kasutusaste,
 P - soojuseraldus W/m²,
 T_d - hoone kasutustundide arv ööpäevas h,
 T_w - hoone kasutuspäevade arv nädalas d.

Vaba soojusenergia Q_F (kW h/a) leitakse valemiga (21):

$$Q_F = Q_s + Q_I \quad , \quad (21)$$

kus Q_s -akende kaudu sisenev päikese soojusenergia hulk kW h/(m² a),
 Q_I - hoone vabasoojused köetava pinna ruutmeetri kohta kW h/(m² a).

Hoone soojusbilansi arvutustes arvessevõetav vabasoojus Q_G (kW h/a) leitakse valemiga (22):

$$Q_G = \eta_G \times Q_F , \quad (22)$$

kus η_G - soojusenergia ärakasutamiskordnär, %,

Q_F - vaba soojusenergia kW h/a.

Aastane neto soojusenergiavajadus kütteks

Hoone aastane neto soojusenergiavajadus Q_H (kW h/a) leitakse valemiga (23):

$$Q_H = Q_L - Q_G , \quad (23)$$

kus Q_L - hoone soojakadude summa kW h/a,

Q_g - arvessevõetav vabasoojus kW h/a.

Vajalik energiahulk tarbevee soojendamiseks aastas

Vajalik energiahulk tarbevee soojendamiseks aastas Q_{DHV} (kW h/a) leitakse valemiga (24):

$$Q_{DHV} = \frac{P \times V_{DHV} \times \Delta_t \times q \times 365}{3600 \times 1000 \times \eta} , \quad (24)$$

kus P - inimeste arv,

V_{DHV} - vee hulk inimese kohta ööpäevas l,

Δ_t - sooja vee ja siseneva vee temperatuuride erinevus °C,

q - vee erisoojus 4200 J/kg K,

η - kasuliku soojusenergia vähenduskordnär %.

Maasoojuspumba poolt tarbitud energiahulk E_{mp} (kW h/a) leitakse valemiga (25):

$$E_{mp} = E_t - E_v - E_{vek} - E_{ts} , \quad (25)$$

kus E_t - kõikide seadmete poolt tarbitud energia kW h,

E_v - ventilatsiooniseadme poolt tarbitud energia kWh,

E_{vek} - ventilatsiooniõhu eelkütteseadme poolt tarbitud energia kW h,

E_{ts} - küttesüsteemi tsirkulatsioonipumba poolt tarbitud energia kW h.

Maasoojuspumba soojustegur COP leitakse valemiga (26):

$$COP = \frac{Q}{W}, \quad (26)$$

Kus Q - maasoojuspumba poolt toodetus soojusenergia kW,
 W – maasoojuspumba poolt tarbitud elektrienergia kW h.

3.6. Kasutatavad arvutustarkvarad

Passiivmaja projekteerimise pakett PHPP

PHPP on spetsiaalselt passiivmajade projekteerimiseks kavandatud tööriist. Arvutustes võetakse arvesse konstruktsioonidetaile, mida on kõrge energiatõhususe juures vajalik tavapärasest suurema detailsusega kirjeldada. Kuivõrd tegemist on universaalse tööriistaga, siis saab lisaks passiivmajadele sellega arvutada ka suurema küttevajadusega hooneid. PHPP sisaldab omavahel seostatud arvutusmeetodeid, mille aluseks on suuremalt jaolt Euroopa normid. (Passiivmajatehnoloogia, 2009)

PHPP meetodika puhul on tegemist staatilise ühetsoonilise arvutusmudeliga, mis baseerub ISO 13790 standardis toodud kuubilansi või aastase bilansi meetodil. Hoone soojakadude arvutamisel ja energiakulu hindamisel lähtutakse pikaajalistest keskmistest kliimaandmetest (sealsamas). PHPP arvutustes on kasutusel Eesti energiaarvutuste baasaasta (EEB) andmestik Tõravere/Tartu ilmavaatlusjaamas (Tabel 3.6.), mis iseloomustab tüüpilist väliskliimat ja on koostatud ISO 15927-4:2005 standardis kirjeldatud meetodika alusel. Kliima alusandmed on perioodist 1970-2000. Koostatud testaasta koosneb kaheteistkümnest tüüpilisest kuust, milles sisalduvad andmed õhutemperatuuri, õhuniiskuse, päikesekiirguse ja tuulekiirguse kohta. (Kalamees, Kurnistski, 2010)

3.7. Piirete soojustehnilised näitajad

Läbipaistmatud piirded

Maja välissein

Maja välisseina soojusjuhtivuse arvutuskäik on teostatud vastavalt mittehomoogeense piirde arvutusele PHPP programmis vastavalt valemile 4. Maja välisseinte soojusjuhtivus on esitatud peatüki lõpus olevas kokkuvõttes tabelis (Tabel 3.6.).

Garaaži välissein

Garaažiseina soojusjuhtivuse arvutused on teostatud vastavalt mittehomogeense piirde arvutusele PHPP programmis vastavalt valemile 4. Garaaži välisseinte soojusjuhtivus on esitatud peatüki lõpus olevas kokkuvõttes tabelis (Tabel 3.6.).

Põrand ja sokkel

Kuna tegemist on altpoolt soojustatud plaatvundamendiga, mille perimeeter on ka horisontaalselt soojustatud, siis puuduvad vundamendil külmasillad. PHPP tarkvaras ei arvutata eraldi sokli soojusjuhtivust kuna arvutused teostatakse seina välispiirde mõõtude järgi ning sokli mõõdud arvestatakse seina mõõtude mahtu. Sokli ja seina liitumiskohta kohta tehakse eraldi arvutus ning väljendatakse seiniosa joonkülmasillana.

Õhutiheda hoonekarbi põrand

Õhutiheda hoonekarbi põranda soojusjuhtivusarvutused on teostatud PHPP programmis homogeense piirdetarindi soojusjuhtivusarvutustele vastavalt valemile 1. Õhutiheda hoonekarbi põranda soojusjuhtivus on esitatud peatüki lõpus olevas kokkuvõttes tabelis (Tabel 3.6.).

Garaaži põrand

Garaaži põranda soojusjuhtivusarvutused on teostatud PHPP programmis homogeense piirdetarindi soojusjuhtivusarvutustele vastavalt valemile 1. Garaaži põranda soojusjuhtivus on esitatud peatüki lõpus olevas kokkuvõttes tabelis (Tabel 3.6.).

Õhutiheda hoonekarbi lagi

Maja lae soojusjuhtivuse arvutuskäik on teostatud mittehomogeense piirde arvutusele PHPP programmis vastavalt valemile 4. Maja lae soojusjuhtivus on esitatud peatüki lõpus olevas kokkuvõttes tabelis (Tabel 3.6.).

Garaaži lagi

Garaaži lae soojusjuhtivuse arvutuskäik on teostatud mittehomogeense piirde arvutusele PHPP programmis vastavalt valemile 4. Garaaži lae soojusjuhtivus on esitatud peatüki lõpus olevas kokkuvõttes tabelis (Tabel 3.6.).

Avatäidete soojusjuhtivus

Õhutiheda hoonekarbi akende soojusjuhtivus

Õhutiheda hoonekarbi akende soojusjuhtivus arvutatakse vastavalt valemile 5. Õhutiheda hoonekarbi akende soojusjuhtivuse arvutused on teostatud PHPP programmis, kus on võimalik sisestada kõik akende parameetrid: Akende mõõdud, raami laius, paigaldusviis, raami soojusjuhtivus, klaaspaketi soojusjuhtivus, klaasi päikese läbilaskvustegur, klaasi vaheliistust tekkiv külmasild, paigaldusest tekkiv külmasild. Sisendparameetrid vastavalt akna soojustehnilistele näitajatele (Tabel 3.2.). Maja akende soojusjuhtivus on esitatud peatüki lõpus olevas kokkuvõttes tabelis (Tabel 3.6.).

Garaaži akende soojusjuhtivus

Garaaži akende soojusjuhtivus arvutatakse vastavalt valemile 5. Garaaži akende soojusjuhtivuse arvutused on teostatud PHPP programmis, kus on võimalik sisestada kõik akende parameetrid: Akende mõõdud, raami laius, paigaldusviis, raami soojusjuhtivus, klaaspaketi soojusjuhtivus, klaasi päikese läbilaskvustegur, klaasi vaheliistust tekkiv külmasild, paigaldusest tekkiv külmasild. Sisendparameetrid vastavalt akna soojustehnilistele näitajatele (Tabel 3.2.). Garaaži akende soojusjuhtivus on esitatud peatüki lõpus olevas kokkuvõttes tabelis (Tabel 3.6.).

Uksed

Maja õhutihedat karki ning tuulekoda eraldava ukse soojusjuhtivus on $1,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ vastavalt tootjapoolsetele andmetele (Lisa 13). Välisukse (garaaži soojusbilansis) soojusjuhtivus on vastavalt tootjapoolsetele andmetele on $0,86 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, (Lisa 13). Garaažiuks. $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, (Lisa 12, tootja andmed).

Tabel 3.6. Kokkuvõttev tabel hoone välispiirete ja avatäidete soojusjuhtivusest

	Põhi, $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Ida, $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Lõuna, $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Lääs, $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Keskmine soojus- juhtivus, $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Pindala välis- mõõtude järgi, m^2
Välissein maja	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	165,2
Välissein garaaž	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	54,5
Lagi maja	-	-	-	-	0,065	220,8
Lagi garaaž	-	-	-	-	0,107	41,3
Põrand maja	-	-	-	-	0,117	220,8
Põrand	-	-	-	-	0,119	41,3

garaaž						
Aknad maja	0,693	0,727	0,685	0,722	0,7	45,1
Aknad garaaž	1,2 (garaaži-uks)	-	-	0,766	1,05	12,9
Uksed	1,34	0,86	-	-	1,05	4,5

Joonkülmasilad

Hoone konstruktsioonid on projekteeritud külmasillavabalt. Välispiirdes ei ole läbivaid külmasildasid. Mittehomogeensete ristlõigetega välispiirde arvutused on teostatud PHPP programmis vastavalt mittehomogeense välispiirde soojusjuhtivuse arvutuskäigule. Arvutuste täpsuse tagamiseks on teostatud arvutused geomeetriliste joonkülmasilade osas.

Geomeetriliste külmasildade osas on kasutatud andmeid passiivmaja detailide kataloogist (Details for Passive Houses. 2008). Tabelis 3.5. antud andmeid käesolevas töös ei kasutata kuna see toob kaasa liialt suure eksimuse arvutustes ning on mõeldud kasutamiseks olukorras, kus täpsemaid andmeid ei ole võimalik leida.

Külmasildade arvutuskäik on teostatud vastavalt valemile 8 programmis PHPP ning kajastatud joonistel 3.11. ja 3.12.

Joonisel 3.9. on antud programmis PHPP sisestatavad joonkülmasilad õhutihedal hoonekarbil. Sisendparameetriteks külmasilla geomeetiline asukoht, külmasilla pikkus (m) ning soojusläbivus [W/(m K)]. Joonkülmasilade mõju võetakse arvesse energiakadude arvutustes.

Thermal Bridge Inputs												
Nr. of Thermal Bridge	Thermal Bridge Description	Group Nr.	Assigned to Group	Quantity	x (	User Determined Length [m]	-	Subtraction User-Determined Length [m]	=	Length l [m]	Input of Thermal Bridge Heat Loss Coefficient W/(mK)	Ψ W/(mK)
1	akna ülaosa	15	Thermal Bridges Ambient	1	x (	23,00	-		)=	23,00	akna ülaosa	0,025
2	Akna küljed	15	Thermal Bridges Ambient	1	x (	30,70	-		)=	30,70	Akna küljed	0,025
3	Akna alaosa	15	Thermal Bridges Ambient	1	x (	23,00	-		)=	23,00	Akna alaosa	0,030
4	seina välisnurk	15	Thermal Bridges Ambient	5	x (	3,30	-		)=	16,50	seina välisnurk	-0,033
5	Seina ja sokli liitumine	15	Thermal Bridges Ambient	1	x (	65,48	-	6,45	)=	59,03	Seina ja sokli liitumine	-0,130
6					x (-)=			

Joonis 3.9. Tööleht programmis PHPP joonkülmasilade arvutus õhutihedal hoonekarbil

Joonisel 3.10. on antud programmis PHPP sisestatavad joonkülmasilad garaažil. Sisendparameetriteks külmasilla geomeetiline asukoht, külmasilla pikkus (m) ning

soojusläbivus [W/(m K)]. Joonkülmasildade mõju võetakse arvesse energiakadude arvutustes.

Thermal Bridge Inputs												
Thermal Bridge Description	Group Nr.	Assigned to Group	Quantity		x (	User Determined Length [m]	-	Subtraction User-Determined Length [m]	) =	Length l [m]	Input of Thermal Bridge Heat Loss Coefficient W/(mK)	Ψ W/(mK)
Seina ja põranda liitekoht	15	Thermal Bridges Ambient	1		x (	19,25	-		) =	19,25	Seina ja põranda liitekoht	0,035
akna ülaosa	15	Thermal Bridges Ambient	1		x (	1,50	-		) =	1,50	akna ülaosa	0,025
akna küljed	15	Thermal Bridges Ambient	1		x (	2,40	-		) =	2,40	akna küljed	0,025
akna alaosa	15	Thermal Bridges Ambient	1		x (	1,50	-		) =	1,50	akna alaosa	0,030

Joonis 3.10. Tööleht programmis PHPP joonkülmasildade arvutus garaažil

4. ENERGIAARVUTUSED

4.1. Standardkasutus

Standardkasutusena käsitletakse PHPP manuaalis olevaid sisendparameetreid ning EEB kliimaandmeid (Kalamees ja Kurnitski, 2006). Standardkasutuse sisendparameetrid on esitatud tabel 4.1.

Tabel 4.1. Sisendparameetrid standardkasutuse arvutustes

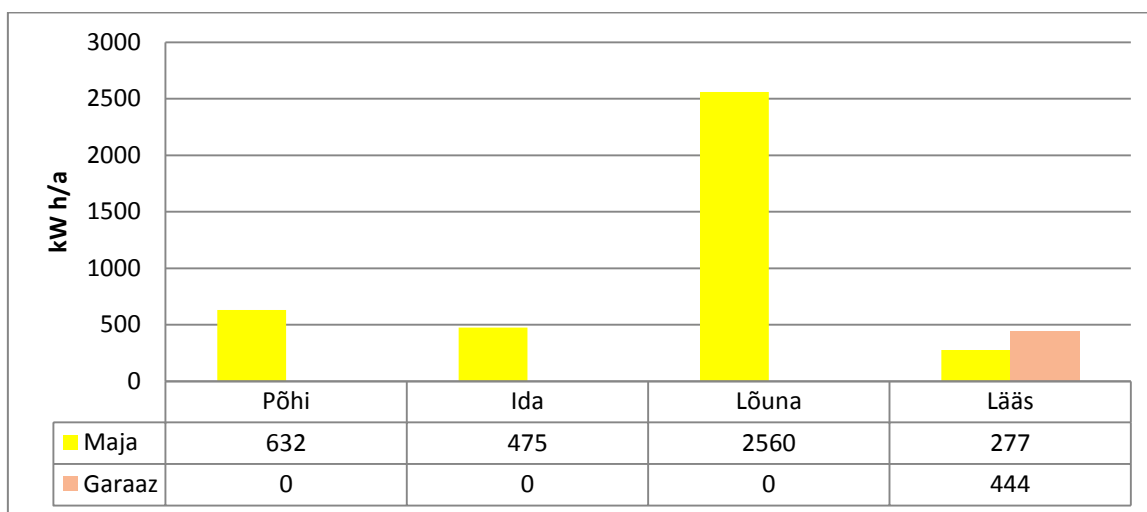
Sisetemperatuur °C	20
Elanike arv	2
Ventilatsioonisüsteemi kaudu siseneva värske õhu hulk m ³ /h	166
Vabasoojus W/m ²	2,1
Sooja tarbevee hulk inimese kohta päevas l, PHPP meetodika	25
Sisenev külma vee temperatuur/sooja tarbevee temperatuur °C	10/60
Ruumi kõrgus m	2,5
kraadpäevade arv välispiirete enegiakao arvutustes, mil vajatakse täiendavat kütteenergiat: õhutihe hoonekarp	109
kraadpäevade arv välispiirete enegiakao arvutustes, mil vajatakse täiendavat kütteenergiat: Garaaž	109
kraadpäevade arv põranda enegiakao arvutustes, mil vajatakse täiendavat kütteenergiat: õhutihe hoonekarp	69
kraadpäevade arv põranda enegiakao arvutustes, mil vajatakse täiendavat kütteenergiat: garaaž	91
Kütteperioodi pikkus (päeva)	242
Kuud, mis ei kajastu kraadpäevade hulgas, mil ei vajata täiendavat kütteenergiat ning sisetemperatuur tagatakse vabasoojuse ja päikese arvelt	mai, juuni, juuli, august

Soojusenergia allikad

Päikeselt tulev soojusenergia

Päikeselt saadava soojusenergia arvutustes, mis siseneb läbi akende, on võetud aluseks Eesti energiaarvutuste baasaasta päikeseenergia intensiivsuse andmed, akende klaasipinna suurus, aknapindade varjutus ning klaaside päikeseenergia läbilaskvuse koefitsient. Kuivõrd PHPP tarkvara teeb need arvutused automaatselt, siis ei ole käesolevas töös arvutuste suure mahu tõttu iga akna kohta eraldi arvutust tehtud, vaid andmed on võetud PHPP tarkvara arvutustulemustest. Läbi akende sisenev soojusenergia arvutatakse

valemiga 6. Õhutiheda hoonekarbi (maja) lääneküljest saadav päikese soojusenergia hulk on madal (Joonis 4.1.), sest kolmel aknal neljast varjutab päikesekiirgust katusealune terrass. Suurim soojusenergiahulk siseneb lõunakülje akendest.



Joonis 4.1. Läbi akende sisenev soojusenergia hulk aastas erinevate ilmakaarte suhtes

Hoone ja tehnosüsteemide kasutamisel tekkiv vabasoojus

Hoone ja tehnosüsteemide kasutamisel tekkiv vabasoojus on võrreldavuse huvides arvutatud üksnes õhutiheda hoonekarbi osale, kus toimub elutegevus ning paiknevad soojust-tekitavad seadmed.

Määrus „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ annab suunised vabasoojuse arvutamisel köetava pinna ruutmeetri kohta ja seda ka juhul kui köetakse ruume, kus puuduvad vabasoojust tekitavad seadmed ja inimesed. Võrreldavuse huvides on arvutatud vabasoojused nii õhutihedale hoonekarbile (182 m²) kui ka kogu hoonele (214 m²).

Määrus „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“

Vastava määruse „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ hoone standardkasutuse alajaotusele on maksimaalsed vabasoojused köetava pinna kohta esitatud tabelis 4.2.

Tabel 4.2. Hoone standardkasutus ja sellele vastavad maksimaalsed vabasoojused köetava pinna ruutmeetri kohta (Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. 2012)

Hoone kasutus-otstarve	Kasutusaeg			Kasutus-aste	Valgustus ^a W/m ²	Seadmed W/m ²	Inimesed ^b W/m ²	Inimesed m ² /in
	Kella-aeg	h/24 h	d/7 d					
Väikeelamu	00:00-00:00	24	7	0,6	8 ^c	2,4	2	42,5

^b inimeste soojuseraldus sisaldab ainult ilmset soojust. Varjatud soojuse arvessevõtmiseks tuleb toodud väärtused jagada läbi teguriga 0,6. ^c elamute valgustuse kasutusaste on 0,1

Valgustuse, seadmete ja inimeste soojuseraldus arvutatakse valemiga 20.

Valgustuse soojuseraldus

$$Q_v = 0,1 \times 8 \times \frac{24}{24} \times \frac{7}{7} \times \frac{8760}{1000} = 7 \text{ kW h}/(\text{m}^2\text{a})$$

Seadmete soojuseraldus

$$Q_s = 0,6 \times 2,4 \times \frac{24}{24} \times \frac{7}{7} \times \frac{8760}{1000} = 12,6 \text{ kW h}/(\text{m}^2\text{a})$$

Inimeste soojuseraldus

$$Q_{in} = 0,6 \times 2 \times 0,6 \times \frac{24}{24} \times \frac{7}{7} \times \frac{8760}{1000} = 6,3 \text{ kW h}/(\text{m}^2\text{a})$$

Summaarne vabasoojus kütteperioodi pikkuse 242 päeva ning köetava pinna 182 m² korral arvutatakse valemiga 19.

$$Q_I = (7 + 12,6 + 6,3) \times \frac{242}{365} \times 182 = 3125 \text{ kW h/a}$$

Tegemist on standardkasutuse maksimaalsete vabasoojustega antud pinna puhul.

Summaarne vabasoojus kütteperioodi pikkuse 242 päeva ning köetava pinna 214 m² korral arvutatakse valemiga 19.

$$Q_I = (7 + 12,6 + 6,3) \times \frac{242}{365} \times 214 = 3675 \text{ kW h/a}$$

PHPP metoodika

PHPP tarkvara on võrreldes määrusega „Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika“ konservatiivne ning arvutustes võetakse vabasoojuseks 2,1 W/m². Summaarne aastane vabasoojus kütteperioodi pikkuse 242 päeva ning köetava pinna 182 m² puhul on arvutatud valemiga 19.

$$Q_I = 2,1 \times \frac{24}{24} \times \frac{7}{7} \times \frac{8760}{1000} \times \frac{242}{365} \times 182 = 2220 \text{ kW h/a}$$

Kuna PHPP metoodika käsitleb vabasoojusi üksnes õhutiheda hoonekarbi osas, siis on arvutuslike vabasoojuste aluseks võetud PHPP metoodika tulemus.

Vabasoojuste summa

Päikeseenergia ja vabasoojuse summa arvutatakse valemiga 21. Kuna garaažis elutegevust ei toimu ning valgustuse kasutusaste on minimaalne, siis vabasoojuse hulgaks on võetud 0 kW h/a.

Õhutihe hoonekarp

$$Q_F = 2220 + 3944 = 6164 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

$$Q_F = 0 + 444 = 444 \text{ kW h/a}$$

Kasutatav soojusenergiahulk

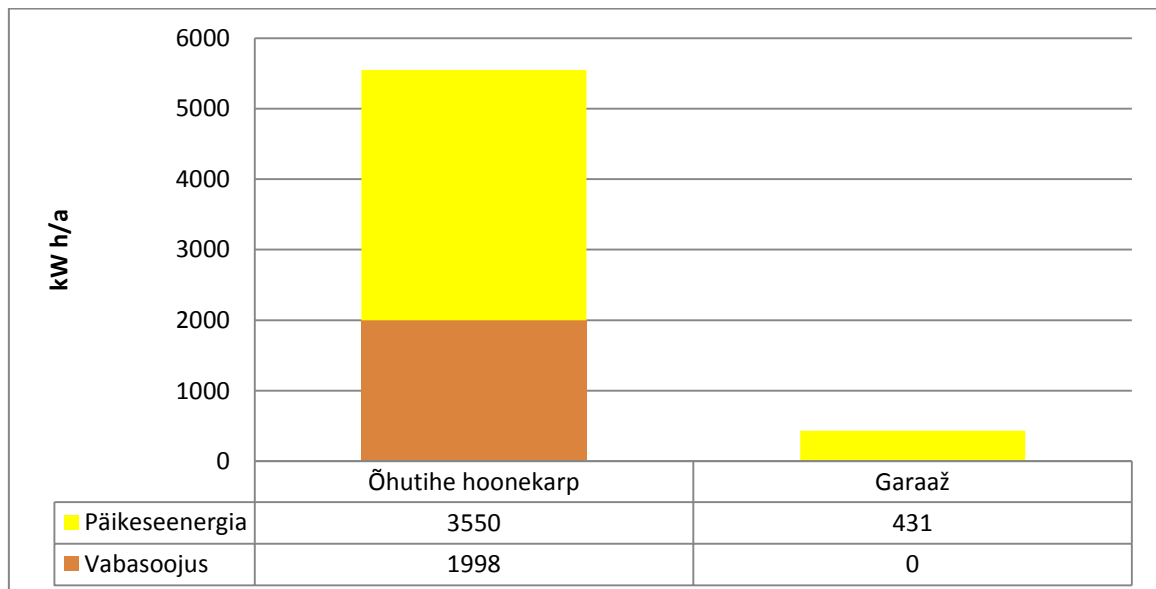
Kasutatav soojusenergiahulk arvutatakse valemiga 22. Soojusenergia ära kasutamise faktor η_G on arvutatud PHPP programmis ning selle väärtus õhutihedal hoonekarbil on 90%, garaažil 97%. Hooneosade päikeselt saadava ning vabasoojuse energiahulgad on esitatud kokkuvõtval graafikul (Joonis 4.2.).

Õhutihe hoonekarp.

$$Q_G = 0,9 \times 6164 = 5548 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

$$Q_G = 0,97 \times 444 = 431 \text{ kW h/a}$$



Joonis 4.2. Hooneosade päikeselt saadav energia ning seadmete ja inimeste vabasoojus

Soojakaod

Soojakaod ventilatsioonisüsteemi käitamisest

Soojakadude arvutus ventileerimisest on teostatud üksnes õhutihedale hoonekarbile. Ventileeritava hooneosa pindala on 182 m² ning ventileeritav kubatuur 455 m³.

Õhuvahetus vastavalt määrusele „Energiaõhususe miinimumnõuded“

Määruse „Energiaõhususe miinimumnõuded“ kohaselt peab mitteeluhoonetes olema ventilatsioonisüsteemi värske õhu vooluhulk 0,42 l/(s m²), mis vastab 1,512 m³/(h m²), määramata ära seejuures kui suur peab olema õhuvahetuse kordsus ühe tunni jooksul.

Käesoleva hoone näite puhul, vastavalt määrusele „Energiaõhususe miinimumnõuded“ ventilatsiooni kaudu siseneva värske õhu hulk.

$$N_v = 1,512 \times 182 = 275,18 \text{ m}^3 \text{ h}$$

Hoone kubatuur vastavalt PHPP standardkasutuse nõuetele laekõrguse 2,5 m puhul arvutatakse valemiga 16.

$$V_{\text{rax}} = 182 \times 2,5 = 455 \text{ m}^3$$

Õhuvahetuse kordsus vastavalt määrusele „Energiaõhususe miinimumnõuded“ arvutatakse valemiga 17.

$$V_{1\text{h}} = \frac{275,18}{455} = 0,6 \frac{1}{\text{h}}$$

Õhuvahetus vastavalt PHPP metoodikale ning tegelikule ventileerimisele

PHPP metoodika kohaselt peab õhuvahetuse kordsus tunnis jääma vahemikku 0,3-0,4 korda tunnis. Sellise õhuvahetuse kordsuse puhul ei ole riski ülemäärase CO₂ kontsentratsiooni ega hallituse tekkeks ning välditakse ka liigkuivust talve- ja kevadperioodil.

Hoone ventilatsioonisüsteem töötab võimsusel 166 m³h. Õhuvahetuse kordsus arvutatakse valemiga 17.

$$V_{1\text{h}} = \frac{166}{455} = 0,36 \frac{1}{\text{h}}$$

Vastavalt PHPP metoodikale on selline õhuvahetuse kordsus piisav (0,3-0,4 korda tunnis), hoitakse kokku soojusenergiat ning välditakse liigset õhukuivust. Käesolevas töös

kasutatakse arvutustes tegelikku mõõdetud hoonesse sisenevat välisõhu hulka, milleks on 166 m³h.

Soojakadu ventileerimisest tegeliku ventilatsiooniõhu hulga puhul (PHPP meetoodika)

Ventileerimisest tingitud soojakaod arvutatakse valemiga 11.

$$Q_v = 2000 + 0 = 2000 \text{ kW h/a}$$

Õhuvahetusest tulenev soojakadu läbi välispiirete arvutatakse valemiga 12.

$$Q_{v1} = 455 \times 0,122 \times 0,33 \times 109 = 2000 \text{ kW h/a}$$

Efektiivne õhuvahetus läbi välispiirde arvutatakse valemiga 14.

$$n_{v,e} = 0,365 \times (1 - 0,90) + 0,084 = 0,122$$

Infiltratsiooni poolt tulenev õhuvahetuse määr 0,084

Kuna hoonel on plaatvundament, siis puudub õhuvahetus läbi maapinna. Seega $Q_{ve} = 0$.

Soojakadu ventileerimisest määrus „Energiaõhususe miinimumnõude“

Võrdlusena on välja toodud soojakadu ventileerimisest määruses „Energiaõhususe miinimumnõuded“ nõutud ventilatsiooniõhu hulga puhul.

Soojakadu ventileerimisest arvutatakse valemiga 11.

$$Q_v = 2357 + 0 = 2357 \text{ kW h/a}$$

Õhuvahetusest tulenev soojakadu läbi välispiirete arvutatakse valemiga 12.

$$Q_{v1} = 455 \times 0,144 \times 0,33 \times 109 = 2357 \text{ kW h/a}$$

Efektiivne õhuvahetus läbi välispiirde arvutatakse valemiga 14.

$$n_{v,e} = 0,6 \times (1 - 0,90) + 0,084 = 0,144$$

Piirdetarindi soojusenergiakaod

Soojakaod läbi piirdetarindite arvutatakse valemiga 10.

Õhutihe hoonekarp

Välisseinad

$$q_{vs1} = 165,2 \times 0,094 \times 1 \times 109 = 1692 \text{ kW h/a}$$

Lagi

$$q_{kl} = 221 \times 0,065 \times 1 \times 109 = 1576 \text{ kW h/a}$$

Põrand

$$q_{p1}=220,8 \times 0,117 \times 1 \times 69 = 1789 \text{ kW h/a}$$

Õhutiheda hoonekarbi avatäited

Põhi

$$q_{a1põ}=10,93 \times 0,69 \times 1 \times 109 = 822 \text{ kW h/a}$$

Ida

$$q_{a1i}=6,66 \times 0,73 \times 1 \times 109 = 525 \text{ kW h/a}$$

Lõuna

$$q_{a1lõ}=19,69 \times 0,69 \times 1 \times 109 = 1480 \text{ kW h/a}$$

Lääs

$$q_{a1lä}=7,81 \times 0,72 \times 1 \times 109 = 638 \text{ kW h/a}$$

Soojakadu läbi ukse tuulekotta

$$q_{vupõ}=2,2 \times 1,34 \times 1 \times 109 = 321 \text{ kW h/a}$$

Summaarne soojakadu läbi avatäidete

$$Q_{a1}=q_{a1põ}+q_{a1i}+q_{a1lõ}+q_{a1lä}+q_{vupõ}=822+525+1480+638+321=3786 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

Välisseinad

$$q_{vs2}=54,5 \times 0,171 \times 1 \times 109 = 1016 \text{ kW h/a}$$

Katus

$$q_{k2}=41,3 \times 0,107 \times 1 \times 109 = 482 \text{ kW h/a}$$

Põrand

$$q_{p2}=41,3 \times 0,119 \times 1 \times 91 = 447 \text{ kW h/a}$$

Garaaži avatäited

Aknad lääs

$$q_{a2lä}=3,6 \times 0,77 \times 1 \times 109 = 302 \text{ kW h/a}$$

Garaažiuks

$$q_{gupõ}=7,2 \times 1,2 \times 1 \times 109 = 942 \text{ kW h/a}$$

Maja välisuks

$$q_{\text{vulä}}=2,3 \times 0,86 \times 1 \times 109=216 \text{ kW h/a}$$

Külmasildade mõju

Külmasildade mõju arvutatakse valemiga 8.

PHPP tarkvara teostab külmasildade keskmise väärtuse arvutused automaatselt vastavalt esitatud väärtustele (Joonis 3.11. ja 3.12.).

Külmasildade mõju õhutihedal hoonekarbil

$$q_{\text{vsk}}=152,2 \times (-0,041) \times 1 \times 109=-680 \text{ kW h/a}$$

Külmasildade mõju garaažil

$$q_{\text{vsk}}=24,7 \times 0,033 \times 1 \times 109=89 \text{ kW h/a}$$

Summaarne soojusenergiakadu

Summaarne soojusenergiakadu arvutatakse valemiga 18.

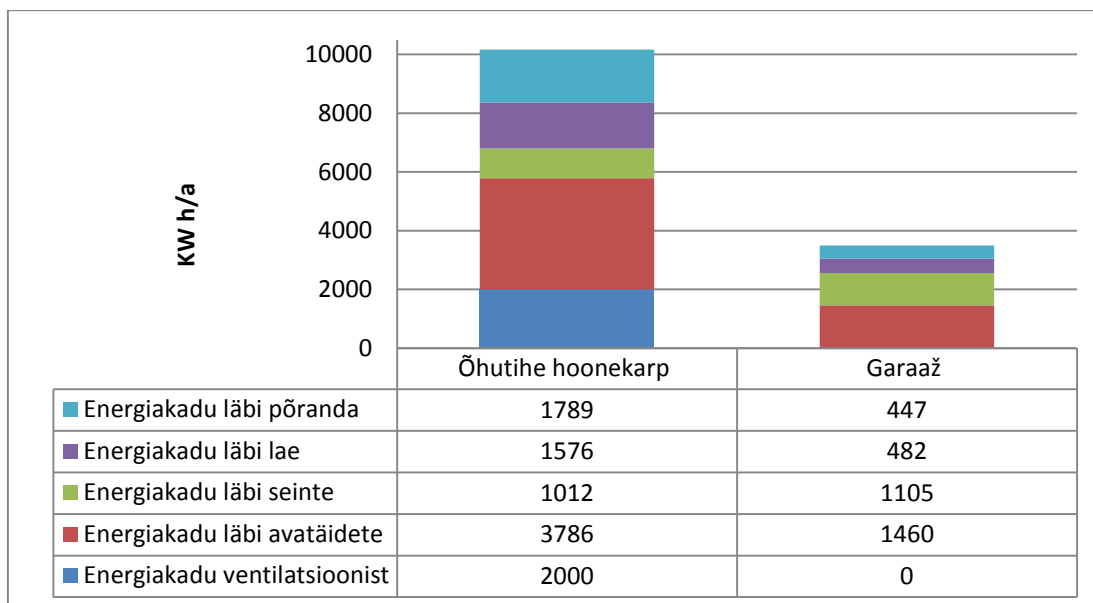
Energiakadude summa läbi piirdetarindi õhutihedal hoonekarbil:

$$\begin{aligned} Q_{L1} &= (Q_{v1} + q_{vs1} + q_{k1} + q_{p1} + Q_{a1} + q_{\text{vupõ}} + q_{\text{vsk}}) \times 1 = \\ &= (2000 + 1692 + 1576 + 1789 + 3465 + 321 - 680) \times 1 = 10163 \text{ kW h/a} \end{aligned}$$

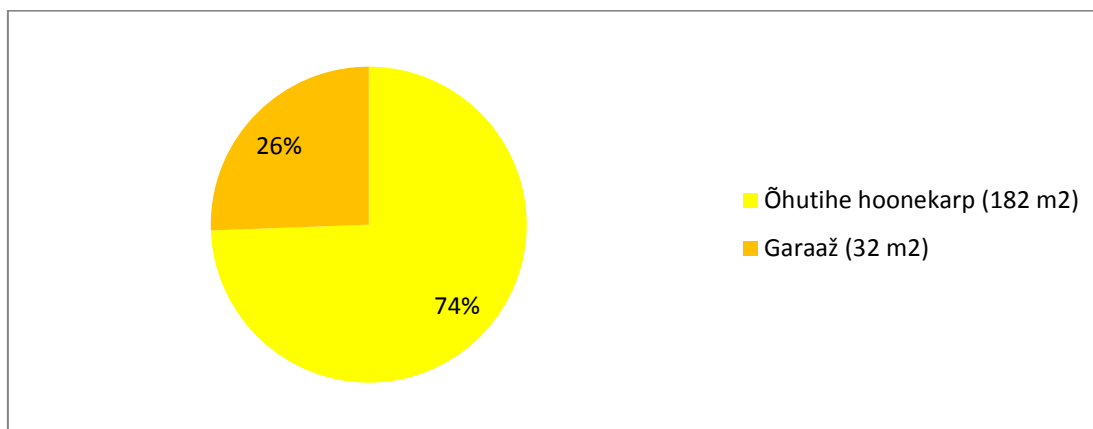
Energiakadude summa läbi piirdetarindi garaažil:

$$\begin{aligned} Q_{T2} &= (Q_{v2} + q_{vs2} + q_{k2} + q_{p2} + q_{a2\text{lä}} + q_{\text{gupõ}} + q_{\text{vulä}} + q_{\text{vsk}}) \times 1 = \\ &= (0 + 1016 + 482 + 447 + 302 + 942 + 216 + 89) \times 1 = 3494 \text{ kW h/a} \end{aligned}$$

Hoone energiakaod standardkasutusel on esitatud joonisel (Joonis 4.3.) ning protsentuaalne jaotus õhutiheda hoonekarbi ja garaaži vahel (Joonis 4.4.). Joonisel esitatud info kohaselt kulub garaaži kütteks, mis moodustab 15% kõetavast pinnast, 26% energiakulust.



Joonis 4.3. Hoone energiakaod, kus joonkülmasildade mõju on arvesse võetud seinte osas



Joonis 4.4. Energiakadude osakaalud hooneosade lõikes standardkasutuse korral

Aastane neto soojusenergiavajadus kütteks

Vajatav energiahulk arvutatakse valemiga 23.

Õhutihe hoonekarp

$$Q_{H1} = Q_{L1} - Q_G = 10163 - 5548 = 4615 \text{ kW h/a}$$

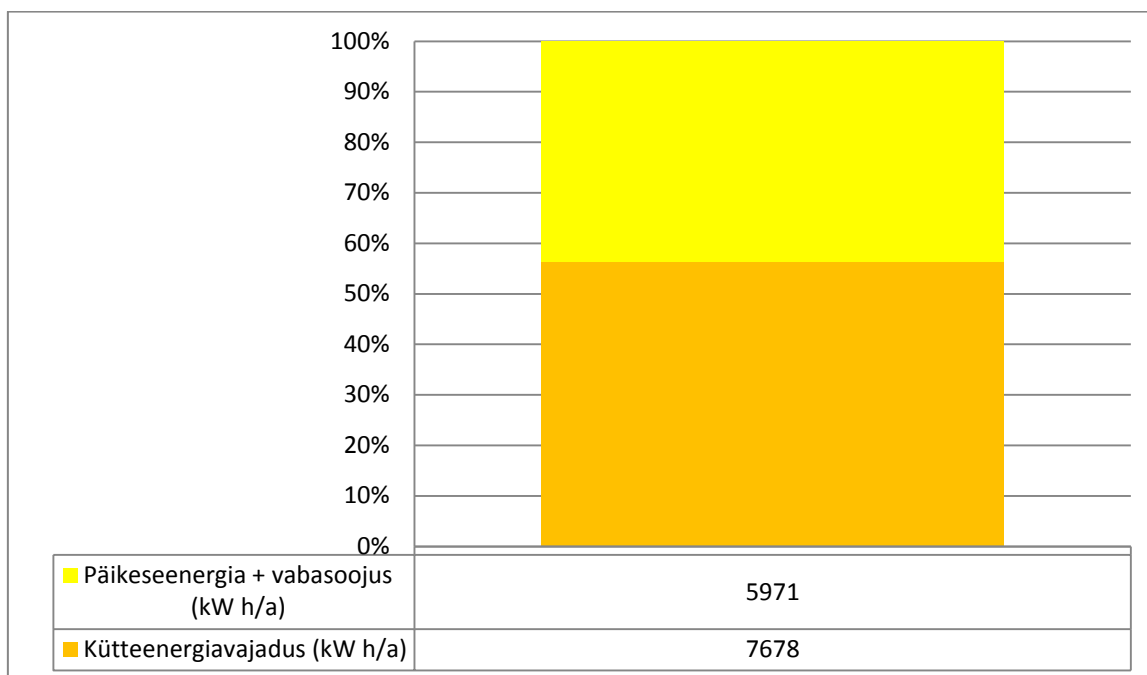
Garaaž

$$Q_{H2} = Q_{L2} - Q_G = 3494 - 431 = 3063 \text{ kW h/a}$$

Kogu hoone neto kütteenergiavajadus

$$Q_H = 4615 + 3063 = 7678 \text{ kW h/a}$$

Hoone soojusenergiabilansi graafik on esitatud joonisel 4.5. Standardkasutuse puhul moodustab päikeseenergia ja vabasoojuse summa 44% kogu vajatavast soojusenergiast.



Joonis 4.5. Hoone soojusenergiabilans standardkasutusel

Tarbevee soojendamiseks kuluv energia

Standardkasutusel tarbevee soojendamiseks kuluv energia on arvatud kahe meetodi alusel: määruse „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetoodika“ ning PHPP meetoodika.

PHPP meetoodika

Vajalik energiahulk vee soojendamiseks aastas arvutatakse valemiga 24.

Elanike arv kaks. Vee erikulu elaniku kohta 25 liitrit päevas. Kasuliku soojusenergia vähenduskoeffitsient η on arvatud PHPP tarkvaras (Joonis 4.6.) ning soojaveeboileri soojuskadude arvutus, mis on aluseks kasuliku soojusenergia vähenduskoeffitsiendi arvutusel (Joonis 4.7.).

$$Q_{DHV} = \frac{2 \times 25 \times 50 \times 4200 \times 365}{3600 \times 1000 \times 0,721} = 1468 \text{ kW h/a}$$

Võrdlusena on toodud ka PHPP meetodi arvutus nelja elaniku puhul.

$$Q_{DHV} = \frac{4 \times 25 \times 50 \times 4200 \times 365}{3600 \times 1000 \times 0,721} = 2953 \text{ kW h/a}$$

Average Heat Released From Storage	P_S	$= t_{\text{reasing}} / 8760 \cdot \eta_{10}$	100,0	W
Possible Utilization Factor of Released Heat	$\eta_{10,S}$	$= P_S / 8.760 \text{ kh} \cdot (1 - \eta_{10,S})$	53,2%	
Annual Heat Losses from Storage	Q_S		409,7	kWh/a
			410	kWh/a
Total Heat Losses of the DHW System	Q_{WL}	$= Q_L + Q_U + Q_S$	410	kWh/a
Specif. Losses of the DHW System	q_{WL}	$= Q_{WL} / A_{TFA}$	2,3	kWh/(m ² a)
Utilisation Factor DHW Distrib and Storage	$\eta_{1,WL}$	$= Q_{DHW} / (Q_{DHW} + Q_{WL})$	72,1%	
Total Heat Demand of DHW system	Q_{DHW}	$= Q_{DHW} + Q_{WL}$	1468	kWh/a
Total Spec. Heat Demand of DHW System	q_{DHW}	$= Q_{DHW} / A_{TFA}$	8,1	kWh/(m ² a)

Joonis 4.6. Kasuliku soojusenergia vähenduskoeffitsiendi arvutus PHPP tarkvaras

Secondary Calculation Storage Losses	
Specific Heat Losses Storage (total)	2,5 W/K
Typical Temperature DHW	60 °C
Room Temperature	20 °C
Total Storage Heat Losses	100 W

Joonis 4.7. Soojaveeboileri soojakaod, mis on arvesse võetud soojusenergia vähenduskoeffitsiendi arvutustes

Arvutuste kohaselt kahekordistub tarbevee soojendamiseks vajalik soojusenergia hulk elanike arvu kahekordistumisel.

Määruse „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“

Määruse kohaselt arvestatakse sooja tarbevee erikulu vastavalt köetava pinna ruutmeetri kohta. Väikeelamute puhul on arvestatud sooja vee erikuluks 430 l/(m² a) ning netoenergiavajaduseks 25 kW h/(m² a), võtmata arvesse kasuliku soojusenergia vähenduskoeffitsienti. Arusaamatuks jääb määrukses ette nähtud ruutmeetrite arv ühe elaniku kohta. Vabasoojuse arvestuses on elamispinna ruutmeetrite arv ühe elaniku kohta 42,5 m². Kui võtta elanike arvuks neli, siis oleks keskmine sooja vee kulu inimese kohta 53,5 liitrit.

Köetava pinna arvutustes on käesolevas hoones võimalik käsitleda kahte varianti: õhutihe hoonekarp (182 m²) ning kogu hoone (s.h. garaaž 32 m², mis on samuti köetav) 214 m². Arvutused on teostatud mõlemal juhul.

Sooja tarbevee erikulu õhutihe hoonekarp

$$Q_{DHW} = 25 \times 182 = 4550 \text{ kW h/a}$$

Sooja tarbevee erikulu kogu hoone

$$Q_{DHW} = 25 \times 214 = 5350 \text{ kW h/a}$$

4.2. Tegelik kasutusprofiil

Tegelik kasutusprofiil vastab vaadeldava perioodi tegelikele parameetritele. Kasutusprofiili sisendparameetrid on esitatud tabelis (Tabel 4.3.). Kraadpäevade arvutustes kasutatakse EEB andmestikku.

Tabel 4.3. Sisendparameetrid standardkasutuse arvutustes

Sisetemperatuur °C eluruumid	23,5
Sisetemperatuur °C garaaž	
Elanike arv	2
Ventilatsioonisüsteemi kaudu siseneva värske õhu hulk m ³ /h	166
Vabasoojus W/m ²	1,63
Sooja tarbevee hulk inimese kohta päevas l	60
Sisenev külma vee temperatuur/sooja tarbevee temperatuur °C	10/60
Ruumi kõrgus m	2,5
kraadpäevade arv välispiirete enegiakao arvutustes, mil vajatakse täiendavat kütteenergiat: õhutihe hoonekarp	145
kraadpäevade arv välispiirete enegiakao arvutustes, mil vajatakse täiendavat kütteenergiat: Garaaž	103
kraadpäevade arv põranda enegiakao arvutustes, mil vajatakse täiendavat kütteenergiat: õhutihe hoonekarp	109
kraadpäevade arv põranda enegiakao arvutustes, mil vajatakse täiendavat kütteenergiat: garaaž	80
Kütteperioodi pikkus (päeva)	242
Kuud, mis ei kajastu kraadpäevade hulgas, mil ei vajata täiendavat kütteenergiat ning sisetemperatuur tagatakse vabasoojuse ja päikese arvelt	mai, juuni, juuli, august

Soojusenergia allikad

Päikeselt tulev soojusenergia

Kuivõrd hoone ja selle komponentide konfiguratsioon standardkasutuse ja tegeliku kasutusprofiili puhul on sama, siis on ka akende kaudu sisenev soojusenergia hulk tegeliku kasutusprofiili puhul sama, mis standardkasutuse puhul (joonis 4.1.).

Hoone ja tehnosüsteemide kasutamisel tekkiv vabasoojus

Tegeliku kasutusprofiili puhul on arvesse võetud kõiki hoones paiknevaid majapidamisseadmeid ning elanike arvu. Kuivõrd inimeste poolt tekitatav vabasoojus on võrdlemisi suure osatähtsusega, siis on näitlikustamiseks välja toodud vabasoojused kahe elaniku ning planeeritud nelja elaniku puhul. Konstantsete vabasoojuse arvutused kahe elaniku puhul on teostatud PHPP tarkvaras ning on esitatud järgneval joonisel 4.8. Kahe elaniku puhul on vabasoojus 1,82 W/m².

Application	Existing (1/0), or number of people	In the Thermal Envelope (1/0)	Norm Consumption	Utilization Factor	Frequency	Useful Energy (kWh/a)	Included in Electricity Balance?	Availability	Used During Time Period (kh/a)	Internal Heat Source (W)
Dishwashing	1	1	1,2 kWh/Use	1,00	65 //P*a	156 *		0,30 /	8,76 =	5
Clothes Washing	1	1	1,3 kWh/Use	1,00	57 //P*a	148 *		0,30 /	8,76 =	5
Clothes Drying with: Condensation Dryer	1	1	3,5 kWh/Use	0,88	57 //P*a	349 *		0,70 /	8,76 =	28
Energy Consumed by Evaporation	0	1	0,0 kWh/Use	0,60	57 //P*a	0 * (-0) *		0,80 /	8,76 =	0
Refrigerating	0	1	-3,1 kWh/d	1,00	365 d/a	0 *		0,00 /	8,76 =	0
Freezing	0	1	0,8 kWh/d	1,00	365 d/a	0 *		1,00 /	8,76 =	0
or Combination	1	1	0,9 kWh/d	1,00	365 d/a	489 *		1,00 /	8,76 =	56
Cooking	1	1	1,3 kWh/Use	1,00	500 //P*a	200 *		0,50 /	8,76 =	11
Lighting	1	1	35,5 W	1,00	2,9 kh/(P*a)	206 *		1,00 /	8,76 =	24
Consumer Electronics	1	1	120,0 W	1,00	0,55 kh/(P*a)	132 *		1,00 /	8,76 =	15
Household Appliances/Other	1	1	50,0 kWh	1,00	1,0 //P*a	100 *		1,00 /	8,76 =	11
Auxiliary Appliances (cf. Aux Electricity Sheet)										53
Other Applications (cf. Electricity Sheet)	1	0,8				1020 *		1 /	8,76 =	94
Persons	2	1	80,0 W/P	1,00	8,76 kh/a	1402 *		0,55 /	8,76 =	88
Cold Water	2	1	-5,0 W/P	1,00	8,76 kh/a					-10
Evaporation	2	1	-25,0 W/P	1,00	8,76 kh/a	-438 *		1,00 /	8,76 =	-50
Total									W	330
Specific Demand									W/m ²	1,82
Heat Available From Internal Sources						204,5 d/a			kWh/(m ² a)	8,9

Joonis 4.8. Vabasoojuse arvutus PHPP tarkvaras kahe elaniku puhul

Vabasoost mõjutavad kasutatavad elektriseadmed ja valgustus. Hoones paiknevad majapidamisseadmed on A++ või parema energiamärgisega ning pooled valgustid on energiatõhusad. Tegelikult kasutusprofiili puhul on sisestatud hoones olevad elektriseadmed ja nende parameetrid ning summaarselt on välja arvatud aastane elektrienergiakulu (joonis 3.9.), mis on 3555 kW h/a. Elektrienergiakulu arvutused on aluseks 5. peatüki arvutustes.

Application	Used ? (1/0)	Within the Thermal Envelope? (1/0)	Norm Demand	Utilization Factor	Frequency	Reference Quantity	Useful Energy (kWh/a)	Electric Fraction	Non-Electric Fraction	Electricity Demand (kWh/a)
Dishwashing	1	1	1,20 kWh/Use	1,00	65	/(P*a) * 2,0 P	156	100%	0%	156
Clothes Washing	1	1	1,30 kWh/Use	1,00	57	/(P*a) * 2,0 P	148	100%	0%	148
Clothes Drying with	1	1	3,50 kWh/Use	0,88	57	/(P*a) * 2,0 P	349	100%	0%	349
Condensation Dryer				0,60	57	/(P*a) * 2,0 P	0		100%	
Energy Consumed by Evaporation	0	1	3,13 kWh/Use	1,00	365	d/a * 1 HH	0	100%		0
Refrigerating	0	1	0,78 kWh/d	1,00	365	d/a * 1 HH	0	100%		0
Freezing	0	1	0,88 kWh/d	1,00	365	d/a * 1 HH	489	100%		489
or Combined Unit	1	1	1,34 kWh/d	1,00	500	/(P*a) * 2,0 P	200	100%		200
Cooking with:	1	1	0,20 kWh/Use	1,00	2,90	kh/(P*a) * 2,0 P	206	100%	0%	206
Lighting	1	1	36 W	1,00	0,55	kh/(P*a) * 2,0 P	132	100%		132
Consumer Electronic	1	1	120 W	1,00	1,00	/(P*a) * 2,0 P	100	100%		100
Small Appliances, etc	1	1	50 kWh	1,00			755			755
Total Aux. Electricity										
Other:										
Elektrikeris	1	1	600				600			600
Elektriahi 2x	1	1	220				220			220
Välivalgustus	1	0	200				200			200
Total							3555 kWh			3555

Joonis 4.9. Vabasoostuse arvutuste aluseks olev tööleht PHPP tarkvaras, mis kajastab elektriseadmeid ja nende aastast energiatarvet

Summaarne aastane vabasoostus

Summaarne vabasoostus arvutatakse valemiga 19.

Summaarseks aastaseks vabasoostuseks õhutihedal hoonekarbil kahe elaniku puhul on vastavalt joonisel 4.8. esitatud andmetele:

$$Q_I = 1,82 \times \frac{24}{24} \times \frac{7}{7} \times \frac{8760}{1000} \times \frac{242}{365} \times 182 = 1923 \text{ kw h/a}$$

Võrdluseks on välja toodud ka vabasoostuse hulk, kui elanike arv on neli (joonis 4.10.). Nelja elaniku puhul on vabasoostus 2,52 W/m².

Vabasoojuse arvutus vastavalt joonisel 4.10. esitatud andmetele õhutihedal hoonekarbil (182 m²).

$$Q_I = 2,52 \times \frac{24}{24} \times \frac{7}{7} \times \frac{8760}{1000} \times \frac{242}{365} \times 182 = 2664 \text{ kW h/a}$$

Antud võrdlusest on näha, et elanike arv mõjutab olulisel määral vabasoojuse hulka. Antud näite puhul on summaarse vabasoojuse vahe 740 kW h/a, mis mõjutab madala energiatarbega hoone puhul energiabilanssi arvestataval määral. Edasistes arvutustes on $Q_I=1923 \text{ kW h/a}$.

Vaba soojusenergia summa

Päikeseenergia ja sisemise vabasoojuse summa arvutatakse valemiga 21.

Õhutihe hoonekarp

$$Q_F=1923+3944=5867 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

$$Q_F=0+444=444 \text{ kW h/a}$$

Kuna garaažis elutegevust ei toimu ning valgustuse kasutusaste on minimaalne, siis vabasoojuse hulgaks on edaspidistes arvutustes võetud 0 kW h/a.

Application	Existing (1/0), or number of people	In the Thermal Envelope (1/0)	Norm Consumption	Utilization Factor	Frequency	Useful Energy (kWh/a)	Included in Electricity Balance?	Availability	Used During Time Period (kWh)	Internal Heat Source (W)
Dishwashing	1	1	1,2 kWh/Use	1,00	65 // (P*a)	312 *		0,30 /	8,76 =	11
Clothes Washing	1	1	1,3 kWh/Use	1,00	57 // (P*a)	296 *		0,30 /	8,76 =	10
Clothes Drying with: Condensation Dryer	1	1	3,5 kWh/Use	0,88	57 // (P*a)	698 *		0,70 /	8,76 =	56
Energy Consumed by Evaporation	0	1	-3,1 kWh/Use	0,60	57 // (P*a)	0 *(1-0)*		0,80 /	8,76 =	0
Refrigerating	0	1	0,8 kWh/d	1,00	365 d/a	0 *		1,00 /	8,76 =	0
Freezing	0	1	0,9 kWh/d	1,00	365 d/a	0 *		1,00 /	8,76 =	0
or Combination	1	1	1,3 kWh/d	1,00	365 d/a	489 *		1,00 /	8,76 =	56
Cooking	1	1	0,2 kWh/Use	1,00	500 // (P*a)	400 *		0,50 /	8,76 =	23
Lighting	1	1	35,5 W	1,00	2,9 kh/(P*a)	412 *		1,00 /	8,76 =	47
Consumer Electronics	1	1	120,0 W	1,00	0,55 kh/(P*a)	264 *		1,00 /	8,76 =	30
Household Appliances/Other	1	1	50,0 kWh	1,00	1,0 // (P*a)	200 *		1,00 /	8,76 =	23
Auxiliary Appliances (cf. Aux Electricity Sheet)										53
Other Applications (cf. Electricity Sheet)	1	0,8				1020 *		1 /	8,76 =	94
Persons	4	1	80,0 W/P	1,00	8,76 kh/a	2803 *		0,55 /	8,76 =	176
Cold Water	4	1	-5,0 W/P	1,00	8,76 kh/a					-20
Evaporation	4	1	-25,0 W/P	1,00	8,76 kh/a	-876 *		1,00 /	8,76 =	-100
Total									W	458
Specific Demand									W/m ²	2,52
Heat Available From Internal Sources						204,5 d/a			kWh/(m ² a)	12,4

Joonis 4.10. Vabasoajuse arvutus PHPP tarkvaras 4 elaniku puhul

Arvessevõetav vabasoojus

Arvessevõetav vabasoojus arvutatakse valemiga 22. Soojusenergia kasutamiskordnärk η_G on arvutatud PHPP tarkvaras ja selle väärtus on õhutihedal hoonekarbil 92% ning garaažil 94%.

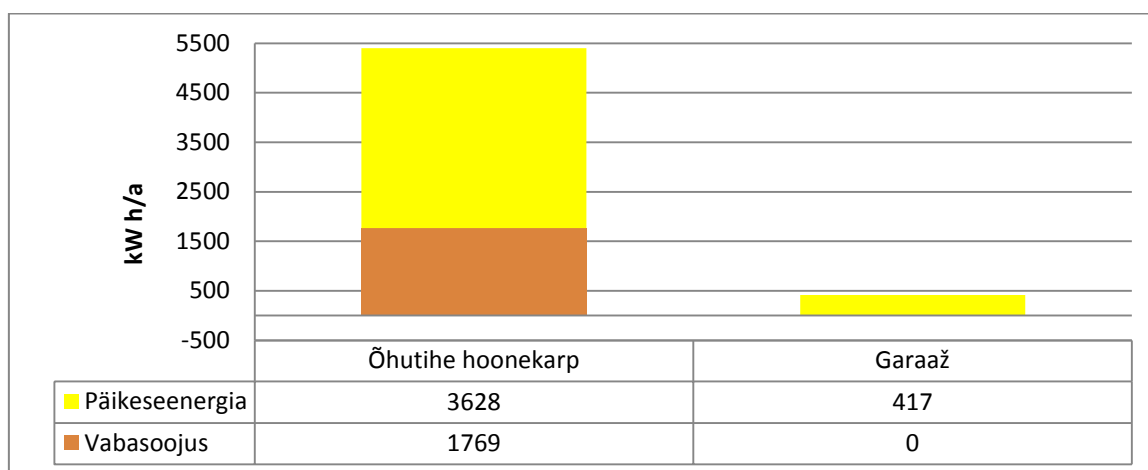
Õhutihe hoonekarp

$$Q_G = 0,92 \times 5867 = 5398 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

$$Q_G = 0,94 \times 444 = 417 \text{ kW h/a}$$

Hooneosade päikeselt saadava ning vabasoojuse energiahulgad on esitatud kokkuvõtval joonisel (Joonis 4.11.).



Joonis 4.11. Hooneosade arvessevõetav päikeselt saadav energia ning vabasoojus

Soojakaod

Ventileerimisest tekkivad soojusenergiakaod

Ventileerimisest tekkiv soojusenergiakadu arvutatakse valemiga 11.

Soojakadu vastavalt tegelikule õhuhulgale

$$Q_v = 2656 + 0 = 2656 \text{ kW h/a}$$

Õhuvahetusest tulenev soojakadu läbi välispiirete arvutatakse valemiga 12.

$$Q_{v1} = 455 \times 0,122 \times 0,33 \times 145 = 2656 \text{ kW h/a}$$

Efektiivne õhuvahetus läbi välispiirde arvutatakse valemiga 14.

$$n_{v,e} = 0,365 \times (1 - 0,90) + 0,084 = 0,122$$

Infiltratsiooni poolt tulenev õhuvahetuse kordsus 0,084

Kuna hoonel on plaatvundament, siis puudub õhuvahetus läbi maapinna. Seega $Q_{ve}=0$.

Võrdluseks on välja toodud soojakadu vastavalt määruses „Energiaõhususe miinimumnõuded“ nõutud õhuhulkadele.

$$Q_v=3135 + 0=3135 \text{ kW h/a}$$

Õhuvahetusest tulenev soojakadu läbi välispiirete

$$Q_{v1} = 455 \times 0,144 \times 0,33 \times 145 = 3135 \text{ kW h/a}$$

Efektiivne õhuvahetus läbi välispiirde

$$n_{v,e} = 0,6 \times (1 - 0,90) + 0,084 = 0,144$$

Piirdetarindite soojusenergiakaod

Piirdetarindite soojusenergiakaod arvutatakse valemiga 10.

Õhutihe hoonekarp

Välisseinad

$$q_{vs1}=165,2 \times 0,094 \times 1 \times 145=2252 \text{ kW h/a}$$

Lagi

$$q_{kl}=221 \times 0,065 \times 1 \times 145=2083 \text{ kW h/a}$$

Põrand

$$q_{pl}=220,8 \times 0,117 \times 1 \times 109=2816 \text{ kW h/a}$$

Õhutiheda hoonekarbi avatäited

Põhi

$$q_{a1põ}=10,93 \times 0,69 \times 1 \times 145=1094 \text{ kW h/a}$$

Ida

$$q_{a1i}=6,66 \times 0,73 \times 1 \times 145=705 \text{ kW h/a}$$

Lõuna

$$q_{a1lõ}=19,69 \times 0,69 \times 1 \times 145=1970 \text{ kW h/a}$$

Lääs

$$q_{a1lä}=7,81 \times 0,72 \times 1 \times 145=815 \text{ kW h/a}$$

Soojakadu läbi ukse tuulekotta

$$q_{vupõ}=2,2 \times 1,34 \times 1 \times 145=427 \text{ kW h/a}$$

Summaarne soojakadu läbi avatäidete

$$Q_{a1}=q_{a1põ}+q_{a1i}+q_{a1lõ}+q_{a1lâ}+q_{vupõ}=1094+705+1970+815+427=5011 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

Välisseinad

$$q_{vs2}=54,5 \times 0,171 \times 1 \times 103=960 \text{ kW h/a}$$

Katus

$$q_{k2}=41,3 \times 0,107 \times 1 \times 103=455 \text{ kW h/a}$$

Põrand

$$q_{p2}=41,3 \times 0,119 \times 1 \times 80=393 \text{ kW h/a}$$

Garaaži avatäited

Aknad lääts

$$q_{a2lâ}=3,6 \times 0,77 \times 1 \times 103=286 \text{ kW h/a}$$

Garaažiuks

$$q_{gupõ}=7,2 \times 1,2 \times 1 \times 103=890 \text{ kW h/a}$$

Maja välisuks

$$q_{vulâ}=2,3 \times 0,86 \times 1 \times 103=204 \text{ kW h/a}$$

Külmasildade mõju

Külmasildade mõju arvutatakse valemiga 8.

PHPP tarkvara teostab külmasildade keskmise väärtuse arvutused automaatselt vastavalt joonistel 3.11. ja 3.12. esitatud väärtustele.

Külmasildade mõju õhutihedal hoonekarbil

$$q_{vsk}=152,2 \times (-0,041) \times 1 \times 145= -905 \text{ kW h/a}$$

Külmasildade mõju garaažil

$$q_{vsk}=24,7 \times 0,033 \times 1 \times 103=84 \text{ kW h/a}$$

Summaarne soojusenergiakadu

Energiakadude summa läbi piirdetarindite leitakse valemiga 18.

Energiakadude summa õhutihe hoonekarp

$$Q_{L1} = Q_{v1} + q_{vs1} + q_{k1} + q_{p1} + Q_{a1} + q_{vupõ} + q_{vsk} =$$

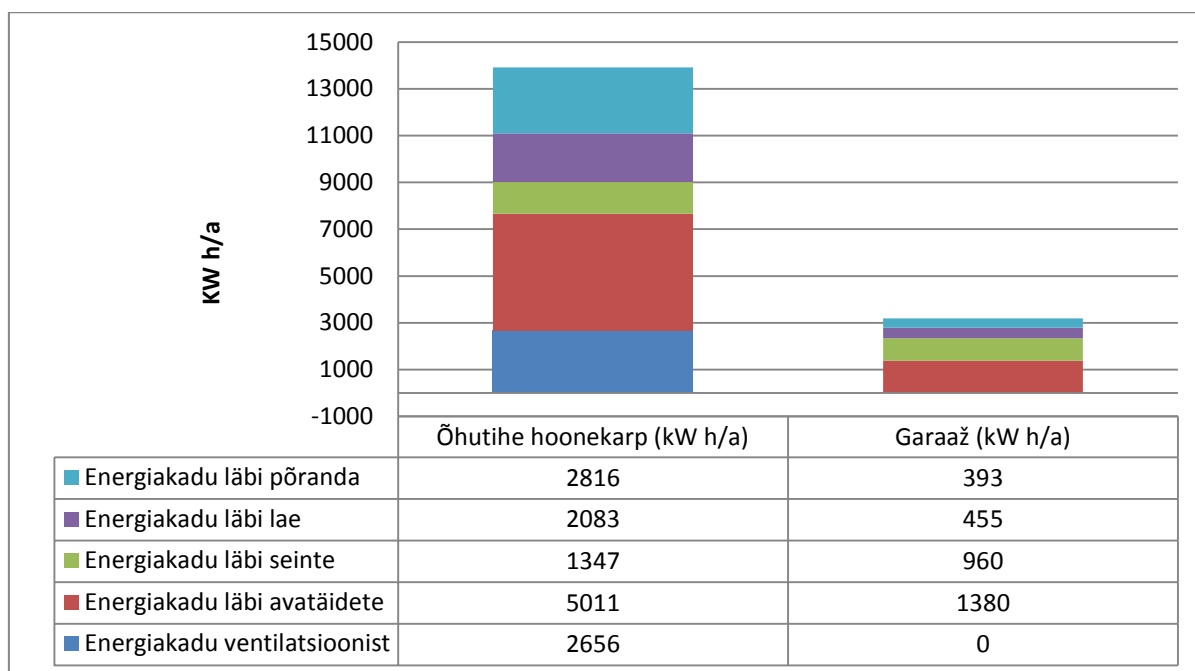
$$= 2656 + 2252 + 2083 + 2816 + 5011 - 905 = 13913 \text{ kW h/a}$$

Energiakadude summa garaaž

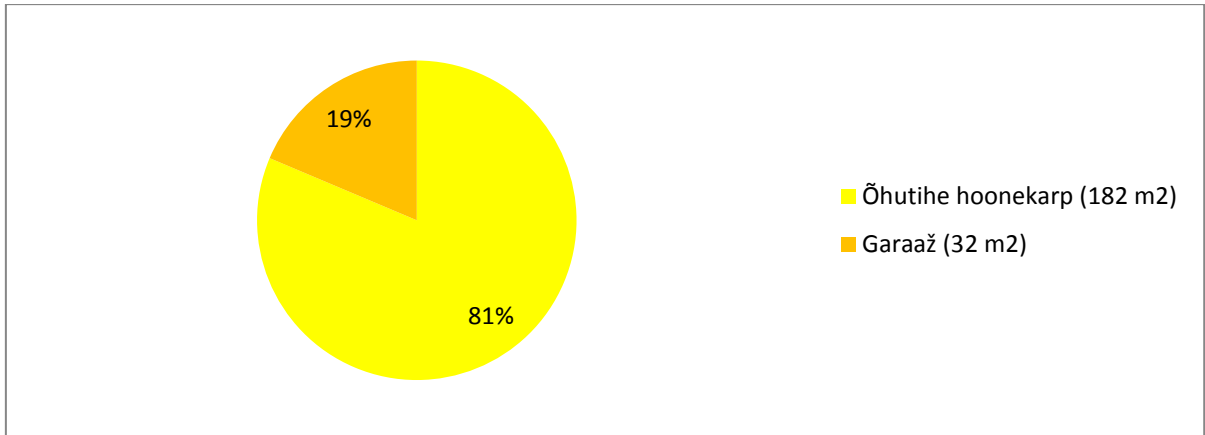
$$Q_{L2} = (Q_{v2} + q_{vs2} + q_{k2} + q_{p2} + q_{a2l} + q_{gupõ} + q_{vulä} + q_{vsk}) \times 1 =$$

$$= (0 + 960 + 455 + 393 + 286 + 890 + 204 + 84) \times 1 = 3272 \text{ kW h/a}$$

Hoone energiakaod on esitatud joonisel 4.12. Protsentuaalne jaotus õhutiheda hoonekarbi ja garaaži vahel (Joonis 4.13.), esitatud info kohaselt kulub garaaži kütteks, mis moodustab 15% kütavast pinnast, 19% energiakulust. Võrreldes standardkasutusega (Joonis 4.4.), kus garaaži osa moodustas kogu kütteenergiavajadusest 26%, on garaaži kütteenergiavajaduse osakaal vähenenud 7%. Peamiseks mõjutajaks on kõrgem sisetemperatuur õhutihedal hoonekarbil.



Joonis 4.12. Hoone energiakaod, kus joonkülmasildade mõju on arvesse võetud välisseina energiakao mahus



Joonis 4.13. Energiakadude osakaalud hooneosade lõikes tegeliku kasutusprofiili korral

Aastane neto soojusenergiavajadus

Vajatav energiahulk arvutatakse valemiga 23. Hoone vabasoojuse energiahulka ning neto kütteenergiavajaduse graafik on esitatud joonisel 4.14.

Õhutihe hoonekarp

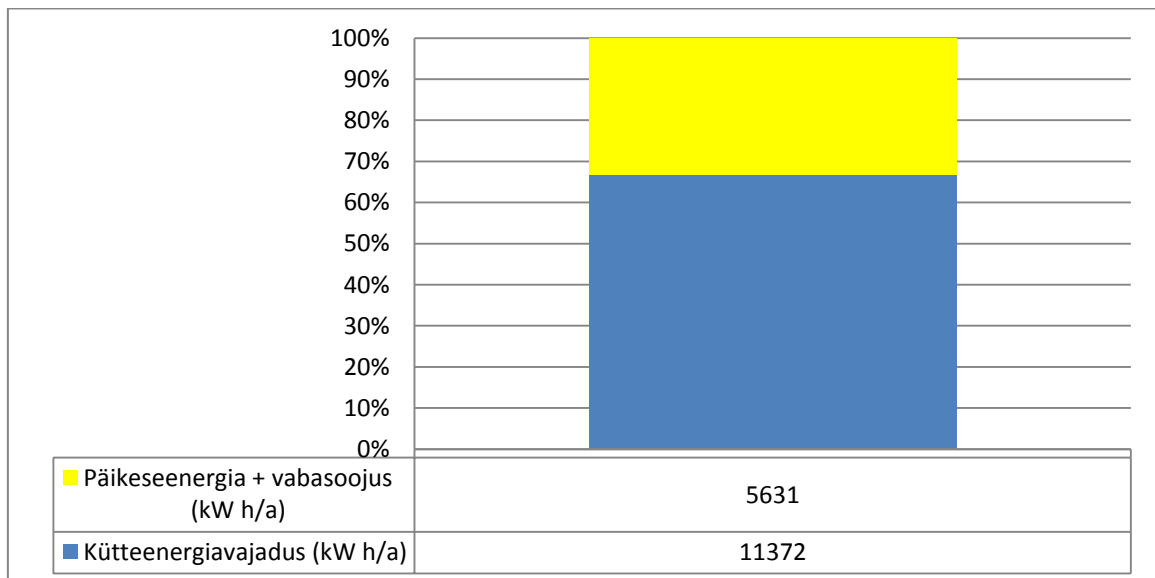
$$Q_{H1} = Q_{L1} - Q_G = 13913 - 5398 = 8515 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

$$Q_{H2} = Q_{L1} - Q_G = 3188 - 417 = 2855 \text{ kW h/a}$$

Kogu hoone neto kütteenergiavajadus

$$Q_H = 8515 + 2855 = 11370 \text{ kW h/a}$$



Joonis 4.14. Hoone soojusenergiabilanss

Arvutusliku ja mõõdetud netoenergiakulu võrdluses kasutatakse tegeliku kasutusprofiili arvutuslikku netoenergiakulu mis on 11 372 kW h/a.

Tarbevee soojendamiseks kuluv energia

Sooja tarbevee mõõdetud keskmine kogus elaniku kohta on 60 l ööpäevas. See on väiksem kui majandusministeeriumi (Soojusvarustuse kulude arvestamise ja jaotamise meetoodika. 1997) poolt elamutele kehtestatud norm [85 l/(in ööp)], ent antud soovitused on aastast 1997 ja põhinevad Nõukogude Liidu aegsetel kulunormidel, mil veesäästlikud segistid ja duššid ei olnud levinud (Kõiv, Toode, 2001). Kõiv ja Toode on oma uuringus leidnud, et sooja vee kulu kortermajades jääb vahemikku 60-70 l inimese kohta ööpäevas ning Rusmanova ja Ingermann on oma 2003. aasta Tallinna piirkonna sooja vee tarbimise uuringus leidnud, et tarbimishulk on veelgi väiksem, jäädes ca 50 l/(in ööp) (Rusmanova ja Ingermann. 2003).

Kuna kogu veekulu on vaadeldavas hoones on keskmiselt 150 l/in ööp, siis on suurem sooja vee kulu võrreldes eeltoodud keskmistega põhjendatav. Arvutused on teostatud 2 ja 4 elaniku kohta.

Vajalik energiahulk vee soojendamiseks aastas arvutatakse valemiga 24.

Tegelik kasutusprofiil 2 inimest, PHPP meetoodika

$$Q_{\text{DHV}} = \frac{2 \times 60 \times 50 \times 4200 \times 365}{3600 \times 1000 \times 0,893} = 2861 \text{ kW h/a}$$

η – kasuliku soojusenergia vähenduskoefitsient on arvatud PHPP tarkvaras (Joonis 4.15.) ning selle väärtus on 0,893. Soojusenergia vähenduskoefitsiendi arvutustes kasutatakse sisendina soojaveeboileri soojakadusid (Joonis 4.16.).

Tegelik kasutusprofiil 4 inimest, PHPP meetoodika

$$Q_{\text{DHV}} = \frac{4 \times 60 \times 50 \times 4200 \times 365}{3600 \times 1000 \times 0,893} = 5722 \text{ kW h/a}$$

Average Heat Released From Storage	P_S		91,0	W
Possible Utilization Factor of Released Heat	$\eta_{e,S}$	$= t_{max,S} / (8760 \cdot \eta_G)$	55,3%	
Annual Heat Losses from Storage	Q_S	$= P_S \cdot 8.760 \text{ kh} \cdot (1 - \eta_{e,S})$	356,6	
				357 kWh/a
				Total 1,2,3
Total Heat Losses of the DHW System	Q_{WL}	$= Q_2 + Q_U + Q_S$		357 kWh/a
Specif. Losses of the DHW System	q_{WL}	$= Q_{WL} / A_{TFA}$		kWh/(m ² a)
Utilisation Factor DHW Distrib and Storage	$\eta_{s,WL}$	$= Q_{DHW} / (Q_{DHW} + Q_{WL})$		89,3%
Total Heat Demand of DHW system	Q_{DHW}	$= Q_{DHW} + Q_{WL}$		3320 kWh/a
Total Spec. Heat Demand of DHW System	q_{DHW}	$= Q_{DHW} / A_{TFA}$		kWh/(m ² a)

Joonis 4.15. Kasuliku soojusenergia vähenduskoefitsiendi arvutus PHPP tarkvaras.

Secondary Calculation Storage Losses	
Specific Heat Losses Storage (total)	2,5 W/K
Typical Temperature DHW	60 °C
Room Temperature	24 °C
Total Storage Heat Losses	91 W

Joonis 4.16. Soojaveeboileri soojakaod PHPP tarkvaras, mis on arvesse võetud kasuliku soojusenergia vähenduskoefitsiendi määramisel.

Arvutusliku ja mõõdetud netoenergiakulu võrdluses (peatükk 5) kasutatakse tegeliku kasutusprofiili (kaks elanikku) arvutuslikku netoenergiakulu mis on 2861 kW h/a.

4.3. Standardkasutuse ja tegeliku kasutusprofiili võrdlus

Käesolevas alapeatükis tulevad võrdluse alla järgmised näitajad:

- Hoone kasutamisel tekkiv vabasoojus vastavalt määrusele „Energiaõhususe miinimumnõuded“, PHPP meetodi standardkasutuse vabasoojus, tegeliku kasutusprofiili vabasoojus kahe ja nelja elaniku puhul.
- Pääkeseenergiast saadav soojus.
- Soojakaod hoone ventileerimisel vastavalt määrusele „Energiaõhususe miinimumnõuded“ ning PHPP meetodikale standardkasutuse ja tegeliku kasutusprofiili korral.
- Soojakaod läbi piirdetarindite standardkasutuse ja tegeliku kasutusprofiili korral.
- Summaarne soojusenergiavajadus kütteks standardkasutuse ja tegeliku kasutusprofiili korral vastavalt PHPP meetodi ja määruse „Energiaõhususe miinimumnõuded“ nõuetele.

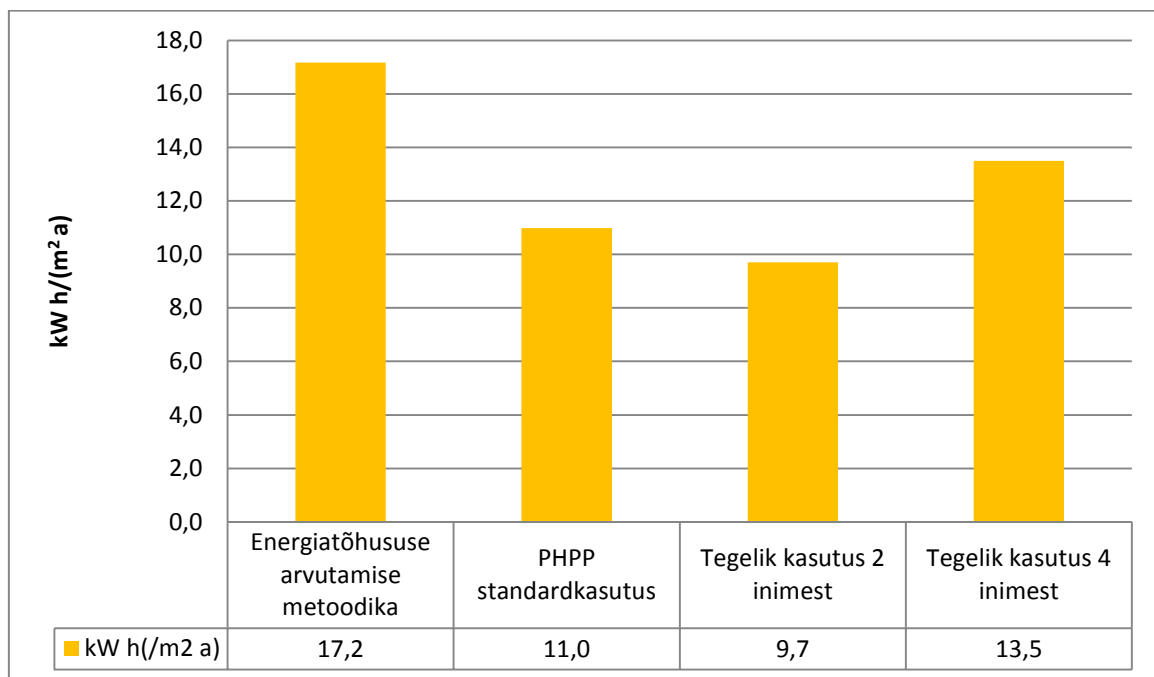
- Soojusenergiabilansside võrdlus.
- Energiahulk tarbevee soojendamiseks määruse „Energiatõhususe miinimumnõuded“, standardkasutuse ning tegeliku kasutusprofiili puhul.

Kõik võrdlused on taandatud ühikule kW h/(m² a) ning andmed pärinevad peatükkidest 4.1. ja 4.2.

Soojusenergia allikad

Vabasoojused

Vabasoojuste võrdlus on teostatud üksnes õhutiheda hoonekarbi ruutmeetritele (182 m²), kus toimub elutegevus ja paiknevad soojustootvad seadmed. Määruse „Energiatõhususe arvutamise meetodika“ kohaselt arvutatakse vabasoojused hoone köetava pinna ruutmeetri kohta. Vabasoojuste taandamine kogu hoone ruutmeetritele teostatakse käesoleva alapeatüki lõpus.



Joonis 4.17. Vabasoojuste võrdlus

Tegeliku kasutusprofiili puhul, kus planeeritud elanike arv on neli, on vabasoojus ühe ruutmeetri kohta aastas 3,6 kW h enam kui PHPP meetodika standardkasutuse puhul, ent vähese energiatarbega hoonete puhul on vabasoojuste arvestuses konservatiivsus pigem kasulik ning ei ole ohtu, et detailsete energiakadude arvutuste puhul on tegelik vabasoojus väiksem kui arvutuslik. Samuti on see oluline ka olukorras, kus hoone on ehitatud

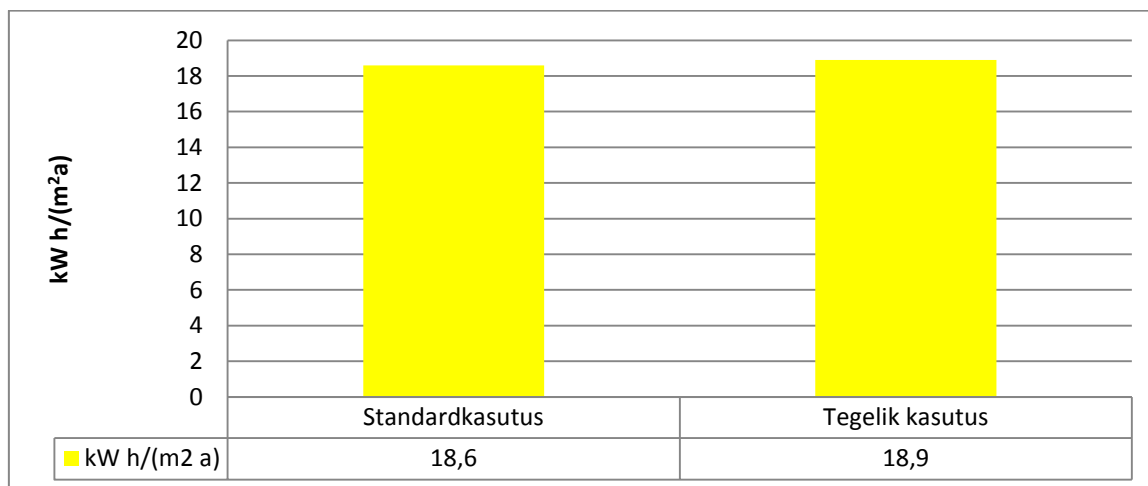
perspektiiviga ning tegelik elanike arv on mingil hetkel planeeritud väiksem. Võrreldes tegelikku kasutusprofiili kahe inimese puhul ja PHPP standardkasutust, on standardkasutuse puhul vabasoojuse hulk vähesel määral ülehinnatud.

Eeldusel, et keskmine ruutmeetrite arv elaniku kohta on $42,5 \text{ m}^2$ (määrus „Energiaõhususe arvutamise meetoodika“), võib joonisel 4.17. esitatud andmetest järeldada, et PHPP meetoodika kohane vabasoojus ühe ruutmeetri kohta ($2,1 \text{ W/m}^2$) standardkasutusel on arvutuste aluseks võtmiseks sobiv. PHPP meetoodika kohaselt on keskmine ruutmeetrite arv elaniku kohta $20\text{-}50 \text{ m}^2$.

Määruses „Energiaõhususe arvutamise meetoodika“ soovitatud maksimaalsed väärtused on käesoleva hooneosa puhul selgelt ülehinnatud. Kuivõrd energiamärgise arvutusi teostatakse vastavalt planeeritud elanike arvule, siis võrrelduna tegeliku kasutusprofiiliga mil hoones elaks neli inimest, on vabasoojuse hulk määruse „Energiaõhususe arvutamise meetoodika“ ühe ruutmeetri kohta aastas $2,6 \text{ kW h}$ võrra suurem, mis mõjutab energiabilanssi 473 kW h võrra aastas. Madala energiatarbega hoone puhul on see märkimisväärne erinevus ning mõjutab vaadeldava hoone standardkasutuse puhul kütteenergiavajadust enam kui 5% suurema kütteenergia vajaduse suunas. Sellest tulenevalt on oluline võtta arvesse tegelikke hoone vabasoojusi, et oleks tagatud energiaarvutuste adekvaatsus.

Läbi akende sisenev päikese soojusenergia

Läbi akende sisenev päikese soojusenergia hulk standard-ja tegeliku kasutusprofiili puhul erineb minimaalselt üksnes soojusenergia ärakasutamise faktori erinevuse võrra. Erinevused on kajastatud joonisel 4.18. ning taandatud kogu hoone ruutmeetritele (214 m^2).



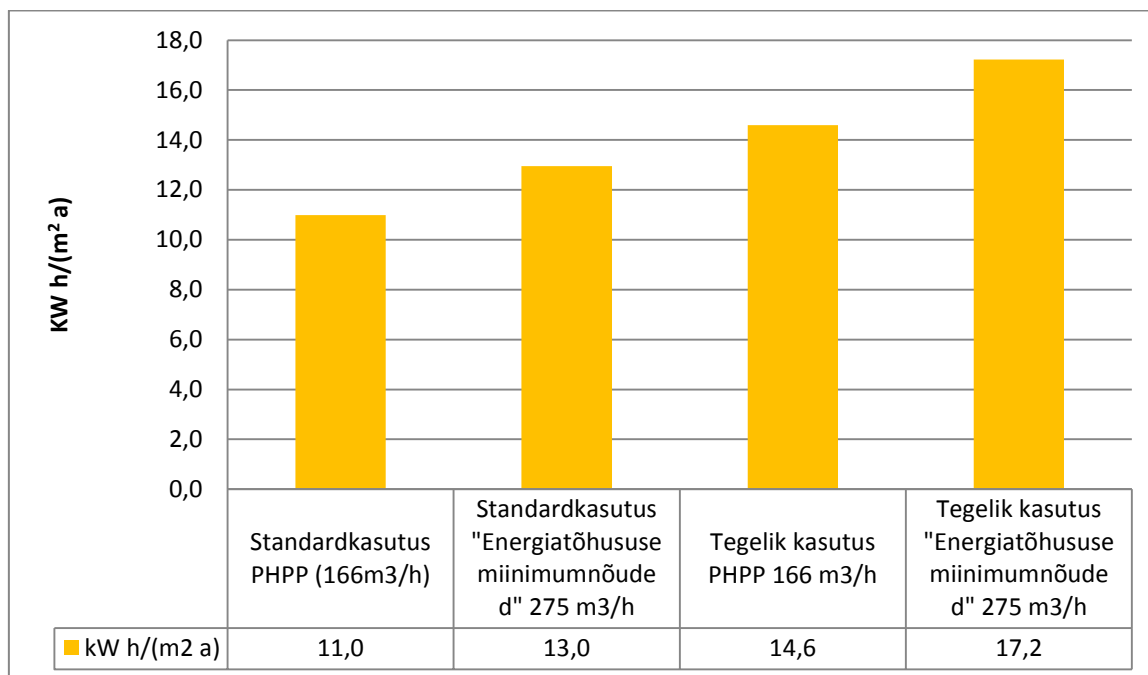
Joonis 4.18. Päikeseenergiast saadava soojusenergia võrdlus

Võrreldes kütteenergia kasvuga, on päikesest saadav täiendav soojusenergia hulk sisekliima tagamiseks marginaalne.

Soojakaod

Soojakaod ventileerimisest

Ventileerimisest tekkivad energiakaod on toodud joonisel 4.19. ning taandatud õhutiheda hooneosa ruutmeetrile (182 m^2).



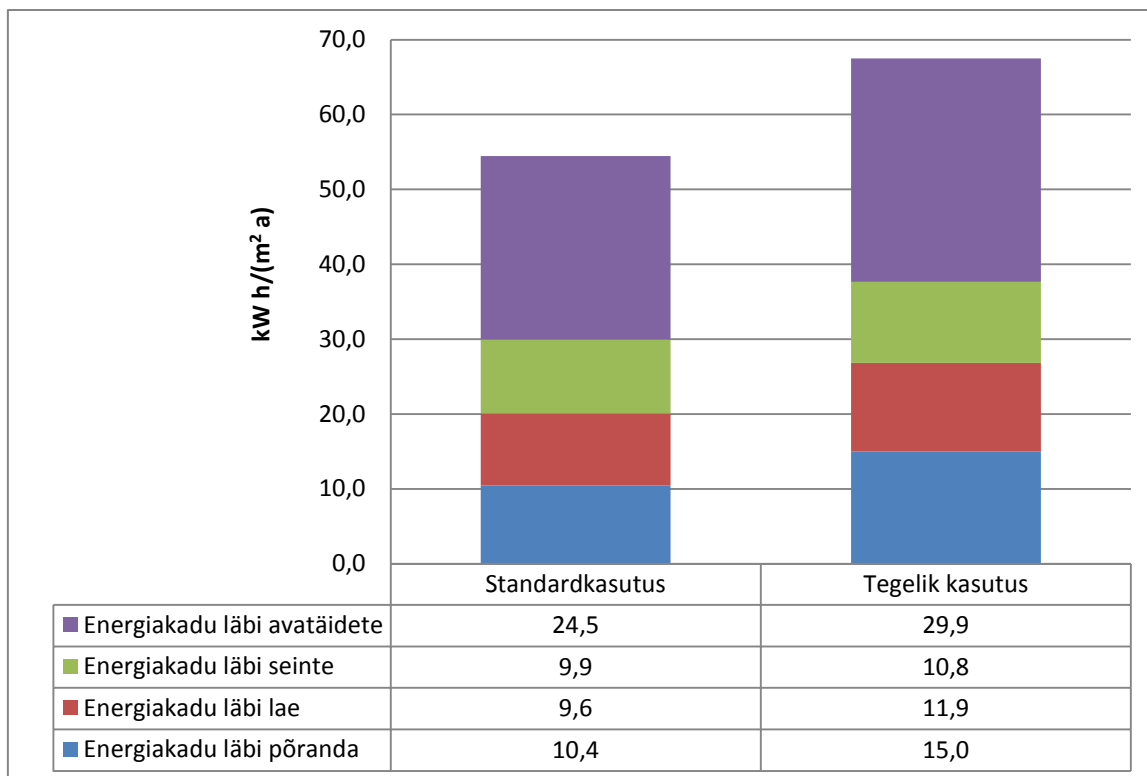
Joonis 4.19. Ventileerimisest tekkivad energiakaod

Kajastatud andmetest nähtub (Joonis 4.19.), et standardkasutuse puhul on määruses „Energiaõhususe miinimumnõuded“ nõutud õhuhulga puhul energiakulu $2 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$ suurem kui vastava kasutuse PHPP meetodi alusel arvatud energiakulu. Sisetemperatuuri tõus $3,5 \text{ }^\circ\text{C}$ võrra suurendab energiakulu $166 \text{ m}^3/\text{h}$ õhuhulga puhul $3,6 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ning õhuhulga $275 \text{ m}^3 \text{ h}$ puhul $4,2 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$.

Vaadeldava hoone puhul on sisekliimanõuded tagatud ka õhuhulga $166 \text{ m}^3/\text{h}$ puhul, mistõttu õhuhulkade suurendamine määruse tasemele suurendaks põhjendamatult energiakulu ning viiks talveperioodil liigse õhukuivuse tekkeni.

Soojakaod läbi piirdetarindite

Soojakaod läbi piirdetarindite nii standardkasutuse kui ka tegeliku kasutusprofiili puhul on kajastatud joonisel 4.20. Soojakaod on kajastatud summaarselt õhutiheda hoonekarbi ning garaaži osas (kogupindala 214 m²).

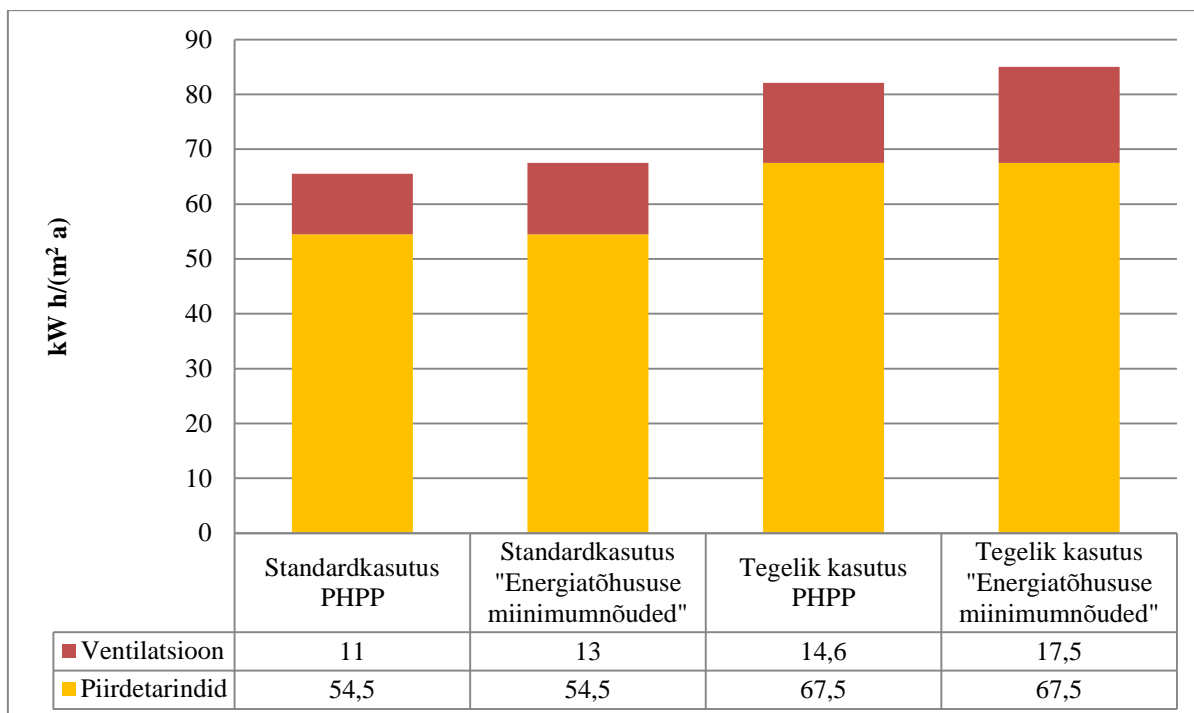


Joonis 4.20. Soojusenergiakaod läbi piirdetarindite

Standardkasutuse puhul on soojakaod läbi piirdetarindite 54,5 kW h/(m² a) ning tegeliku kasutusprofiili puhul 67,5 kW h/(m² a). Protsentuaalselt on soojakadude suurenemine 23,9%. Seega on juba hoone projekteerimise faasis oluline arvestada kasutajate tegelike sisetemperatuurieelistustega, sest sisetemperatuuri tõus suurendab oluliselt soojakadusid ning mõjutab seeläbi hoone energiabilanssi.

Summaarsed soojusenergiakaod

Joonisel 4.21. on kajastatud summaarsed soojusenergiakaod vastavalt PHPP ja määruse „Energiatõhususe miinimumnõuded“ metoodikale ning taandatud kogu hoone ruutmetritele (214 m²).



Joonis 4.21. Summaarsed soojusenergiakaod erinevate profiilide puhul

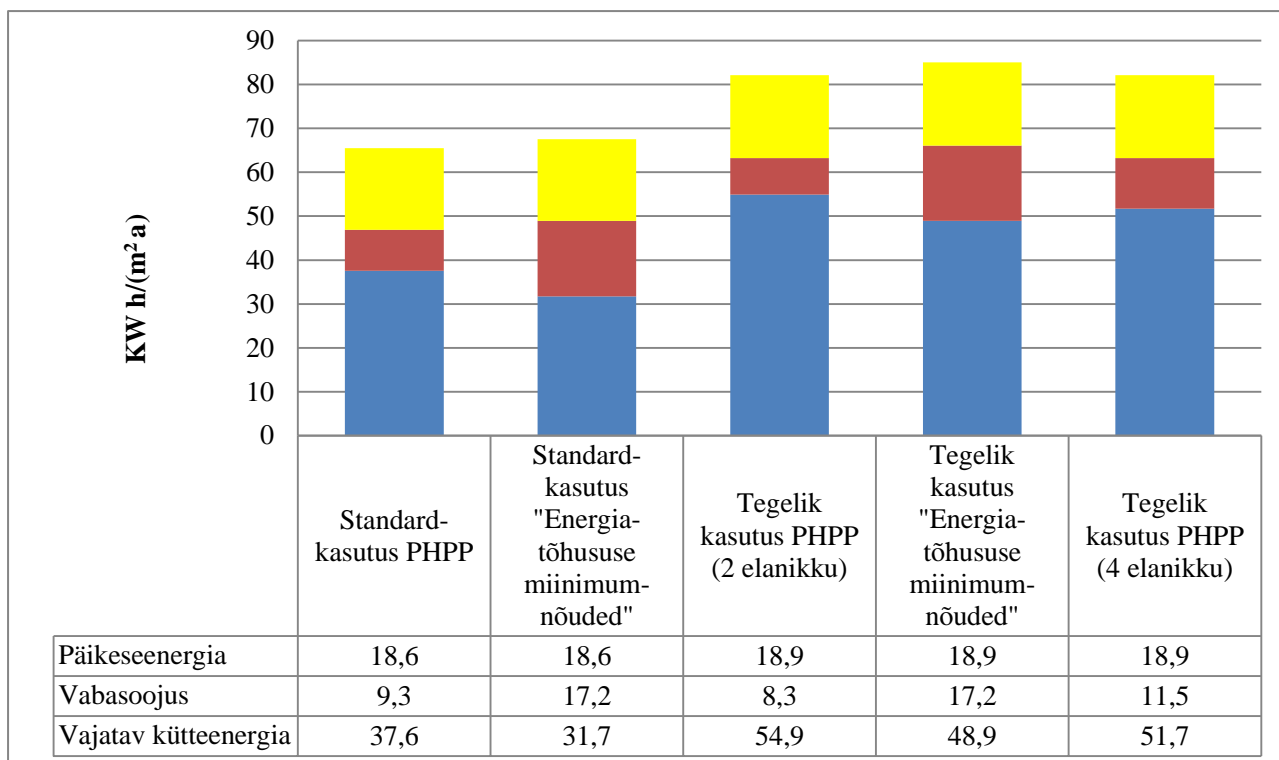
PHPP meetodika kohase standardkasutuse puhul on soojusenergiakadu $65,5 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$, vastavalt määruse nõuetele on kadu $67,5 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$, mis teeb protsentuaalseks erinevuseks vaadeldaval hoonel 3% (joonis 4.21.).

Tegeliku kasutuse puhul on soojusenergiakaod vaadeldaval hoonel PHPP meetodika puhul $82 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ning määruse meetodika puhul $85 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$. Soojakadude erinevuseks on seejuures 3,7%.

Siinjuures on oluline märkida, et arvutused on teostatud kogu hoonel, mistõttu vähendab mitteventileeritav garaaži osa ventilatsiooni mõju energiabilansis.

Soojusenergiabilansside võrdlus

Joonisel 4.22. on esitatud soojusenergiabilansside võrdluses viis erinevat stsenaariumit. Võrreldud on kahte standardkasutuse stsenaariumit: PHPP meetodika ning määruse „Energiaühuse miinimumnõuded“ meetodika. Tegelik kasutusprofiili osas on kolm stsenaariumit: PHPP meetodika kahe ja nelja elaniku puhul ning määruse „Energiaühuse miinimumnõuded“. Energiabilansi ruutmeetrite arv arvutustes on 214 m^2 ning ka vabasoojus on taandatud antud ruutmeetritele. PHPP meetodika puhul on vabasoojuste arvutamisel võetud arvesse vastava stsenaariumi soojusenergia ärakasutamiskord.



Joonis 4.22. Soojusenergiabilansid erinevate stsenaariumite korral

Standardkasutusel on selge erinevus inimeste ja seadmete poolt tekitatava vabasoojuse mõju arvestuses. Vabasoojuse hulk vastavalt määruses „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ kirjeldatule on 7,9 kW h/(m² a) võrra suurem kui PHPP meetodika seda ette näeb. Kuivõrd soojakaod ventileerimisest on antud juhul määruse meetodika puhul 2 kW h/(m² a) võrra suuremad, siis vähendab suurem vabasoojuse hulk määruses arvutuslikku vajatavat kütteenergia hulka 11% aastas võrreldes PHPP meetodika arvutustega.

Inimeste ja seadmete poolt tekitatava vabasoojuse mõju tegeliku kasutusprofiili puhul, mil elanike arv on neli, ei ole nii suur kui standardkasutuse puhul, sest kõrgem sisetemperatuur suurendab soojakadusid läbi ventilatsioonisüsteemi. Kütteenergiavajadus vastavalt määruse „Energia-tõhususe miinimumnõuded“ meetodikale on võrreldes PHPP meetodika arvutustega 2,8 kW h/(m² a) suurem. Oma mõju avaldab ka PHPP meetodika põhjal arvutatud vabasoojus, mis on 2,3 kW h/(m² a) võrra suurem kui PHPP meetodika standardkasutuse puhul.

Vaadeldava perioodi tegeliku kasutusprofiili puhul, mil hoones elas kaks inimest, on vabasoojuse hulk väiksem [8,3 kW h/(m² a)], mistõttu on arvutuslik kütteenergiavajadus vaadeldavatest kasutusprofiilidest suurim [54,9 kW h/(m² a)].

Vabasoojuse hulk määruse „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ puhul on märgatavalt suurem kui PHPP meetodika puhul (vabasoojus PHPP meetodi ja nelja elanikuga arvutustes on 5,7 kW h/m² a võrra väiksem) ning tekitab olukorra, kus arvutuslik vabasoojus võib olla oluliselt ülehinnatud võrreldes tegelike seadmete ja inimeste poolt tekitatud vabasoojustega (seda eriti kõrge efektiivsusega seadmete ja valgustite puhul). Sõltuvalt hoone soojakadudest võib see neto kütteenergia hulka vähendada 10-30% (käesoleva hoone näitel 11%) ning seeläbi kaasa tuua kütteenergia vajaduse alahindamise ning ebatäpse primaarenergiavajaduse hindamise.

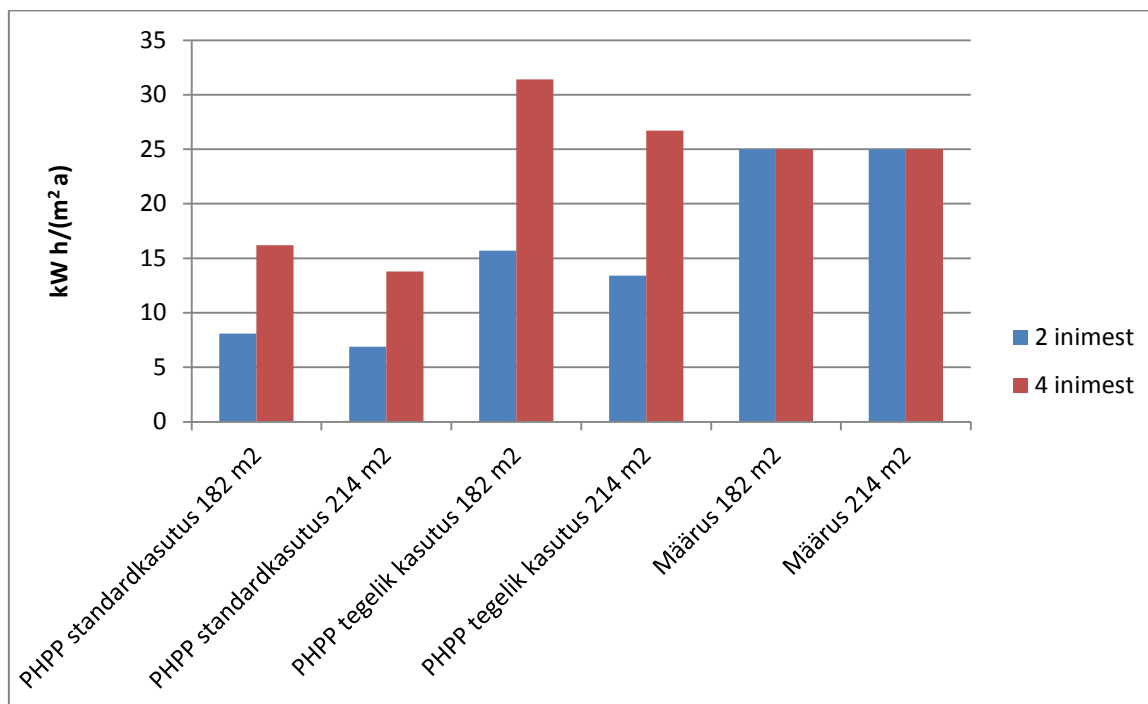
Tarbevee soojendamiseks kuluva energia võrdlus

Käesolevas alapeatükis võrreldakse sooja tarbevee soojendamiseks kuluvat netoenergiavajadus kahel juhul, sest määrus „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ kirjeldab sooja tarbevee erikulu köetava pinna ruutmeetri kohta. Käesolevas töös on lisaks eluruumidele köetavaks ruumiks ka hoone garaažiosa, mistõttu on selguse huvides välja toodud netoenergiavajadused tarbe vee soojendamiseks õhutiheda hoonekarbi puhul (182 m²) kui kogu hoone puhul (214 m²). Informatiivse osana on kajastatud ka sooja vee erikulu liitrites inimese kohta ööpäevas (Tabel 4.4.).

Tabel 4.4. Tarbe vee soojendamiseks kuluv netoenergiavajadus ning sooja vee erikulu

		PHPP standardkasutus		PHPP tegelik kasutus		Määrus „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“	
		Netoenergia vajadus kWh/(m ² a)	Sooja vee erikulu l/(in p)	Netoenergia vajadus kWh/(m ² a)	Sooja vee erikulu l/(in p)	Netoenergia vajadus kWh/(m ² a)	Sooja vee erikulu l/(in p)
182 m ²	Kaks inimest	8,1	25	15,7	60	25	104
	neli inimest	16,2	25	31,4	60	25	52
214 m ²	Kaks inimest	6,9	25	13,4	60	25	104
	Neli inimest	13,8	25	26,7	60	25	52

Joonisel 4.23. on esitatud netoenergiavajadus sooja tarbevee soojendamiseks kahe erineva hoonepinna osas PHPP standardkasutuse ja PHPP tegeliku kasutuse ning määruse „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ puhul. Andmete aluseks on tabel 3.4.



Joonis 4.23. Netoenergiavajadus sooja tarbevee soojendamiseks vastavalt tabeli 4.4. andmetele

PHPP meetodika puhul suureneb netoenergiavajadus ruutmeetrile aastas elanike arvu muutudes (Joonis 4.23.). Määruse „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ puhul jääb elanike arvu muutudes netoenergiavajadus tarbevee soojendamiseks ruutmeetri kohta aastas muutumatuks. Hoone pinna suurenedes väheneb PHPP meetodika puhul netoenergiavajadus ruutmeetri kohta aastas, ent määruses jääb see samaks. Hoone pinna suurenedes suureneb määruse meetodika puhul aga netoenergiavajadus sooja tarbevee soojendamiseks aasta lõikes 25 kW h iga lisanduva ruutmeetri kohta.

Antud arvutuste puhul on keeruline võrrelda sooja tarbevee soojendamiseks kuluvat energiahulka kuna ei ole teada, mis alustel on määruses sooja vee erikulu inimese kohta arvestatud. Juhul kui lähtuda eeldusest, et elaniku kohta on elamispinna suurus 42,5 m² siis on sooja tarbevee soojendamise netoenergia ruutmeetri kohta aastas võrreldav PHPP meetodika tegeliku netoenergiavajadusega. Arvutusliku ja mõõdetud netoenergiakulu võrdluses kasutatakse tegeliku kasutusprofiili (kaks elanikku) arvutuslikku netoenergiakulu sooja tarbevee tootmiseks.

5. MÕÕDETUD ENERGIAKULU VÕRDLUKASUTUSPROFIILI ARVUTUSTEGA NING KASUTAJATE HINNANG

5.1. Mõõdetud netoenergiakulu

Hoone summaarne energiakasutus on esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 5.1.). Maasoojuspumba elektrienergiatarve on arvatud valemiga 25 ning sisaldab elektrienergiakulu nii sooja tarbevee tootmiseks kui ka kütteks. Hoone kütmiseks kuluva elektrienergia leidmiseks tuleb esmalt arvutada sooja tarbevee tootmiseks kulunud elektrienergia hulk ning lahutada see maasoojuspumba poolt tarbitud elektrienergia hulgast. Tsirkulatsioonipumba tarve on arvatud eeldusel, et elektrienergiatarve tunnis on 30 W.

Tabel 5.1. Mõõdetud neto elektrienergiatarve kW h

	Kuu	Tehnoseadmete kogutarve	Maasoojuspumba tarve	Tsirkulatsioonipumba tarve	Ventilatsiooniseadme tarve	Ventilatsiooniohu eelküte	Seadmed ja valgustus
	1	2	3	4	5	6	7
2013	aprill	295	250	22	23	0	248
	mai	102	56	22	24	0	184
	juuni	81	57	0	24	0	271
	juuli	73	50	0	23	0	228
	august	68	45	0	23	0	183
	september	103	58	22	23	0	235
	oktoober	281	237	22	22	0	275
	november	365	320	22	23	0	324
	detsember	490	444	22	24	0	442
2014	jaanuar	790	529	22	24	215	332
	veebruar	488	429	20	23	16	388
	märts	373	305	22	25	21	260
	aprill	250	201	22	26	1	260
	KOKKU	3759	2981	218	307	253	3630

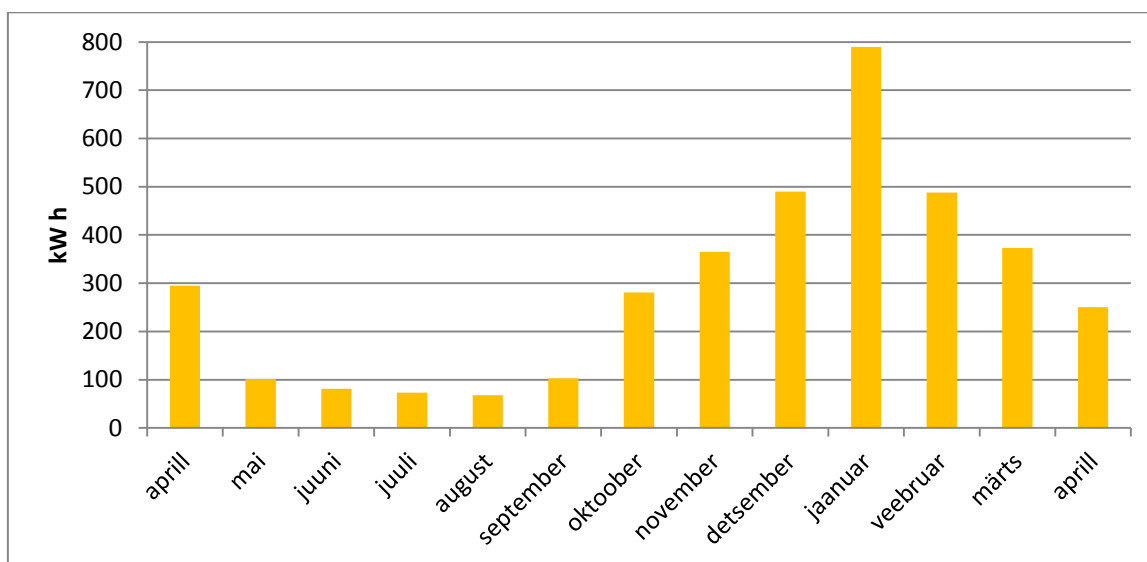
Tehnoseadmete kogutarve vaadeldaval perioodil on esitatud diagrammil (Joonis 5.1.). Diagrammil esitatud info kohaselt on kütteperioodi välisel ajal (mai-september)

tehnoseadmete kogutarve vahemikus 68-103 kW h kuus. Maksimaalne tehnoeadmete poolt tarbitav elektrienergiahulk oli 2014. aasta jaanuaris, mil kogutarve oli 790 kW h. Tegemist oli vaadeldava perioodi kõige külmema kuuga.

Ventilatsiooniseadme tarve igal kuul on keskmiselt 23,5 kW h. Ventilatsiooniõhu eelkütteagregaat rakendati tööle alles 2014. aasta jaanuaris, mil välistemperatuur oli madal. Jaanuaris 2014 oli ventilatsiooniõhu eelkütteagregaaadi panus tehnoeadmete poolt tarbitud energiasse vaadeldaval perioodil suurim - 215 kW h.

Maasoojuspumba poolt tarbitud energiatarve vaadeldaval perioodil on olnud korrelatsioonis väliskliimaga, saavutades maksimumi jaanuaris. Seadmete tarbest valdava osa moodustab kütteperioodi välisel ajal maasoojuspumba elektrienergiatarve tarbe vee tootmiseks ning jääb vahemikku 46-58 kW h kuus. Kütteperioodil jäi energiatarve kuus vahemikku 250-529 kW h.

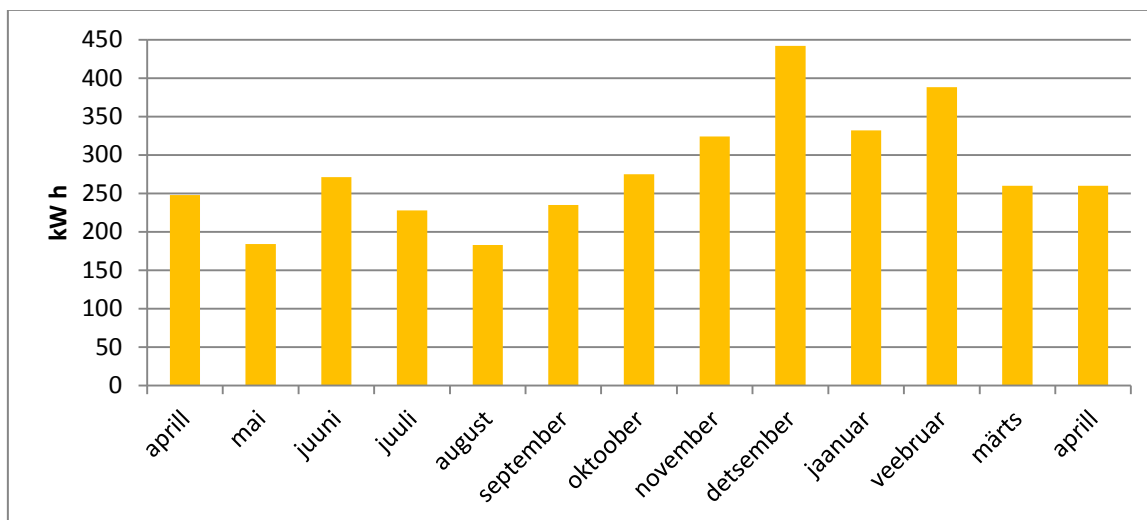
Põrandakütte tsirkulatsioonipump tarbib keskmiselt 22 kW h elektrienergiat kuus. Tsirkulatsioonipump on olnud töös ka mais ja septembris, mil maasoojuspump kütteenergiat ei tootnud. Pumba tööshoidmise põhjuseks on lõunakülje ruumidesse langeva päikese soojusenergia ülekandmine põrandaküttevee abil teistesse ruumidesse.



Joonis 5.1. Tehnoseadmete poolt tarbitud elektrienergia kuus perioodil aprill 2013-aprill 2014

Hoones paiknevate elektriseadmete ja valgustuse poolt tarbitud elektrienergia kuus on kajastatud graafikul (Joonis 5.2.). Üldjoontes on graafik korrelatsioonis päevavalgustundidega, saavutades maksimumi detsembris 2013, mil vajatakse enim

kunstlikku valgust ning kasutatakse ka dekoratiivvalgusteid hoone sees ja väljas. Üheks suurema tarbimise põhjuseks võib ka lugeda detsembri kalendripühasid, mil toimub intensiivsem köögiseadmete kasutamine. Päevavalgustundidega mitteseotud kõikumised saab välja tuua juunis ja juulis 2013 ning veebruaris 2014. Antud kõikumine on tingitud hoone ja elektriseadmete kõrgemast kasutusintensiivsusest.



Joonis 5.2. Hoones paiknevate elektriseadmete ja valgustuse poolt tarbitud elektrienergia kuus perioodil aprill 2013-aprill 2014

5.2. Soojustegurite võrdlus tarbevee soojendamisel ning elektrienergiatarve tarbevee soojendamiseks

Maasoojuspumba tarbevee soojendamise soojustegurite võrdlus on teostatud põhjusel, et esinevad suured erinevused määruse „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ ning maasoojuspumba tootja poolt antud soojustegurite osas (Lisa 10). Vastavalt määrusele on maasoojuspumba soojustegur tarbevee soojendamisel 2,7. Maasoojuspumba tootja annab soojusteguriteks vastavalt standardile EN255, mil arvesse ei võeta tsirkulatsioonipumpade energiatarve ning soojusvaheti maksimum- ja miinimumtemperatuuride vahe on 0°C/50 °C, 3,46 ning vastavalt standardile EN14511, mil võetakse arvesse tsirkulatsioonipumpade energiatarvet ning maksimum- ja miinimumtemperatuuride vahe on 0°C/45 °C, 3,58. Peatükis on välja arvatud ka maasoojuspumba soojustegur suveperioodi energiatarbimiste baasil.

Sooja tarbevee tootmiseks vajatava elektrienergia ja maasoojuspumba soojusteguri arvutus

Tarbevee soojendamisele kuluv energiahulk on 2861 kW h (arvutused peatükk 4.2.). Vastavalt valemile 26 ja valemi teisendusele leiame vajatava elektrienergia hulga.

Määruse „Energiaõhususe arvutamise meetodika“ soojustegur 2,7:

$$W = \frac{2861}{2,7} = 1060 \text{ kW h}$$

Maasoojuspumba standardi EN 255 kohane soojustegur 3,46:

$$W = \frac{2861}{3,46} = 827 \text{ kW h}$$

Maasoojuspumba standardi EN 255 kohane soojustegur 3,58:

$$W = \frac{2861}{3,58} = 799 \text{ kW h}$$

Määrame keskmise soojusteguri kütteperioodivälisel ajal (mai - september 2013), mil vaadeldava perioodi summaarne maasoojuspumba poolt tarbitud elektrienergia hulk oli 266 kW h (Tabel 5.1.) ning vajatav soojusenergiahulk tarbevee soojendamiseks vaadeldaval viiel kuul 1192 kW h.

$$\text{COP} = \frac{1192}{266} = 4,48$$

Saadud tulemus erineb märgatavalt määruse „Energiaõhususe arvutamise meetodika“ ning maasoojuspumba tootja poolt antud andmetest. Peatükis 2.1. kirjeldatu kohaselt ei lange aasta jooksul maakontuurist maasoojuspumpa siseneva energiakandja temperatuur alla +1°C ning suveperioodil on sisenev energiakandja temperatuur 10-18 °C. Võib eeldada, et arvutus on paikapidav, sest maasoojuspump peab kõrgema sisendtemperatuuri puhul oluliselt vähem tööd tegema, et saavutada nõutud tarbeveetemperatuur. Kuivõrd aasta lõikes on maapinnatemperatuur muutuv, siis ei ole arvatud soojustegurit võimalik rakendada kogu aasta lõikes, mistõttu tuleb leida keskmistatud väärtus leitud ning tootja poolt antud väärtuste alusel.

Keskmine soojustegur käesoleva hoone näitel tootja ning eelnevalt arvatud väärtuse puhul temperatuuride erinevusel 0/50 °C on arvatud järgmiselt:

$$\text{COP} = \frac{3,46 + 4,48}{2} = 3,97$$

Soojusteguri 3,97 puhul on vajatav elektrienergiahulk:

$$W = \frac{2861}{3,97} = 720 \text{ kW h}$$

Hoone kütmiseks kuluva elektrienergia leidmiseks lahutatakse maasoojuspumba poolt tarbitud elektrienergiast soojusteguri 3,97 puhul saadud arvutuste tulemuse 720 kW h/a.

5.3. Hoone kütmiseks vajaliku mõõdetud neto elektrienergiakulu võrdlus tegeliku kasutusprofiili energiavajadusega

Käesolevas peatükis võrreldakse hoone mõõdetud elektrienergiatarvet arvutusliku tegeliku kasutusprofiili kütteenergiatarbega. Arvutuste aluseks on tegelik väliskliima ning selle alusel arvutatud kütteenergiavajadus. Soojakadude, soojusenergiaallikate ning kütteenergiavajaduse arvutus on kajastatud Lisas 1.

Arvutuste lähteandmed:

- Hoone kütmiseks vajalik soojusenergiahulk vaadeldaval perioodil on 16245 kW h.
- Soojuse jaotamise kasuteguriks on võetud 1.
- Hoone kütmiseks kulunud neto elektrienergiavajadus vaadeldaval perioodil on 2261 kW h.
- Soojuspumba soojustegur vastavalt määrusele „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ peale-ja tagasivoolutemperatuuride 35°C/28°C korral 3,6.
- Soojuspumba soojustegur vastavalt tootja andmetele standardi EN255 kohaselt, mil arvesse ei võeta tsirkulatsioonipumpade energiatarve ning soojusvaheti maksimum- ja miinimumtemperatuuride vahe on 0 °C/35 °C, 4,93 ning vastavalt standardile EN14511, mil võetakse arvesse tsirkulatsioonipumpade energiatarvet ning maksimum- ja miinimumtemperatuuride vahe on 0 °C/35 °C, 4,51.

Kütteks vajatava elektrienergia ja maasoojuspumba soojusteguri arvutus

Vastavalt valemile 26 ja valemi teisendusele leiame vajatava elektrienergia hulga erinevate soojustegurite korral.

Määruse „Energiatõhususe arvutamise meetodika“ soojustegur 3,6:

$$W = \frac{16245}{3,6} = 4513 \text{ kW h}$$

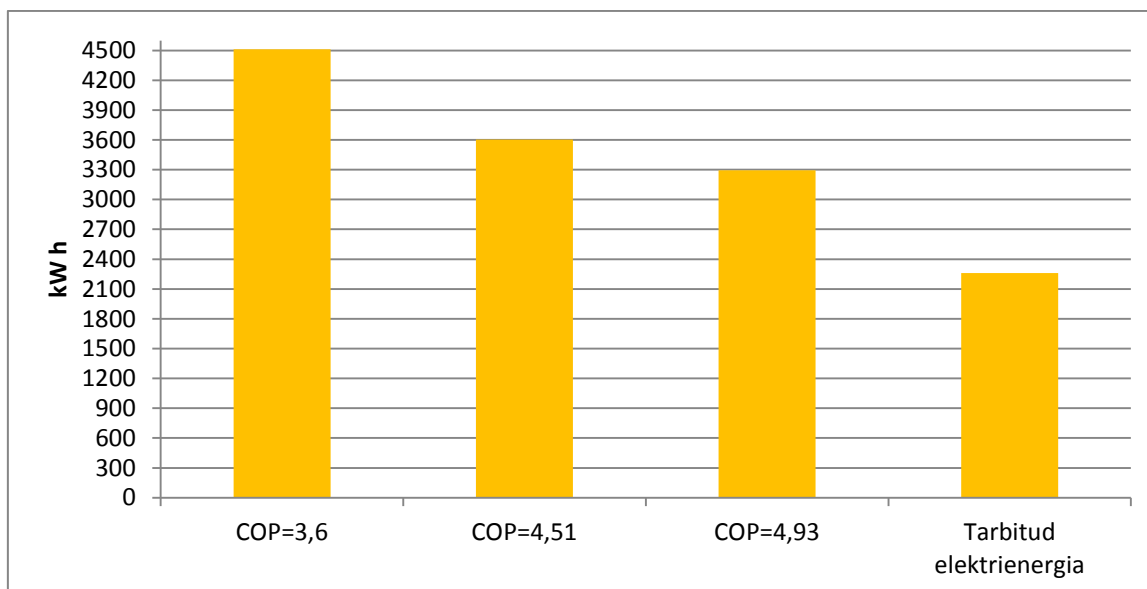
Maasoojuspumba standardi EN 255 kohane soojustegur 4,51:

$$W = \frac{16245}{4,51} = 3602 \text{ kW h}$$

Maasoojuspumba standardi EN 255 kohane soojustegur 4,93:

$$W = \frac{16245}{4,93} = 3295 \text{ kW h}$$

Järgneval diagrammil (Joonis 5.3.) on kajastatud arvutustulemused ning võrdlus tegeliku tarbitud elektrienergiaga.



Joonis 5.3. Kütmiseks vajatav elektrienergia kWh

Sooja tarbevee arvutustes selgus, et tegelik kasutegur on kõrgem kui erinevate allikate andmed seda ette näevad. Sellest tulenevalt teostatakse tegeliku soojusteguri arvutus kütteenergia tootmiseks.

Arvutuskäik on teostatud vastavalt peatüki eelnevates osades antud sisendandmetele.

$$\text{COP} = \frac{16245}{2261} = 7,18$$

Tegelik maasoojuspumba soojustegur kütteil on 7,18. Leitud väärtust kasutatakse edaspidi hoone energiatõhususarvu määramisel.

5.4. Mõõdetud neto energiakulu võrdlus tegeliku kasutusprofiili arvutustega

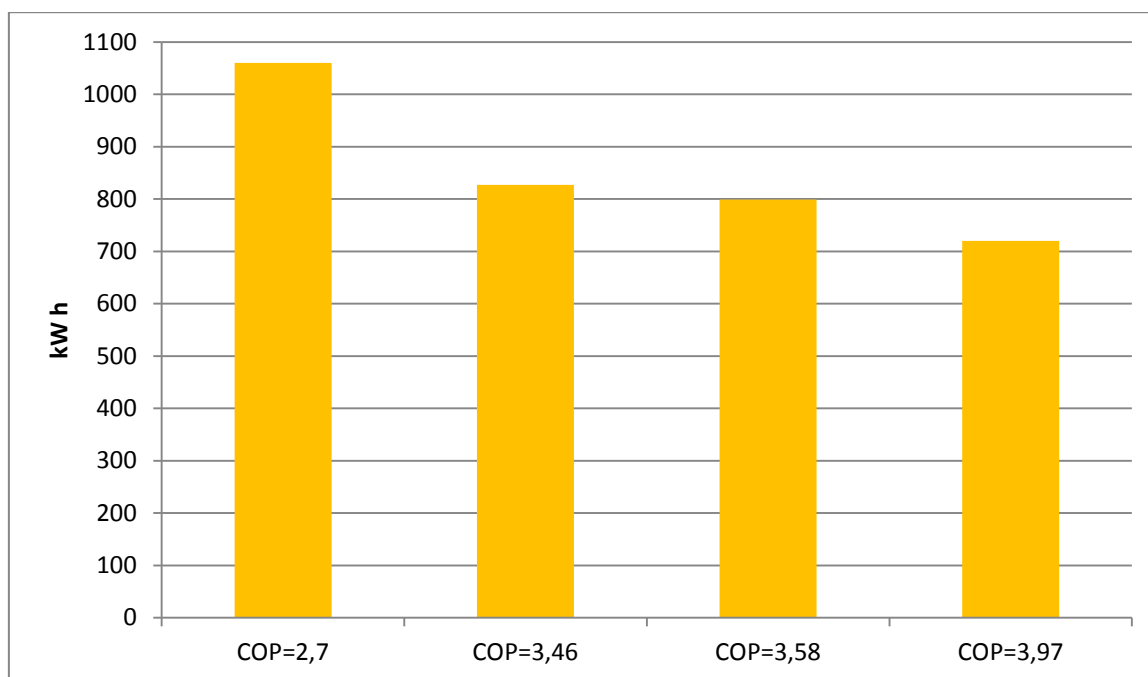
Mõõdetud neto elektrienergiakulu on esitatud tabelis 5.1. Maasoojuspumba neto elektrienergiatarve vaadeldaval perioodil oli 2981 kW h, milles sisaldub nii tarbevee soojendamiseks kulunud energia kui ka hoone kütmiseks kulunud energia. Tegelik

seadmete ja valgustuse poolt tarbitud elektrienergiahulk vaadeldaval perioodil on 4480 kW h.

Sooja tarbevee tootmiseks kulunud energiatarbe võrdlus

Peatükis 5.2. võrreldi määruses „Energiatõhususe arvutamise meetodika“ kirjeldatud soojustegureid maasoojuspumba tootja poolt antud soojusteguritega ning leiti ka vajaliku energiatarbe baasil tegelik maasoojuspumba soojustegur.

Erinevate soojustegurite kasutamisel vajatav elektrienergia on esitatud järgneval graafikul (Joonis 5.4.). Graafikult nähtub, et suurima ja väikseima soojusteguri netoenergiavajaduse vahe on 340 kW h/a ning väiksema soojusteguri puhul moodustab elektrienergiavajadus 68% määruse kohase arvutuse elektrienergiavajadusest. Võrreldes maasoojuspumba tootja poolt antud soojustegureid määrusega, on energiavajadus määruse puhul 28-32% suurem. Siinkohal tuleb rõhutada, et energiakulu tarbevee soojendamiseks on leitud käesoleva hoone veetarbimise näitel. Kui lähtuda määruses kirjeldatud veehulkadest, siis on tekkiv vahe suurem ning mõjutab ka suuremal määral primaarenergiavajadust.



Joonis 5.4. Vajatav energiahulk tarbevee soojendamiseks erinevate soojustegurite puhul

Kokkuvõtvalt on määruses „Energiatõhususe arvutamise meetodika“ kirjeldatud soojustegur tarbevee soojendamiseks käesoleva hoone näitel selgelt alahinnatud. Soojusteguri määramisel tuleks lähtuda tootja andmetest või leida meetodika, mis võtab arvesse pinnase soojusülekanne omadusi, kuhu maakollektori kontuur paigaldatakse.

Arvutuste kohaselt on ka tootja poolt antud soojustegurid vaadeldava hoone puhul alahinnatud ning tegelik soojustegur tarbevee soojendamiseks on kõrgem kui tootja andmetes kirjeldatu.

Kütmiseks kuluva energiatarbe võrdlus

Peatükis 5.3. kõrvutati määruses „Energiatõhususe arvutamise meetodika“ kirjeldatud soojustegureid maasoojuspumba tootja poolt antud soojusteguritega ning leiti ka vajaliku energiatarbe baasil tegelik maasoojuspumba soojustegur.

Määruses kirjeldatud soojustegurite alusel arvutatud energiahulk (4513 kW h) on võrreldes tegeliku tarbitud elektrienergiakogusega (2261 kW h) kaks korda suurem. Maasoojuspumba kasuteguritega võrreldes on mõlemal juhul arvutatud elektrienergiakogus enam kui 1000 kW h väiksem kui määruses kirjeldatud soojusteguri puhul.

Tegelike tarbimisandmete alusel leitud maasoojuspumba soojustegur (COP=7,18) on võrreldes määruses „Hoonete energiatarbimise arvutamise meetodika“ (COP=3,6) antud soojusteguriga kaks korda suurem. Arvutatud soojustegur on ka oluliselt kõrgem võrreldes standardi EN 14511 kohase tootja poolt antud soojusteguriga (COP=4,51), kus soojustegurite vahe on 2,67.

Lähtudes eelnevast, on määruses kirjeldatud soojustegur vaadeldava hoone puhul alahinnatud ning selle kasutamisel suurendaks küttele kuluvat netoenergiavajadust kaks korda. Määruses kirjeldatuga võrreldes on maasoojuspumba tootja poolt antud kasutegur ligi ühe võrra suurem.

Suured soojustegurite erinevused vaadeldaval hoonel võivad olla tingitud järgmistest põhjustest:

- soojusülekanne maakontuuri ja pinnase puhul on standardolukorrast oluliselt parem;
- maapinna keskmine temperatuur alal, kus paikneb maakollektor, on aasta lõikes tavapärasest kõrgem, mistõttu siseneb maasoojuspumpa ka kõrgema temperatuuriga soojuskandev vedelik;
- Väheste soojakadude tõttu ei vajata küttevett temperatuuril 35 °C, vaid see on kogu aasta lõikes madalam.

Tegelikku energiatarvet kütteks ei ole võimalik võrrelda määruses ning maasoojuspumba tootja poolt antud andmetega. Madala energiatarbega hoonete puhul tuleks määruses

kirjeldatud maasoojuspumba soojusteguritesse suhtuda kriitiliselt, sest kütte pealevoolutemperatuurid on tavapärasest madalamad ning vajatav kütteeenergia hulk väike. Madalama pealevoolutemperatuuri ning soodsate pinnaseomaduste koosmõjul võib maasoojuspumba soojustegur olla oluliselt kõrgem. Maasoojuspumba soojustegurite määramise temaatika vajab täiendavat uurimist, seda eriti karmistuvate energiatõhususe alaste nõuete valguses, kus hoonete energiatõhusust väljendatakse primaarenergiavajaduse kaudu.

Seadmete ja valgustuse poolt tarbitud elektrienergia võrdlus

Tegelik seadmete ja valgustuse poolt tarbitud elektrienergiahulk vaadeldaval perioodil on 4480 kW h. Tulemus on saadud tabeli 4.1. veergude 4-7 summade liitmisel.

Arvutuslik elektrienergiahulk tegelikul kasutusprofiilil kahe elaniku puhul on 3851 kW h. Tulemus on saadud joonisel 3.9. kajastatud seadmete kogutarbe summast, mis on teisendatud vaadeldavale perioodile (13 kuud). Tegeliku kasutusprofiili puhul, kus planeeritud elanike arv on neli, on summaarne elektrienergiahulk vaadeldaval perioodil 5252 kW h (PHPP tarkvara arvutus) ning on teisendatud lisades 2 ja 3 esitatud andmetest.

Kokkuvõtvalt võib järeldada, et PHPP tarkvara elektrienergiatarbe arvutused on täpsed. Kahe elaniku puhul teostatud arvutustega võrreldes on tegelik tarve suurem (vahe 629 kW h), ent ka tehnoseadmete poolt tarbitava elektrienergia mõju elaniku kohta on suurem kui nelja elaniku puhul. Nelja elaniku puhul oleks arvutuslik elektrienergiakulu 5252 kW h, mis on 772 kW h võrra suurem kui vaadeldava perioodi tegelik elektrienergiatarve.

Hoone energiatõhususarvu arvutuste võrdlus

Vajaliku kütteeenergia ning tarbevee soojendamiseks kuluva energia sisendandmed pärinevad peatükist 4.3. (Joonis 4.22.), (Tabel 4.4.). Vajalik kütteeenergia on 31,7 kW h/(m² a) ning tarbevee soojendamiseks vajalik energia on 25 kW h/(m² a).

Maasoojuspumba soojustegurid, mille alusel on arvatud neto elektrienergiavajadus, pärinevad määrusest „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ ning töö alapeatükkidest 4.2. -ja 4.3. Neto elektrienergiavajadus on leitud järgmiselt: vajalik kütteeenergia hulk jagatuna soojusteguriga.

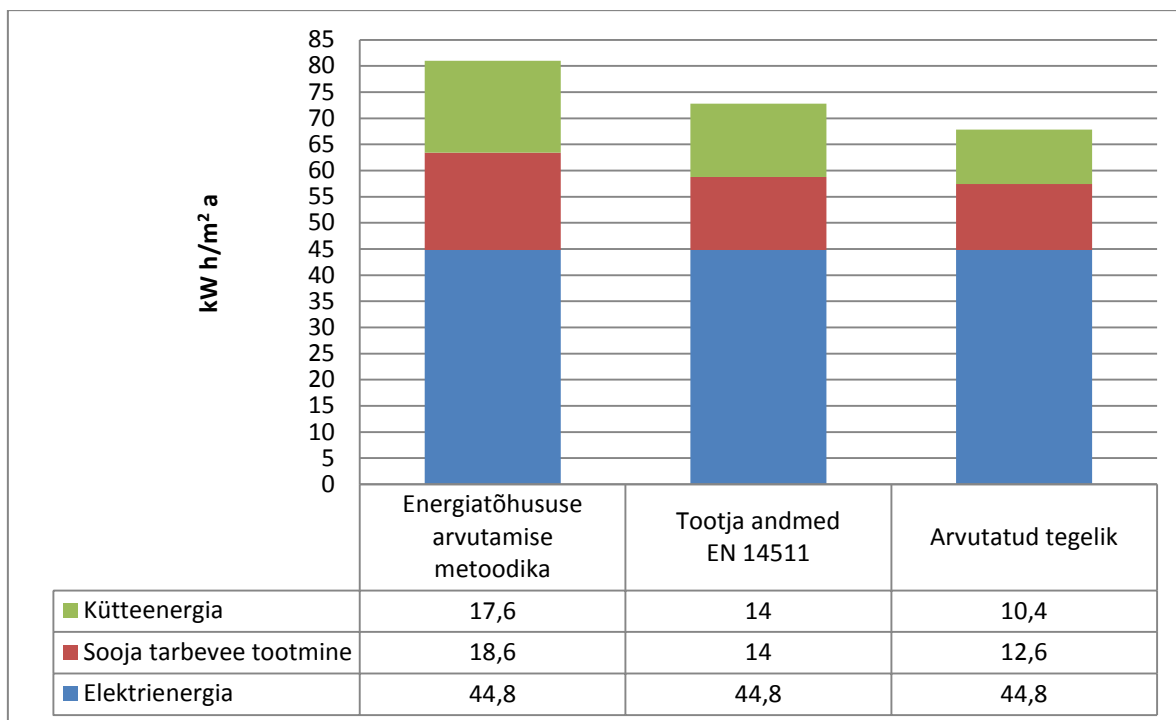
Vaadeldaval hoonel on energiaallikaks elekter. Elektrienergia kaalumiskoeffitsient on vastavalt määrusele „Energiaatõhususe miinimumnõuded“ 2. Arvutused on teostatud kogu hoonetele (214 m²). Seadmete poolt tarbitud elektrienergia arvutuslikud andmed on võetud Lisast 2 ning elektrienergia kulu on 22,4 kW h/(m²a), elektrienergia kaalutud erikasutus on seejuures 44,8 kW h/(m² a).

Maasoojuspumba soojustegurite mõju neto elektrienergiavajadusele kütteks ning tarbevee soojendamiseks väljendab Tabel 5.2. Määruses „Hoonete energiaatõhususe arvutamise meetoodika“ antud soojustegurite puhul on kaalutud energia erikasutus võrreldes maasoojuspumba tootja andmetega (Lisa 10) suurem 8,2 kW h/(m² a) ning arvutatud tegelike soojusteguritega võrreldes on vahe 13,2 kW h/(m² a).

Tabel 5.2. Soojuspumba soojustegurite mõju neto elektrienergiavajadusele ning kaalutud erikasutusele

Allikas	Soojustegur	Küte, kW h/(m ² a)	Tarbevesi, kW h/(m ² a)	Kaalutud erikasutus, kW h/(m ² a)
Energiaatõhususe arvutamise meetoodika	3,6	8,8	-	36,2
	2,7	-	9,3	
Tootja andmed EN 14511	4,51	7	-	28
	3,58	-	7	
Arvutatud tegelik	7,18	5,2	-	23
	3,97	-	6,3	

Hoone energiaatõhususarv erinevate maasoojuspumba soojustegurite puhul on esitatud joonisel 5.5. Sõltumata maasoojuspumba soojustegurist, moodustab hoonetes paiknevate seadmete ja valgustuse poolt tarbitav energia suurima osa, moodustades igal vaadeldaval juhul 44,8 kW h/(m² a). Peamisteks mõjutajateks on hoone kütmisele ning tarbevee soojendamisele kuluv energia.



Joonis 5.5. Soojuspumba soojustegurite mõju energiatõhususarvule standardkasutusel

Energiatõhususarv määruse kohaselt arvatuna on $81 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ning tegelike soojustegurite puhul $67,8 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \text{ a})$. Saadud tulemuste erinevus on 16%. Erinevus tekib tarbevee soojendamisele ning hoone kütmisele kuluva energiahulga määramisel. Tarbevee soojendamisel on tootja andmete alusel arvatud energiahulk on 25% väiksem kui määruse meetoodika puhul ning arvutatud tegeliku soojusteguri puhul on vahe 32%. Vajatava kütteenergia osas on määruse meetoodika kohast soojustegurit kasutades vajatav energiahulk võrreldes arvutatud soojusteguriga 41% ning vahe tootja poolt antud soojusteguriga 20%.

5.5. Kasutajate hinnang

Ehitusprotsess

Hoone ehitamisele kulunud aeg oli üheksa kuud, millest sisetööd kestsid neli kuud. Seinaelemendid ehitati ehitusobjektile ning kogu protsessi sujuvuse aluseks oli täpne materjalikoguste ning tarne planeerimine. Puitkonstruktsiooni tõttu oli rasketehnika kasutamise vajadus minimaalne. Tõstetehnika vajadus esines üksnes katuse ja selle konstruktsiooniga seotud töödel. Hoone ühekorruselisuse tõttu ei olnud vajalik tellingute kasutamine pikemal perioodil.

Ehitusperioodil oli takistuseks ilmastik. 2012. aasta suvi oli sademeterohke, mistõttu tuli puitkonstruktsioonil seinaelemente iga tööpäeva lõpus katta. Alternatiivina oleks olnud võimalik seinaelemendid tellida majatehasest. Eeliseks oleks püstituskiirus, väiksem niiskuskahjustuse risk, parem kvaliteet ning oluliselt lühem ehitusperioodi pikkus, puuduseks kõrgem seina ruutmeetri maksumus.

Hoone asub asustatud piirkonnas, mistõttu kommunikatsioonide rajamise kulud olid madalad ning liitumisprotsess lihtne. Hoone tarbevesi saadakse kohalikust veevõrgust ning reovee ärajuhtimine toimub kohaliku reoveevõrku. Enne hoone ehitamist oli vajalik rajada juurdepääsutee pikkusega 130 m.

Hoone ühekorruselisuse tõttu oli, võrreldes kahekordse hoonega, vundamendi rajamise maksumus kõrge. Valatud betoonplaadi pindala on 242 m^2 , mille all ja külgedel on 300 mm EPS isolatsioon. Lisaks kulus krundi kõrguste erinevuse tõttu (pikima fassaadi nurkade kõrgusmärkide vahe 0,8 m) 300 t täitematerjali. Vundamendi rajamise maksumus vaadeldaval hoonel moodustas 32% ehitusmaksumusest, millest suure osa moodustas isolatsioonimaterjali maksumus. Võimalusel tuleks ehitada kahekordne hoone, mille puhul moodustab vundamendi maksumus kogu ehitusmaksumusest oluliselt väiksema osa.

Vundamendi järel olid suurimateks kulukohtadeks siseviimistlus (25%), küttesüsteem koos kohapeal ehitatud kaminahjuga (10%) ning katus koos konstruktsiooniga (8%). Kaminahju kasutamiseks puudub praktiline vajadus. Tegemist on esteetilise elemendiga, mille kasutusintensiivsus on 4-5 korda aastas. Ainus kaminahju praktiline vajadus esineb olukorras, kus elektrivarustus on häiritud pikemal perioodil (3 ja enam päeva) või maasoojuspump lõpetab töötamise. Siiski on kirjeldatud olukorra esinemise tõenäosus väike, õigustamaks suuri rajamiskulusid. Elektrikatkestusest tekkiva riski maandamiseks oleks oluliselt odavam soetada elektrigeneraator. Kuivõrd ahjud ja korstnad hoones mõjutavad olulisel määral ka õhupidavust, siis on madala energiatarbega hoonetel otstarbekas kaaluda neist loobumist, eriti juhul, kus puudub praktiline vajadus.

Sisseelamisperiood ja hoone kasutusmugavus

Sisseelamisperioodiga kaasnes tehnosüsteemide seadistamine. Vajalik oli leida õige kasutusprofiil küttesüsteemile, millele kulus kaks kuud. Massiivse plaatvundamendi ning väikeste soojakadude tõttu kulub muudatuste realiseerumiseks 4-5 päeva. Sisseelamisperioodi järgselt ei ole olnud vajalik küttesüsteemi rohkem seadistada ning

kasutaja seisukohast vaadatuna on maasoojuspumba puhul tegemist väga mugava lahendusega.

Ventilatsioonisüsteem vajab võrreldes küttesüsteemiga rohkem tähelepanu. Kord kvartalis on vajalik kontrollida või vahetada filtreid, sõltuvalt aastaajast on vajalik muuta ventileerimisintensiivsust. Võrreldes ventilatsioonisüsteemi puudumisega, vajab ventileeritav hoone rohkem tähelepanu, ent sisseelamisperioodi järgselt ei valmista süsteemi käsitlemine probleeme ning süsteemi töö kontrollimist tuleb käsitleda kui hoone kasutamise loomulikku osa. Kokkuvõtvalt võib öelda, et sisseelamisperioodi järgselt ei erine hoone kasutus olulisel määral teistest hoonetest.

Sisekliima

Ruumitemperatuuriseaded sõltuvad kasutajate eelistustest. Vaadeldaval hoonel on ruumitemperatuuri kütteperioodil hoitud tavapärasest kõrgemal tasemel (kütteperioodi keskmine 23,5 °C). Kevadel ja suvel on tavapärase ruumitemperatuur lõunapoolsetes ruumides 25-26 °C. Kuivõrd kasutajad eelistavad keskmisest kõrgemat ruumitemperatuuri, siis ei ole see probleem. Ruumitemperatuuri maksimumid jäävad üldiselt maikuuksse (27-28 °C), mil päike on intensiivne, ent ei ole nii kõrgel kui kesksuvel ning katuseräästas ei varja piisaval määral päikesekiirgust. Sel perioodil tekitab kõrge sisetemperatuur mõnevõrra ebamugavust just õhtusel ajal.

Kütteperioodi välise ajal, mil ruumitemperatuur võib tõusta üle kriitilise piiri (27 °C), kasutatakse öist ventileerimist. Öisel ajal töötab ventilatsioonisüsteem väljatõmbe režiimis ning ruumide aknad on tuulutusasendis. Selle meetmega alaneb, sõltuvalt öisest välitemperatuurist, ruumitemperatuur 2-4 °C. Vaatamata sääsevõrkude puudumisele akendel, ei tungi öise ventileerimisrežiimi puhul sääsed tuppa. Ruumide alarõhu tõttu ei välju akendest ilmselt sääski ligimeelitavat süsihappegaasi, ent see teooria vajab kontrollimist.

Inimestele, kes eelistavad madalamaid ruumitemperatuure, võivad eelnevalt kirjeldatud temperatuurid rohkem probleeme valmistada. Lahendusena võib kasutada jahutusüsteemi või passiivseid päikesekaitseelemente. Viimane lahendus on energiatõhususarvu silmas pidades otstarbekam.

Vaatamata võrdlemisi väiksele ventilatsiooniõhuhulgale ning niiskustagastusega soojusvahetile, esineb kevadel, paarinädalasel perioodil, õhukuivust (suhteline õhuniiskus

ruumides langeb 30-protsendile). Õhukuivuse vastu on aidanud ventileerimisintensiivsuse vähendamine ning õhuniisuti kasutamine.

Tulenevalt kõrgemast sisetemperatuurist talvel, esineb elutoas kohati ventilatsioonisüsteemi sissepuhkeõhu madalama temperatuuri tõttu ebamugavustunnet. Selle põhjuseks on elutoa suurem sissepuhkeõhu hulk ning ruumitemperatuuri ja sissepuhkeõhu temperatuuri suur erinevus (4 °C). Seda oleks võimalik vältida sissepuhkeõhu jaotamisega ühe plafooni asemel mitme sissepuhkeplafooni vahel.

Ülalpidamiskulud

Hoone ülalpidamiskulud on võrdlemisi madalad. Hoone sisekliima tagamiseks kulus vaadeldaval perioodil keskmiselt 2,3 €/ (m² a), millele lisandub tarbeelekter. Sisekliima tagamiseks kuluvat energiahulka on võimalik vähendada garaažiosa talvise sisetemperatuuri langetamisega ning päikesekollektorite paigaldamisega. Garaaži sisetemperatuuri langus temperatuurini 5 °C võimaldab hinnanguliselt küttekulusid kokku hoida 10-15%. Päikesekollektorite paigaldamisel, mil 60% sooja tarbevee vajadusest ning 25% kütteenergiavajadusest kaetakse päikeseenergiaga oleks täiendav sääst aastas 20-30%. Seega on otstarbekas vähendada garaaži sisetemperatuuri ning paigaldada hoonele päikesekollektorid.

6. KOKKUVÕTE

Käesoleva töö käigus keskenduti vaadeldava hoone standardkasutuse ja tegeliku kasutusprofiili arvutuste võrdlusele ning võrreldi perioodi väliskliima kontekstis tegeliku kasutusprofiili arvutustulemusi mõõdetud energiatarbega. Töö lõpus käsitleti hoone ehitamisega seotud tegevusi ning kasutajatepoolset tagasisidet hoone kasutamisel, mis oli üldjoontes positiivne..

Vaadeldava hoone standardkasutuse (sisetemperatuur 20 °C) ja tegeliku kasutusprofiili (sisetemperatuur 23,5 °C) arvutused teostati vastavalt PHPP metoodikale ning määruste Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika. (2012) ja Energiatõhususe miinimumnõuded. (2014) metoodikale.

Standardkasutusel võrreldi PHPP ning määruse Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika suunistes kirjeldatud inimeste ja seadmete poolt tekitatava vabasoojuse mõju energiabilansile. Vabasoojuse hulk vastavalt määruses „Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika“ kirjeldatule on 7,9 kW h/(m² a) võrra suurem kui PHPP metoodika seda ette näeb. Vaadeldaval hoonel vähendab kõrgem vabasoojuse määr arvutuslikku vajatavat kütteenergia hulka 11% aastas. Tegeliku kasutusprofiili puhul on vabasoojuse erinevus ja nende mõju energiabilansile väiksem, sest sisetemperatuuri tõstmisega suurenevad soojakaod.

Mõõdetud netoenergiatarbe ning tegeliku kasutusprofiili energiakulude arvutustes võrreldi tarbevee soojendamiseks kuluvat energiahulka, hoone kütmiseks kuluvat energiahulka, seadmete ja valgustuse poolt tarbitud elektrienergiat ning hoone energiatõhususarvu. Kuivõrd hoone kütmine ja tarbevee soojendamine toimub maasoojuspumba abil, siis kõrvutati kulusid erinevate maasoojuspumba soojustegurite lõikes.

Tarbevee soojendamiseks kulunud netoenergiat võrreldi arvutusliku energiatarbega maasoojuspumba erinevate soojustegurite puhul. Kõrvutati määruses Energiatõhususe arvutamise metoodika kirjeldatud soojustegurit tarbevee soojendamiseks (COP=2,7), tootja poolt antud soojustegurit (COP=3,46) ning arvutati tegelik soojustegur tegelike tarbimisandmete alusel. Leiti, et tegelik soojustegur tarbevee soojendamiseks on kõrgem kui määruses ja tootja andmetes kirjeldatu (COP=3,97). Määruse ja tegeliku soojusteguri netoenergiavajaduse vahe tarbevee soojendamisel on 340 kW h/a ning tegeliku

soojusteguri puhul moodustab elektrienergiavajadus 68% määruse kohaselt arvatud elektrienergiavajadusest. Elektrienergiavajadus määruse soojusteguri puhul on 28-32% suurem kui tootja andmetest lähtuv vajadus. Siinkohal tuleb rõhutada, et energiakulu tarbevee soojendamiseks leiti vaadeldava hoone veetarbimise näitel. Kui lähtuda määruses Energiatõhususe miinimumnõuded kirjeldatud veehulkadest, on tekkiv netoenergiavajaduse erinevus suurem ning mõjutab enam primaarenergiavajadust.

Määruses Energiatõhususe arvutamise metoodika kirjeldatud soojustegur tarbevee soojendamiseks ($COP=2,7$) on käesoleva hoone näitel selgelt alahinnatud. Autori arvates tuleks soojusteguri määramisel tuleks lähtuda tootja andmetest või leida metoodika, mis võtab arvesse pinnase soojusülekanne omadusi, kuhu maakollektori kontuur paigaldatakse.

Hoone kütteenergiavajaduse arvutustes leiti, et määruses kirjeldatud soojusteguri puhul on neto elektrienergiavajadus (4513 kW h) võrreldes tegeliku tarbitud elektrienergiakogusega (2261 kW h) kaks korda suurem. Maasoojuspumba tootja antud soojusteguri puhul on vajatav neto elektrienergiakogus enam kui 1000 kW h väiksem kui määruse soojusteguri puhul. Tegelik tarbimisandmete alusel leitud maasoojuspumba soojustegur kütteks ($COP=7,18$) on võrreldes määruses Hoonete energiakoguse arvutamise metoodika ($COP=3,6$) antud soojusteguriga kaks korda suurem. Arvutatud soojustegur on ka oluliselt kõrgem võrreldes standardi EN 14511 kohase tootja poolt antud soojusteguriga ($COP=4,51$), kus soojustegurite vahe on 2,67.

Määruses kirjeldatud soojustegur hoone kütteks vaadeldava hoone puhul on selgelt alahinnatud ning selle kasutamisel suurendaks küttele kuluvat netoenergiavajadust kaks korda. Suured soojustegurite erinevused vaadeldaval hoonel võivad autori arvates olla tingitud järgmistest põhjustest:

- soojusülekanne maakontuuri ja pinnase puhul on standardolukorrast oluliselt parem;
- maapinna keskmine temperatuur alal, kus paikneb maakollektor, on aasta lõikes tavapärasest kõrgem, mistõttu siseneb maasoojuspumpa ka kõrgema temperatuuriga soojuskandev vedelik;
- Väheste soojakadude tõttu ei vajata küttevett temperatuuril 35 °C, vaid see on kogu aasta lõikes madalam.

Mõõdetud elektrienergiatarbe kõrvutamisel arvutustega leiti, et PHPP tarkvara elektrienergiatarbe määramise metoodika on võrdlemisi täpne. Kahe elaniku alusel

teostatud arvutustega võrreldes on mõõdetud elektrienergiatarve suurem 629 kW h. Nelja elaniku puhul oleks arvutuslik elektrienergiakulu 5252 kW h, mis on 772 kW h võrra suurem kui vaadeldava perioodi tegelik elektrienergiatarve. Autori arvates seletab arvatud ja mõõdetud elektrienergiakoguste erinevust asjaolu, et tehnoseadmete poolt tarbitava elektrienergia mõju inimese kohta on kahe elaniku puhul suurem kui nelja inimese puhul.

Energiatõhususarvu arvutustel erinevate soojustegurite lõikes leiti, et erinevus tekib nii tarbevee soojendamise kui ka hoone kütmise energiahulga määramisel. Tootja andmetes antud soojustegurite alusel arvatud energiahulk tarbevee soojendamiseks on 25% väiksem kui määruses põhjal arvatud ning arvatud tegeliku soojusteguri puhul on määruse arvutuste kohane energiahulk 32% suurem. Vajitava kütteenergia osas on määruse meetodika kohast soojustegurit kasutades vajatav energiahulk võrreldes arvatud soojusteguriga 41% suurem ning tootja poolt antud soojusteguriga on erinevus määrusega 20% tootja andmete kasuks. Vaadeldaval hoonel on energiatõhususarv määruse kohaselt arvatuna 81 kW h/(m² a) ning tegelike soojustegurite puhul 67,8 81 kW h/(m² a). Saadud tulemuste erinevus on 16%.

Autori arvates tuleks primaarenergiavajaduse arvutuse adekvaatsuse tagamiseks teostada vabasoojuse arvutused vastavalt tegelikule situatsioonile. Arvutuslikku ja tegelikku energiatarvet ei ole võimalik adekvaatselt võrrelda kui soojusenergiaallikana on hoones kasutusel maasoojuspump. Madala energiatarbega hoonete puhul tuleks seadusandja poolt kirjeldatud maasoojuspumba soojusteguritesse suhtuda kriitiliselt, sest kütte pealevoolutemperatuurid on tavapärasest madalamad ning vajatav kütteenergia hulk väike. Madalama kütteevee pealevoolutemperatuuri ning soodsate pinnaseomaduste koosmõjul võib maasoojuspumba soojustegur olla oluliselt kõrgem energiatõhususalaste määruste ning tootja poolt antud näitajates. Maasoojuspumba soojustegurite määramise temaatika vajab täiendavat uurimist, seda eriti karmistuvate energiatõhususalaste nõuete valguses, kus hoonete energiatõhusust väljendatakse primaarenergiavajaduse kaudu.

KASUTATUD KIRJANDUS

Anisimova, N. (2011). The capability to reduce primary energy demand in EU housing. - *Journal of Energy and Buildings*, 2011 (43), 2747-51. [Online] Sciencedirect (19.03.2014)

Current situation of Passive House in Europe. [WWW] <http://www.pass-net.net/situation/index.htm> (27.04.2014)

Degreedays. [WWW] www.degreedays.net (10.05.2014)

Details for Passive Houses. A catalogue of ecologically rated constructions. IBO-Austrian Institute for Healthy and Ecological Building. (2009)./ Wien: SpringerWienNewYork.

Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. (2010) - *Official Journal of the European Union* L 153/13, 18.06.2010.

Energiatõhususe miinimumnõuded. (2014). *Riigi Teataja* I, 24.01.2014, 7.

Feist, W. (2007). Passive House Planning Package 2007. Requirements for Quality-Approved Passive Houses. Darmstadt: Passive House Institute.

Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., Haas A. (2005). Re-inventing air heating: convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. – *Journal of Energy and Buildings*, 37 (11), 1186–1203. [Online] Sciencedirect (20.03.2014)

Fensterrahmen. [WWW] <http://www.passiv.de/komponentendatenbank/fensterrahmen> (03.05.2014)

Fingerling K.-H., Feist W., Otte J., Pfluger R. Konstruktionshandbuch für Passivhäuser. (2008). [WWW] http://www.passiv.de/en/05_service/03_literature/030300_user-manual/030300_user-manual.htm (27.04.2014)

Flamco. [WWW] http://www.flamco.de/uploads/tx_commerce/catalog/flamco_bpl_2014_084_085.pdf (02.06.2014)

Hesaraki, A., Holmsberg, S. (2013). Energy performance of low temperature heating system in five new built Swedish dwellings: A case study using simulations and on-site measurements. - *Journal of Buildings and Environment*, 2013 (64), 85-93. [Online] Sciencedirect (19.03.14)

Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. (2012). *Riigi Teataja* I, 18.10.2012, 1.

Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. (2008) Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetodid: Eesti standard EVS-EN ISO 6946:2008. Tallinn : Standardiamet.

Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. (2010). Osa1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire: Eesti standard EVS 908-1:2010. Tallinn : Standardiamet.

Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data. (2005). Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling: Euroopa standard EVS-EN ISO 15927-4:2005.

Kalamees, T., Kurnitski J. (2006). Estonian test reference year for energy calculations. – *Estonian Journal of Engineering*, 2006 (12, 1), 40–58. [Online] Estonian Academic Publishers (31.05.2014)

Kõiv, T.-A. Toode, A. (2001). Heat energy and water consumption in apartment buildings. *Estonian Journal of Engineering*, 2001 (73), 235–241. [Online] Estonian Academic Publishers (31.05.2014)

Langmans, J., Klein, R., Roels, S. (2010). Air permeability requirements for air barrier materials in passive houses– Comparison of the air permeability of eight commercial brands of OSB. - *5th International Symposium on Building and Ductwork Air-tightness October 21-22, 2010, Copenhagen/Lyngby, Denmark*. [WWW] <http://www.mendeley.com/download/public/35879/3686773611/9b3c4e723d2042867cf783960db3ebd04e66c472/dl.pdf> (15.05.2014)

Mauring, T. (2010). Energiatõhusus ja selle hind. - *Sirp*, 17. detsember, 2010.

Minergie. [WWW] www.minergie.ch (05.05.2014)

Nibe maasoojuspump. [WWW] <http://www.nibe.ee/Tooted/Maasoojuspumbad/Tootevalik/NIBE-F1245/> (02.06.2014)

Niedrigenergiehaus. [WWW] <http://de.wikipedia.org/wiki/Niedrigenergiehaus> (05.05.2014)

Passiivmajaliit. [WWW] www.passiivmajaliit.ee (05.05.2014)

Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatarbimusega hoone ehitamisel. (2009). / T. Mauring, J. Hallik, A. Siiner, M. Valge, H.Hirv. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.

Passiv.de [WWW] http://www.passiv.de/komponentendatenbank/files/pdf/zertifikate/zd_rehau_rehau-geneo-phz_en.pdf (02.06.2014)

Passive house. [WWW] http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_house (15.05.2014)

Passive House requirements. http://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm (28.05.2014)

Paul Lueftung. [WWW] <http://paul-lueftung.de/produkte/lueftungsgeraete-mit-waermerueckgewinnung/focus-f-200.html> (02.06.14)

Paul Lueftung, defrosterelemente. [WWW] <http://paul-lueftung.de/produkte/lueftungssystem-komponenten/defrosterelemente.html> (02.06.2014)

Paul Lueftung, defrosterelemente. [WWW] <http://paul-lueftung.de/produkte/lueftungssystem-komponenten/defrosterelemente.html> (02.06.2014)

Rehau Geneo PHZ w prezencie. [WWW] <http://oknotest.pl/okna-energooszczedne/rehau-geneo-phz> (03.05.2014)

Ridley, I. et al. (2013). The monitored performance of the first new London dwelling certified to the Passive House standard. – *Journal of Energy and Buildings* 2013 (63), 67-78. [Online] Sciencedirect (10.03.2014)

Rusmova, Ingermann. 2003. Sooja vee tarbimise uuring. [WWW] http://www.keskkonnatehnika.ee/arhiiv/2003/3_2003/ingermann.htm (25.05.2014)

Schniedersa, J., Hermelink, A. (2006). CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. - *Journal of Energy Policy*, 2006 (34), 151–171. [Online] Sciencedirect (10.03.2014)

Soojusvarustuse kulude arvestamise ja jaotamise meetoodika. (1997). Lisa majandusministri 11. augusti 1997. a. käskkirjale nr. 86. *Riigi Teataja* 1997,137,0.

Thermal performance of windows, doors and shutters (2006) - Calculation of thermal transmittance EN ISO 10077-1:2006

Tommerup L., Rose H., Svendsen S. (2007). Energy-efficient houses built according to the energy performance requirements introduced on Denmark in 2006 - *Journal of Energy and Buildings*, 2007 (39),1123-30. [Online] Sciencedirect (20.03.2014)

Wall, M. (2006) Energy-efficient terrace houses in Sweden. Simulations and measurements. *Journal of Energy and Buildings*, 2006 (38), 627-634. [Online] Sciencedirect (10.03.2014)

Zaljeska-Jonsson, A. (2012). Evaluation of low-energy and conventional residential buildings from occupants' perspective. – *Journal of Building and Environment*, 2012 (58), 135-144. [Online] Sciencedirect (10.03.2014)

LISAD

LISA 1 Hoone soojakaod ja soojusenergia allikad vaadeldava perioodi tegelike kliimaandmete baasil

Õhutiheda hoonekarbi kraadpäevade arv vaadeldaval perioodil (aprill 2013 - aprill 2014) sisetemperatuuril 23,5 °C on välisõhuga kontaktis oleval piirdel 174 kraadpäeva ning põrandal 126 kraadpäeva. Garaaži sisetemperatuuri 19 °C puhul on kraadpäevade arv vaadeldaval perioodil välisõhuga kontaktis oleval piirdel 132 kraadpäeva ning põrandal 99 kraadpäeva. Kütteenergiat ei vajata mai-september, mistõttu arvestatav sisemine vabasoojuse arvutus teostatakse kütteperioodile, mille pikkus on 212 päeva. (Degreedays)

Ventileerimisest tekkivad soojusenergiakaod

Ventileerimisest tekkiv soojusenergiakadu arvutatakse valemiga 11.

Soojakadu vastavalt tegelikule õhuhulgale

$$Q_v = 3187 + 0 = 3187 \text{ kW h/a}$$

Õhuvahetusest tulenev soojakadu läbi välispiirete arvutatakse valemiga 12.

$$Q_{v1} = 455 \times 0,122 \times 0,33 \times 174 = 3187 \text{ kWh/a}$$

Efekttiivne õhuvahetus läbi välispiirde arvutatakse valemiga 14.

$$n_{v,e} = 0,365 \times (1 - 0,90) + 0,084 = 0,122$$

Infiltratsiooni poolt tulenev õhuvahetuse kordsus 0,084

Kuna hoonel on plaatvundament, siis puudub õhuvahetus läbi maapinna. Seega $Q_{ve} = 0$.

Piirdetarindite soojusenergiakaod

Piirdetarindite soojusenergiakaod arvutatakse valemiga 10.

Õhutihe hoonekarp

Välisseinad

$$q_{vs1} = 165,2 \times 0,094 \times 1 \times 174 = 2702 \text{ kW h/a}$$

Lagi

$$q_{kl} = 221 \times 0,065 \times 1 \times 174 = 2500 \text{ kW h/a}$$

Põrand

$$q_{p1} = 220,8 \times 0,117 \times 1 \times 126 = 3255 \text{ kW h/a}$$

Õhutiheda hoonekarbi avatäited

Põhi

$$q_{a1põ}=10,93 \times 0,69 \times 1 \times 174 = 1312 \text{ kW h/a}$$

Ida

$$q_{a1i}=6,66 \times 0,73 \times 1 \times 174 = 846 \text{ kW h/a}$$

Lõuna

$$q_{a1lõ}=19,69 \times 0,69 \times 1 \times 174 = 2364 \text{ kW h/a}$$

Lääs

$$q_{a1lää}=7,81 \times 0,72 \times 1 \times 174 = 978 \text{ kW h/a}$$

Soojakadu läbi ukse tuulekotta

$$q_{vupõ}=2,2 \times 1,34 \times 1 \times 174 = 512 \text{ kW h/a}$$

Summaarne soojakadu läbi avatäidete

$$Q_{a1}=q_{a1põ}+q_{a1i}+q_{a1lõ}+q_{a1lää}+q_{vupõ}=1312+846+2364+978+512=6012 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

Välisseinad

$$q_{vs2}=54,5 \times 0,171 \times 1 \times 132 = 1230 \text{ kW h/a}$$

Katus

$$q_{k2}=41,3 \times 0,107 \times 1 \times 132 = 583 \text{ kW h/a}$$

Põrand

$$q_{p2}=41,3 \times 0,119 \times 1 \times 99 = 486 \text{ kW h/a}$$

Garaaži avatäited

Aknad lääs

$$q_{a2lää}=3,6 \times 0,77 \times 1 \times 132 = 366 \text{ kW h/a}$$

Garaažiuks

$$q_{gupõ}=7,2 \times 1,2 \times 1 \times 132 = 1140 \text{ kW h/a}$$

Maja välisuks

$$q_{vulää}=2,3 \times 0,86 \times 1 \times 132 = 261 \text{ kWh/a}$$

Külmasildade mõju

Külmasildade mõju arvutatakse valemiga 8.

PHPP tarkvara teostab külmasildade keskmise väärtuse arvutused automaatselt vastavalt joonistel 3.11. 3.12. esitatud väärtustele.

Külmasildade mõju õhutihedal hoonekarbil

$$q_{vsk}=152,2 \times (-0,041) \times 1 \times 174 = -1086 \text{ kW h/a}$$

Külmasildade mõju garaažil

$$q_{vsk}=24,7 \times 0,033 \times 1 \times 132 = 107 \text{ kW h/a}$$

Summaarne soojusenergiakadu

Energiakadude summa läbi piirdetarindite leitakse valemiga 18.

Energiakadude summa õhutihe hoonekarp

$$\begin{aligned} Q_{L1} &= Q_{v1} + q_{vs1} + q_{k1} + q_{p1} + Q_{a1} + q_{vup\delta} + q_{vsk} = \\ &= 3187 + 2702 + 2500 + 3255 + 6012 - 1086 = 16570 \text{ kW h/a} \end{aligned}$$

Energiakadude summa garaaž

$$\begin{aligned} Q_{L2} &= Q_{v2} + q_{vs2} + q_{k2} + q_{p2} + q_{a2l\grave{a}} + q_{gup\delta} + q_{vul\grave{a}} + q_{vsk} = \\ &= 0 + 1230 + 583 + 486 + 366 + 1140 + 261 + 107 = 4173 \text{ kW h/a} \end{aligned}$$

Vabasoojused

Päikeseenergia

Päikeselt tulev soojusenergia vaadeldaval perioodil on õhutihedal hoonekarbil 3021 kWh/a ning garaažil 179 kWh/a. Suveperioodil on garaaži sisetemperatuur muutuv. Andmed on arvutatud PHPP tarkvaras.

Seadmete ja inimeste vabasoojus

Summaarseks aastaseks vabasoojuseks õhutihedal hoonekarbil kahe elaniku puhul on vastavalt joonisel 4.8. esitatud andmetele:

$$Q_I = 1,82 \times \frac{24}{24} \times \frac{7}{7} \times \frac{8760}{1000} \times \frac{212}{365} \times 182 = 1685 \text{ kw h/a}$$

Kuivõrd garaažis vabasoojuseid ei ole, siis kasutatakse saadud väärtust kogu hoone bilansis.

Vabasoojuste summa

Päikeseenergia ja sisemise vabasoojuse summa arvutatakse valemiga 21.

Õhutihe hoonekarp

$$Q_F=1685+3021=4706 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

$$Q_F=0+179=179 \text{ kW h/a}$$

Kuna garaažis elutegevust ei toimu ning valgustuse kasutusaste on minimaalne, siis vabasoojuse hulgaks on edaspidistes arvutustes võetud 0 kW h/a.

Arvessevõetav vabasoojus

Arvessevõetav vabasoojus arvutatakse valemiga 22.

Õhutihe hoonekarp

$$Q_G=0,92 \times 4706=4330 \text{ kW h/a}$$

Soojusenergia ärakasutamiskordaja η_G on arvutatud PHPP tarkvaras ning selle väärtus sisetemperatuuril 23,5 °C on 92%.

Garaaž

$$Q_G=0,94 \times 179=168 \text{ kW h/a}$$

Soojusenergia ärakasutamiskordaja η_G on arvutatud PHPP tarkvaras ning selle väärtus sisetemperatuuril 19 °C on 94%.

Aastane neto soojusenergiavajadus

Vajatav energiahulk arvutatakse valemiga 23.

Õhutihe hoonekarp

$$Q_{H1}=Q_{L1}-Q_G=16570-4330=12240 \text{ kW h/a}$$

Garaaž

$$Q_{H2}=Q_{L1}-Q_G=4173-131=4005 \text{ kW h/a}$$

Kogu hoone neto kütteenergiavajadus energivajadus

$$Q_H=12240+4005=16245 \text{ kW h/a}$$

LISA 2 Tegeliku kasutusprofiili arvutuslik seadmete ja valgustuse poolt tarbitud elektrienergia nelja elaniku puhul (PHPP arvutus)

Application	Used ? (1/0)	Within the Thermal Envelope? (1/0)	Norm Demand	Utilization Factor	Frequency	Reference Quantity	Useful Energy (kWh/a)	Electric Fraction	Non-Electric Fraction	Electricity Demand (kWh/a)
Dishwashing	1	1	1,20 kWh/Use	1,00	65 /(P*a)	4,0 P	312	100%	0%	312
Cold Water Connection									0%	
Clothes Washing	1	1	1,30 kWh/Use	1,00	57 /(P*a)	4,0 P	296	100%	0%	296
Cold Water Connection									0%	
Clothes Drying with	1	1	3,50 kWh/Use	0,88	57 /(P*a)	4,0 P	698	100%	0%	698
Condensation Dryer							0		0%	
Energy Consumed by Evaporation	0	1	3,13 kWh/Use	0,60	57 /(P*a)	4,0 P	0		100%	
Refrigerating	0	1	0,78 kWh/d	1,00	365 d/a	1 HH	0	100%		0
Freezing	0	1	0,88 kWh/d	1,00	365 d/a	1 HH	0	100%		0
or Combined Unit	1	1	1,34 kWh/d	1,00	365 d/a	1 HH	489	100%		489
Cooking with:	1	1	0,20 kWh/Use	1,00	500 /(P*a)	4,0 P	400	100%		400
Electricity									0%	
Lighting	1	1	36 W	1,00	2,90 kh/(P*a)	4,0 P	412	100%		412
Consumer Electronic	1	1	120 W	1,00	0,55 kh/(P*a)	4,0 P	264	100%		264
Small Appliances, et	1	1	50 kWh	1,00	1,00 /(P*a)	4,0 P	200	100%		200
Total Aux. Electricity							755			755
Other:										
Elektrikeris	1	1	600				600			600
Elektriahi 2x	1	1	220				220			220
Välivalgustus	1	0	200				200			200
Total							4846 kWh			4846

Residual dampness
0,60

Percentage CFLs
50%

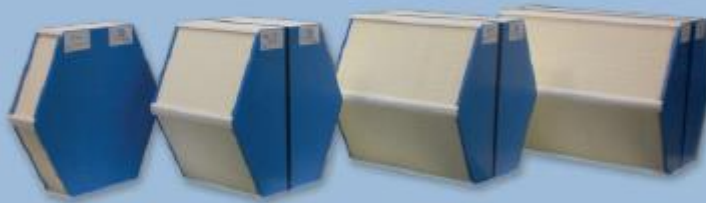
LISA 4 Niiskustagastusega soojusvaheti tehnilised andmed (Paul lueftung, entalpie)

ENTHALPIETAUSCHER

Hocheffizienter, feuchteübertragender Gegenstrom-Wärmetauscher mit selektiver Polymer-Membran-Folie

• MADE IN GERMANY •

Mit dem PAUL Enthaltetauscher wird im Vergleich zum Standard-Wärmetauscher nicht nur Wärme aus der Abluft zurückgewonnen, sondern zusätzlich auch ein großer Teil der Luftfeuchtigkeit. Damit sorgt dieser Feuchte-Wärmetauscher besonders in der kalten Jahreszeit für ein angenehmeres Raumklima, denn er verhindert ein zu starkes Austrocknen der Raumluft.



Funktionsweise:

- Der PAUL Enthaltetauscher ist in der Lage, Feuchtigkeit aus der Abluft in den frischen Zuluftstrom zu übertragen. Es handelt sich bei diesem Feuchte-Wärmetauscher der neuesten Generation um einen Enthaltetauscher mit einer Polymerfolie als Trennschicht der Luftströme für Zu- und Abluft.
- Für den Feuchtigkeitstransport wird das physikalische Grundprinzip der Diffusion von Wasserdampf durch die Porenstruktur einer speziellen Polymer-Membran (dpoint technologies) genutzt. Das Prinzip unterscheidet sich grundsätzlich von anderen feuchteübertragenden Rotations-Wärmetauschern oder Geräten mit Umluftbetrieb.
- Das Polymer ist aufgrund einer speziellen, antimikrobiellen Beschichtung (Microban®) undurchlässig für Mikroben aller Art. Somit ist die Hygiene auch dann in Wohnungen gewährleistet, wenn Abluft aus Küchen- und Sanitärbereichen über den Wärmetauscher geführt wird.
- Gegenüber dem Standard-Wärmetauscher sinkt der Wärmebereitstellungsgrad der sensiblen Wärmeübertragung etwas ab, jedoch wirkt die im Wasserdampf gespeicherte Energie eine verbesserte energetische Gesamtbilanz der Wärmerückgewinnung bei Lüftungsgeräten mit Enthaltetauscher.

Vorteile:

- Deutliche Erhöhung des Wohnkomforts, da neben der Wärme auch Feuchte zurückgewonnen wird. Der enthalpische Wärmebereitstellungsgrad liegt bei bis zu 120 %, dabei können 60-70 % der Feuchte zurückgewonnen werden.
- Bei allen Geräten neuerer Generation, die mit einem PAUL Standard-Wärmetauscher ausgestattet sind, ist ein Tausch dieses Wärmetauschers gegen einen Enthaltetauscher möglich.
- Durch die Eigenschaften der Polymer-Membran ist es möglich, Geräte mit Enthaltetauscher bei Außenlufttemperaturen bis zu -6°C frostfrei zu betreiben. Defrostheizung oder Erdwärmetauscher können daher bei Einsatz dieser effizienten Technologie in Regionen mit mäßig kaltem Klima entfallen.
- Der PAUL Enthaltetauscher ist sehr einfach zu reinigen.

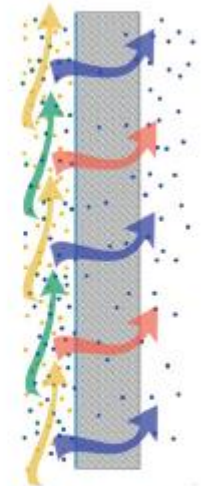
Fakten:

- hohe sensible und latente Übertragungsleistung
- kein Transfer von Gasen und Verunreinigungen
- antimikrobielle Eigenschaft der Membran, resistent gegen Schimmel und Bakterien
- mit Wasser auswaschbar
- frost- und wärmetolerant
- lange Lebensdauer (etwa 15 Jahre) bei permanent guten Übertragungswerten
- gutes Preis-Leistungs-Verhältnis

Technische Daten (gültig für Typ ERV366-H378-S, Parameter bei V = 143 m³/h):

- Temperatur-Änderungsgrad 80 %
- Feuchtegehalts-Änderungsgrad 70 % (nach DIN EN 308)
- Druckverlust 30 Pa
- Leckage bei 100 Pa < 1%
- Temperaturbeständigkeit - 25 °C bis 65 °C

PAUL Wärmerückgewinnung GmbH · August-Horch-Str. 7 · 08141 Reinsdorf · Deutschland
Tel. +49 (0) 3 75-30 35 05-0 · Fax +49 (0) 3 75-30 35 05-55 · E-Mail: info@paul-lueftung.de · Internet: www.paul-lueftung.net
Es gelten die jeweils gültigen Allgemeinen Geschäftsbedingungen.



dp dpoint technologies

Legende zur Abbildung:
• Wärme
• Feuchtigkeit
• Energie- und Stoffübertragungen
• Geräte

02.2013

LISA 5 Ventilationsadme Paul Focus (F) 200 tehnilised andmed (Paul lueftung)

FOCUS (F) 200

Zentrallüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung

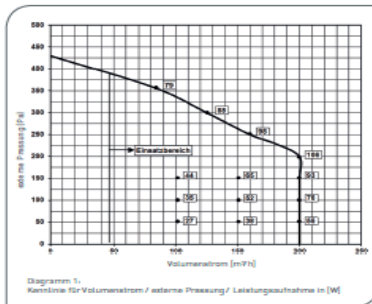


FOCUS (F) 200

Zentrallüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung



Kennlinien Leistungsdaten



Hinweis:
Die im Diagramm der p-V-Kennlinie abgebildeten Zahlenwerte geben die Leistungsaufnahme in [W] in den jeweiligen Betriebspunkten an und gelten für FOCUS 200 mit Standard-Wärmetauscher.

Sonstige Hinweise

- Anschluss von Bedienteilen und Komponenten:**
- 1,5 m CAT-5-Kabel zur Verbindung zwischen RJ-45-Buchse am Lüftungsgerät und RJ-45-Buchse der Adapterplatte im Lieferumfang enthalten
 - Zur Montage der Bedienteile Unterputzdose erforderlich
 - Steuerung: J-Y(S)Y 2x2x0,6 geschirmt, max. 25 m
 - Unterputzdose, Steuerung, Klemmdose bauseits

Einstellwerte der Lüfterstufen am LED-Bedienteil bezüglich Sollwertvorgabe:

Lüfterstufe LED-Bedienteil	Sollwertvorgabe (%)
1	17
2	25
3	40
4	53
5	68
6	83
7	100

PAUL - Die Passiv-Aktivisten



Seit Gründung durch Dipl.-Ingenieur Eberhard Paul im Jahr 1994 zählt das Unternehmen zu den Pionieren und Technologieführern in der Lüftungsbranche. Ausgangspunkt war bereits Anfang der neunziger Jahre die Idee eines neuen Wärmetauschers im Gegenstrom-Kanal-Prinzip. Von Anbeginn hat sich die westfälische Firma als Spezialist der hocheffizienten Wärmerückgewinnung in der Wohnraumlüftung verschrieben und bereits 1996 das erste Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung vorgestellt. Viele innovative Produktentwicklungen, Patente und Auszeichnungen folgten.

Für das Wohnraumlüftungsgerät THERMOS erhielt PAUL 2002 als erstes Unternehmen in Deutschland das Zertifikat „Passivhaus geeignete Komponente“ des Passivhaus-Institutes Dr. Wolfgang Feist in Darmstadt. 2009 bezug man den heutigen Firmensitz in Reinsdorf bei Zwickau. Die Firmenphilosophie konsequent fortsetzend wurde der neue Verwaltungstrakt in Passivhaus-Bauweise errichtet. Im Jahr 2010 brachte PAUL mit dem NOVUS 300 das Gerät mit der bis heute besten Passivhaus-zertifizierten Wärmerückgewinnung auf den Markt.

PAUL bietet europaweit eine Palette hochwertiger, Passivhaus-zertifizierter Geräte Made in Germany an und zählt zu den Branchenführern im Segment Wohnraumlüftung. 2014 feiert das rund siebzighöpftige Team der „Passiv-Aktivisten“ das 20jährige Gründungsjubiläum.

Technische Beschreibung

- Kompaktes Wärmerückgewinnungsgerät für die zentrale Komfortlüftung
- für Räume bis zu 150 m² Fläche
- Volumenstrombereich: 45 bis 200 m³/h
- Passivhaus-zertifizierter Wärmebereitstellungsgrad bis zu 91% bei einer Elektroeffizienz von 0,31 Wh/m³ (FOCUS 200)
- optional mit Feuchterückgewinnung (Enthalpietauscher)
- Montagevarianten: Wand hängend als linke oder rechte Geräteversion
- Serienmäßige Außenluft- und Abluftfilter der Filterklasse G4, optional Pollenfilter F7
- externes Bedienteil: TFT-Touchpanel mit Farbdisplay, optional: LED-Bedienteil
- Gehäuse aus verzinktem, pulverbeschichtetem Stahlblech, hochwertige Polypropylen-Innenauskleidung für hohe Wärmedämmung und guten Geräteschallschutz



TFT-Touchpanel mit Farbdisplay

- Funktionstasten:**
- Standby (abgedunkeltes Display), Leistungsaufnahme <1W
 - Lüfterstufen 1 - 3 (in 1 % Schritten programmierbar)
 - Abwesenheitsmodus (Intervall gesteuerte Lüfterstufe 1)
 - Stoßlüftung (Dauer zwischen 15 bis 120 min, individuell einstellbar)
 - Automatikbetrieb zeitgesteuert (individuell einstellbares Wochenzeitprogramm in 15 min. Schritten für jeden Wochentag)
 - Sensorautomatik, optional mit externen Sensoren (CO₂, Feuchte, Luftgüte)
 - Menü (Zugang zum Informations-, Einstellungs- und Setup-Menü)
 - Kontaktsensitiver Hilfestreit
- Anzeigen:**
- Text- und symbolgeführte Menüdarstellung
 - Filterwechselkontrollanzeige (Tage der Filterrestlaufzeit)
 - Fehlermeldung durch Meldesymbol
 - Klartextfehleranzeige im Menü Informationen

LED-Bedienteil

- Funktionstasten:**
- Standby (keine LED-Anzeige der Lüfterstufen), Leistungsaufn. <1W
 - Lüfterstufen 1 bis 7 (fest eingestellte Werte)
 - Stoßlüftung (Dauer 15 min, Stufe 7 fest eingestellt)
 - Betriebsart „nur Zuluft“ oder „nur Abluft“ (zur Sommerkühlung) Reset für Filterwechsel
- Anzeigen:**
- Filterwechselkontrollanzeige (LED-Anzeige über Button Reset Filterwechsel)
 - Fehlermeldung mittels LED-Codierung

Bedienung



FOCUS (F) 200

Zentrallüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung



FOCUS (F) 200

Zentrallüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung



Technische Daten

Gerätemaße: Breite x Höhe x Tiefe (mm): 752 x 542 x 355

Mögliche Einbautagen:

- waagrecht wandhängend
- waagrecht auf Montagegerahmen (optional), Rahmenhöhe verstellbar 280 - 320mm

Aufstellort: Frostfreier Innenbereich; Umgebungsbedingungen < 70 % r. F. bei 22 °C

Rohranschlüsse: 4 Luftanschlüsse DN 125 (Muffenmaß)

Kondensat: Beckenventil Außengewinde 1½"

Material: Gehäuse: verzinktes Stahlblech, pulverbeschichtet, RAL 7016 (Antrazitgrau)
Innenauskleidung: expandiertes Polypropylen EPP zur Wärme- und Schalldämmung

Wärmetauscher-Typ:

- Standard: Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher aus Kunststoff (Patent PAUL), Einfriergrenze < 0°C
- Optional (Modell „F“ oder als Zubehör): Enthalpie-Tauscher (Feuchte-Wärmetauscher) mit auswaschbarer Polymermembran, Einfriergrenze < -8°C

Gewicht: 25 kg

Filter: Außenluft: G4 oder optional F7 (Pollenfilter), Abluft: G4

Elektrischer Anschluss: 230 Vac, 50-60 Hz, anschlussfertig, Netzkabel mit Kaltgerätesteckerbindung

Anschlussleistung: 0,14 kW

Kabellängen:

- Netzkabel (230 Vac): 2 m (Lieferumfang)
- CAT-5-Kabel: 1,5 m (Lieferumfang)
- zwischen RJ-45 Wandsteckdose und Bedienmodulen/externen Komponenten betrieblig (bauseits)

Steuerung: Universalsteuerung

Schutzklasse/Schutzart: Schutzklasse I (nach EN 60335), Schutzart IP 30 (nach DIN 40050)

Ventilatoren: EC Radial-Ventilatoren mit integrierter Elektronik, V-konstant geregelt

Volumenstrom, externe Pressung, Leistungsaufnahme: Volumenstrombereich: 45-200 m³/h (Kennlinie siehe Diagramm 1)

Volumenstrom (m³/h)	Stromaufnahme (A)	Leistungsaufnahme (W)
45	0,35	20
100	0,70	40
135	0,85	51
200	1,10	77

Tabelle 1: Ausgewählte Betriebsparameter

Effizienzkriterium: (nach Passivhaus-Zertifikat) 0,31 W/m³/h (bei 135 m³/h und 100 Pa)

Wärmebereitstellungsgrad: (nach Passivhaus-Zertifikat) 91 % (bei 135 m³/h)

Schalldruckpegel: nach DIN EN ISO 3743-1 (Abstand 3m)

Volumenstrom (m³/h)	Schallleistungspegel (dB(A))
100	35
200	36

Tabelle 2: Schalldaten Gerätsbetrieb

Einsatzgrenzen: -20 °C bis 40 °C (betrifft im Wärmerückgewinnungsgerät integrierte Elektronikbaugruppen)

Einfrierschutz:

- Frostschutzregelung oder
- externe Defrosterheizung (Option) oder
- Erdwärmetauscher (bauseits)

Luftnachheizung:

- Warmwassernachheizregister oder
- elektrisches Nachheizregister (optional jeweils als externes Gerät)

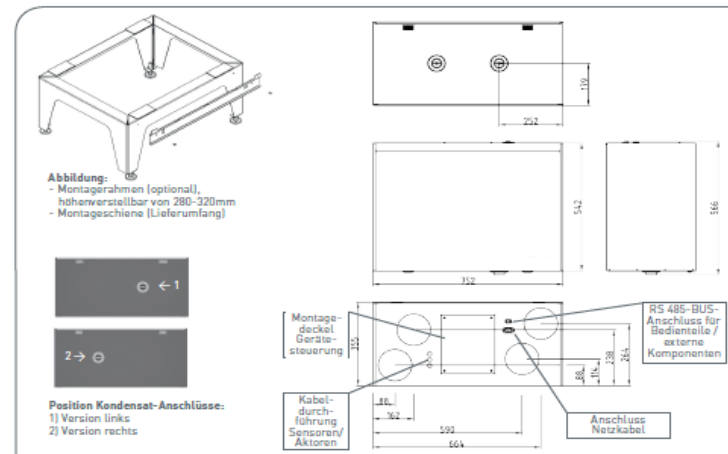
Optionen Steuerung:

- digitale V-D-Schnittstelle (z.B. Kontakt für AUS von extern)
- Anschlussmöglichkeit Staubdrückeraster
- Ansteuerung externe Defrosterheizung, Heizkreis oder Luft-Nachheizregister sowie elektrische Stellklappe am Erdwärmetauscher (Zusatzmodule erforderlich)

Bauformen



Maßskizzen



LISA 6 Akumulatsioonipaagi Flamco KPS 500 tehniline spetsifikatsioon (Flamco)

62 **Flamco Kombipufferspeicher KPS**

Artikelgruppe 3 **Flamco Kombipufferspeicher KPS 500**



Speicher zur Kombination mehrerer Heizsysteme wie Feststoff-, Öl- bzw. Gaskessel und Solaranlagen in Verbindung mit Warmwasserbereitung. Platzsparende Lösung. Ausgerüstet mit Fühlerklemmleiste und Fußhöhenverstellung für schnelles und sicheres Ausrichten. Kaltwassereintritt im unteren Speicherteil, so dass die Schichtung nicht gestört wird.

Zulässiger Betriebsüberdruck: Puffer-/Brauchwasserspeicher 3/10 bar, Rohrschlange 10 bar

Zulässige Betriebstemperatur: Puffer-/Brauchwasserspeicher 95 °C (368 K), Rohrschlange 110 °C

Hochwertige Emaillierung nach DIN 4753/3 im Brauchwasserspeicher inkl. Mg-Anode. Rostschutzgrundierung der Außenfläche des Pufferspeichers.

Preis inklusive Isolierung

Wärmeschutzisolierung: 80 mm Weichschaumisolierung als montagefreundlicher Bausatz

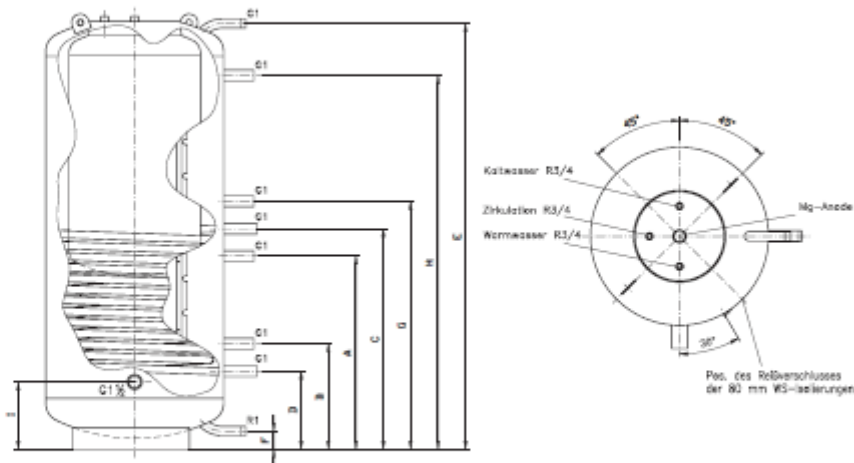
Zubehör: Flamco Speicher Zubehör (siehe Seite 67-70)

Typ	Nenninhalt		Einbringmaße [in mm] ohne Isolierung			WG	Preis pro Stück	Bestellnummer
	Gesamt [Liter]	Brauchwasser [Liter]	Ø	Höhe	Kippmaß			
KPS 500/150	500	150	650	1630	1700	SPE		19110

Standardfarben: orange RAL 2004
weiß RAL 9010
Sonderfarbe auf Anfrage

Bitte Farbe der Isolierung angeben!

Anschlusschema KPS 500 Liter



Typ	Heizfläche Rohrschlange [m ²]	Position der Anschlüsse [in mm]										Gewicht [kg]
		F	D	C	G	B	A	E	H	I		
KPS 500/150	2,0	65	285	805	905	385	705	1555	1365	245	170	

Certificate

Certified Passive House component
for cool, temperate climate, valid until 31.12.2014

Category: **Window Frame**
Manufacturer: **REHAU AG + Co**
91018 Erlangen, GERMANY
Product name: **REHAU GENE0 PHZ**

The following comfort criteria were used in awarding this certificate:

Given a U_g value of $0.70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ and a window size of 1.23 m by 1.48 m ,

$U_w = 0.80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \leq 0.80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Taking into account the installation based thermal bridges, and provided that the installation is, with regard to the thermal bridges, equal or better than shown in the data sheet, the window meets the following criterion.

$U_{w, \text{installed}} \leq 0.85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Thermal data of the window frame

	U _f -value [W/(m ² K)]	Width [mm]	Ψ _g [W/(mK)]	f _{Rsi=0.20} [-]
Spacer	Swisspacer*			
Bottom	0.79	161	0.030	0.80
Side/top	0.79	131	0.030	

*Spacers of lower thermal quality, especially those made of aluminium, lead to significantly higher thermal losses and lower temperature factors.

Further information see data sheet

www.passivehouse.com 0081wi03

Passive House Institute
Dr. Wolfgang Feist
64283 Darmstadt
GERMANY

Passive House Efficiency Class

phA
advanced component

phB
basic component

phC
certifiable component

not suitable for
Passive Houses

phB

CERTIFIED COMPONENT

Passive House Institute

Data Sheet REHAU AG + Co, REHAU GENE0 PHZ

Manufacturer REHAU AG + Co
 91018 Erlangen, GERMANY
 Tel.: +49 (0)9131/92-5553
 Email: erlangen@rehau.com, www.rehau.com



Description

Plastic frame

Thermal data for the window frame

	U-value [W/(m²K)]	Width [mm]	Ψ_g [W/(mK)]	$f_{R_{sL-0.20}}$ [-]
Spacer			Swisspacer*	
Bottom	0.79	161	0.030	0.80
Side/top	0.79	131	0.030	

Depending on the thermal losses through opaque elements, windows are categorised according to efficiency classes. These thermal losses include the losses through the frame, multiplied by its width, the thermal bridge at the edge bond as well as the length of the edge bond.

Please ask the manufacturer for a detailed report containing all calculations and results.

For further information, please visit www.passivehouse.com or www.passipedia.org.

* Spacers of lower thermal quality leading to higher thermal losses and lower temperatures.

www.passivehouse.com

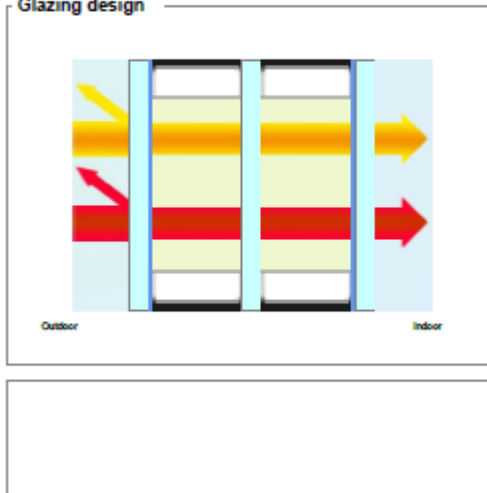
Passive House Institute Page 1/1

LISA 8 klaaspaketi tehnilised andmed (tootjalt saadud andmed)



Calumen® II 1.2.7
14 April 2014
Data base : SGG Benelux

Glazing design



	First glazing	Second glazing	Third glazing
Gas		Argon 90% 18.00mm	Argon 90% 18.00mm
Coating			PLANITHERM ULTRA N
First glass	PLANILUX 4.00mm	PLANILUX 4.00mm	PLANILUX 4.00mm
Coating	PLANITHERM ULTRA N		
Layer			
Coating			
Second glass			
Coating			

Manufacturing sizes

Nominal thickness : 48.0 mm
Weight : 30.0 kg/m²

Luminous factors (EN410-2011)

Transmittance : 71 %
Outdoor reflectance : 15 %
Indoor reflectance : 15 %

Energy factors (EN410-2011)

Transmittance : 42 %
Outdoor reflectance : 31 %
Indoor reflectance : 31 %
Absorptance A1 : 16 %
Absorptance A2 : 5 %
Absorptance A3 : 6 %

Solar factors (EN410-2011)

g : 0.50
Shading coefficient : 0.58

Thermal transmission (EN673-2011) - 0° related to vertical position

U_g : 0.5 W/(m².K)



Deniss Prišcepovs
GLASKON BIA
Glass
Pļenciemā 15
LV2167

Marupe/ Latvia

Phone :
Mobile :
Fax :
Deniss.Priscepovs@glaskon.lv

+37126575197

CALLUMEN II is a simulation software to calculate key performance of glass such as light transmission, solar factor or thermal insulation coefficient. Computed values are indicative and subject to change. They can not be used to guarantee performance of the products.

These values are calculated according to EN410-2011 and EN673-2011 standards. Tolerances are defined according to EN 1096-4 or ISO9050 standards. Nevertheless, user must check the feasibility of the associated products, in particular in terms of thickness and colour. Furthermore, it is his responsibility to check that the resulting combination of glazing meets regulatory requirements at national, local or regional level.

Calculation rules and functional output of Calumen II have been validated by TÜV Rheinland Quality Report 14020R-11-33705



• Calculation software
certified
• EN 410 and EN 673

LISA 9 Klaaspaketi vaheliistu Chromatech Ultra F tehnilised andmed (tootjalt saadud andmed)

April 2013 – No.16 – Revision Index 1

'WARM EDGE' WORKING PARTY




Data sheet Psi values for windows

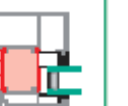
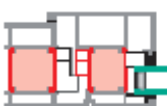



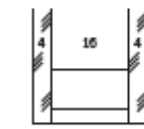
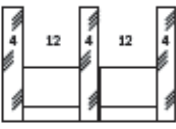
based on determination of the equivalent thermal conductivity of spacers by measurement



ROLLTECH A/S – an Alu-Pro Group Company

Rolltech A/S
W. Brüels Vej 20
DK - 9800 Hjørring

Product name	Spacer height in mm	Material	Thickness d in mm
Chromatech Ultra F 	6.9	Stainless steel Plastic	0.1 0.9

Representative frame profile	Metal with thermal break	Plastic	Wood	Wood / Metal
				
 Double-sheet insulating glass $U_g=1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$	0.048	0.039	0.039	0.043
 Triple-sheet insulating glass $U_g=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$	0.043	0.037	0.038	0.041

Two Box model Characteristic values	Space between panes in mm	$\lambda_{eq,2B}$ in W/mK	
		Box 1 · $h_1 = 3 \text{ mm}$	Box 2 · $h_2 = 6.9 \text{ mm}$
	Can be used for all spacer widths	0.40	0.28

Explanations

The equivalent thermal conductivity has been determined in accordance with the ift guideline WA-17/1 'Thermally improved spacers – Determination of the equivalent thermal conductivity by measurement'. The representative linear heat transfer coefficients calculated in this way (representative psi values) apply to typical frame profiles and glazing for the determination of the heat transfer coefficient UW of windows. They have been determined under the boundary conditions (frame profiles, glazing, glass mounting depth, back covering, primary and secondary sealant) defined in the ift guideline WA-08/2 'Thermally improved spacers – Part 1: Determination of the representative Psi value for window frame profiles'. This guideline also governs the area of validity and application of the representative psi values. In order to avoid rounding errors, the psi values in the data sheet have been given at 0.001 W/mK. The method for the arithmetical determination of the psi values has an accuracy of $\pm 0.003 \text{ W/mK}$. Differences of less than 0.005 W/mK are not significant. For further information, refer to the Bulletin 004/2008 'Compass 'Warm Edge' for Windows' of Bundesverband Flachglas.

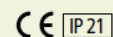
Erstellung der Kennwerte durch:

Hochschule Rosenheim
University of Applied Sciences





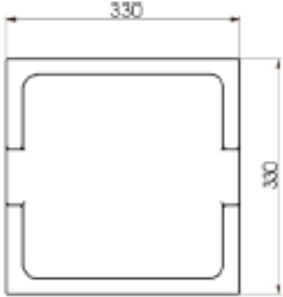
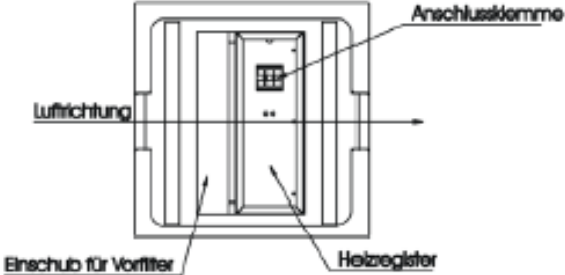

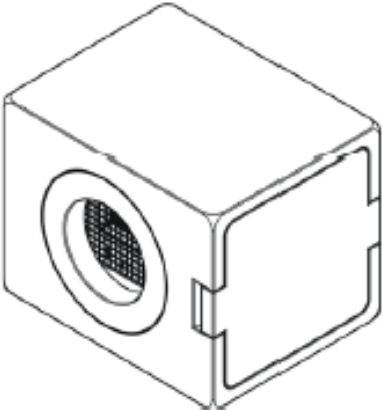
LISA 10 Maasoojuspumba Nibe F1245 tehnilised andmed (Nibe maasoojuspump)

TECHNICAL SPECIFICATIONS

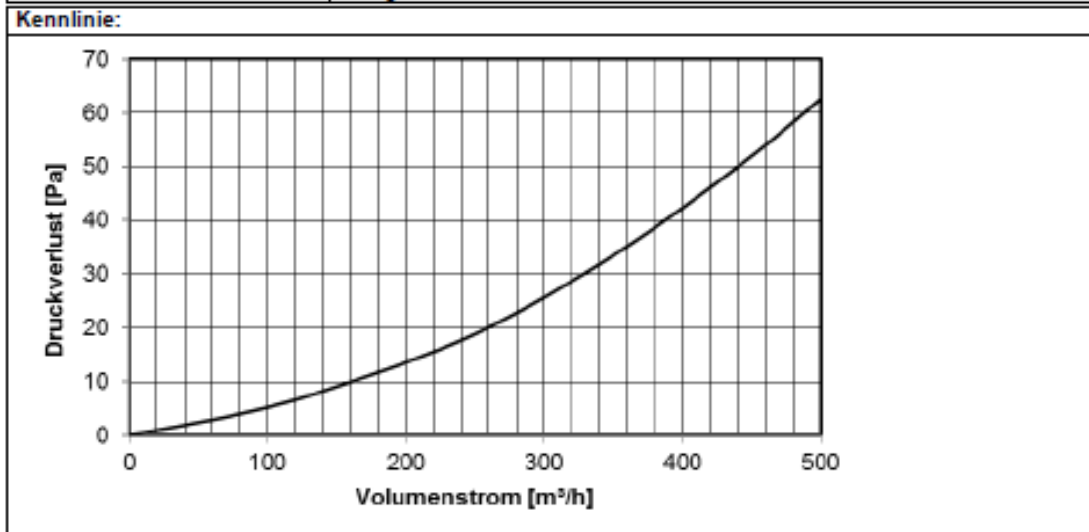


Type		5	6	8	10	12
Output data at nom flow <small>Refers to performance of heat pump without circulation pumps</small>						
0/35						
Specified output	kW	4.83	6.31	8.30	9.95	11.82
Cooling output	kW	3.74	5.03	6.64	7.97	9.35
Electrical output	kW	1.09	1.28	1.66	1.98	2.47
COP _{EN255}	-	4.44	4.93	5.01	5.03	4.79
0/50						
Specified output	kW	3.85	5.10	6.94	8.46	11.15
Cooling output	kW	2.62	3.63	4.98	6.08	7.86
Electrical output	kW	1.23	1.48	1.96	2.38	3.29
COP _{EN255}	-	3.13	3.46	3.54	3.39	3.39
Output data according to EN 14511						
0/35						
Specified output	kW	4.65	6.10	8.01	9.64	11.42
Electrical output	kW	1.13	1.35	1.74	2.13	2.66
COP _{EN14511}	-	4.12	4.51	4.59	4.52	4.30
0/45						
Specified output	kW	3.98	5.21	7.07	8.55	10.86
Electrical output	kW	1.21	1.46	1.93	2.36	3.20
COP _{EN14511}		3.29	3.58	3.66	3.63	3.39
Additional power	kW	1/2/3/4/5/6/7 (switchable to 2/4/6/9)				

LISA 11 Ventilatsiooniõhu eelkütteseadme DN160 tehniline spetsifikatsioon (Paul lueftung, defrosterelemente)

<p>Stand 20.03.14</p> <p>Anderungen im Sinne des technischen Fortschritts behalten wir uns vor.</p>	<h3>Technische Daten</h3> <h3>Iso-Defrosterheizung DN160/2000W</h3>	
<p>Beschreibung:</p> <p>Die Iso-Defrosterheizung DN160/2000W ist ein in die Außenluftleitung von Lüftungsanlagen integrierbares Luftvorwärmgerät, welches dem Frostschutz des Lüftungsgerätes dient und ist ausschließlich als Defrosterheizung zu verwenden. Das elektrisch betriebene PTC-Heizregister kann durch die PAUL-Universalsteuerung mit BUS-Thermostat oder durch ein autarkes Steuerungsmodul, z. B. mit PAUL-Universalthermostat, geregelt werden.</p> <p>Ein Temperaturregler und zwei STB dienen der Vermeidung unzulässig hoher Temperaturen des PTC-Heizelementes. Zum Verschmutzungsschutz ist ein G3-Filter dem PTC-Heizregister vorgeschaltet. Beim Einbau ist auf die richtige Durchströmungsrichtung gemäß Pfeilrichtung zu achten.</p> <p>Die Iso-Box aus EPP-Vollschaum ist wärmebrückenfrei und selbstisolierend. Der Filterwechsel und eine im Bedarfsfall notwendige Revision des PTC-Heizregisters wird durch einfache Abnahme des Deckels ermöglicht. Vor Öffnen des Deckels ist das Gerät von der Netzspannung zu trennen.</p> <p>Der elektrische Anschluss ist an einem mit FI-Schutzschalter ausgerüsteten Stromkreis vorzunehmen.</p>		<p>Ansicht:</p> 
<p>Maßskizzen:</p>		
		
		

Gerätedaten:	
Elektrischer Anschluss:	110...240 Vac, 50/60 Hz; 3 m Kabel mit verfestigten Aderenden
Heizleistung:	max. 2000 W
Anlaufstrom:	max. 10 A
Sicherheitskomponenten: (integriert im Laststromkreis des PTC-Heizregisters)	1x Temperaturregler zur Maximaltemperaturbegrenzung; 1x STB selbsttätig rückstellend; 1x STB nichtselbsttätig rückstellend
Schutzart	IP 20
Luftvolumenstrom:	max. 500 m ³ /h
Anschluss Luftleitungen:	DN 160, beidseitig Muffenmaß
Filter:	G3
Gewicht:	4,5 kg



Hinweis zur Regelung:	
PAUL-Universalsteuerung:	<ul style="list-style-type: none"> Ansteuerung durch BUS-Thermostat für WRG mit PAUL-Universalsteuerung
Autarkes Steuerungsmodul:	<ul style="list-style-type: none"> Ansteuerung durch Universalthermostat oder durch sonstige Lüftungsgerätesteuern mit Freigabekontakt Möglichkeiten für Freigabekontakt: Schalter, Strömungswächter, übergeordnete Leittechnik oder Freigabesignal von Lüftungsgerät

Einsatzkriterien Iso-Defrosterheizung als Frostschutz für WRG NOVUS (F) 450:					
	WRG-Typ	Frostschutz-Modus	Maximaler Luftvolumenstrom [m ³ /h]		
			350	400	450
Minimale Außentemperatur [°C]	NOVUS 450	sicher	- 17	-15	- 13
		eco	- 19	- 17	- 15
	NOVUS F 450	sicher	- 24	- 22	- 20
		eco	- 27	- 25	- 23

LISA 12 Garaažiukse tehnilised näitajad (Tootjalt saadud andmed)

REPORT

Date Nov 16, 2005 Reference 0402-CPD-407015 Page 2 (6)



1 Test of fully assembled Door

1.1 Wind Load

Test report SP No. P403429, dated Aug 26, 2005

Door panel type	Wind load Class	Maximum pressure [Pa]
ThyssenKrupp-Hoech covered, non fingersafe	4	-
ThyssenKrupp-Hoesch covered t=40 mm fingersafe	3	-

1.2 Determination of air permeability

Test report SP No. P403429, dated Aug 26, 2005

Door panel type	Air permeability class
ThyssenKrupp-Hoech covered, non fingersafe	4
ThyssenKrupp-Hoesch covered t=40 mm fingersafe	4

1.3 Resistance to water penetration

Test report SP No. P403429, dated Aug 26, 2005

Door panel type	Water penetration class	Maximum pressure [Pa]
ThyssenKrupp-Hoesch covered t=40 mm with: all windows Cylinder lock no. F	3 0	150 Pa -
ThyssenKrupp-Hoech covered, non fingersafe	2	-
ThyssenKrupp-Hoesch covered t=40 mm fingersafe	3	70 Pa

1.4 Thermal resistance

Test report SP No. P403429, dated Aug 26, 2005

Door panel type	Thermal transmittance, W/(m ² K)					
	p	pw	pd	pwd	g	gd
ThyssenKrupp-Hoesch	1.2	1.2	1.3	1.3	-	-

p = Door with covered panels only
 pw = covered panels with windows
 pd = covered panels with a pass door
 pwd = covered panels with windows and a pass door
 g = fully glazed door
 gd = glazed door with a pass door



LISA 13 Toa ja tuulekoja vahelise ukse tehnilised andmed (Tootjalt saadud andmed)



Martin Polikarpus

Tel: 5814 5065

martin.polikarpus@gmail.com

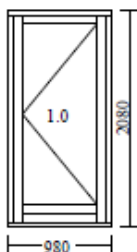
Kaupäev: 18.01.2013

Pakkumine nr. 3405213

Välisuks 2xklaaspaketiga

Positsioon : 1 Kogus: 1 Ühiku hind:EUR 558,10 Summa:EUR 558,10
Laius/Kõrgus: 980 x 2080

Väljapoole avatav
COMBI puituks
vaade väljast



1 Välisuks 3 punkti lukustusega (FIX 2151),parem v.

LUKK SARJATUD KOODI JÄRGI:

Viimistlus: RAL7016 Anthracite grey

Raamil: RAL7016 Anthracite grey

2k4karast+4karast Plth.Fut.N-18Ar, hall SWS

Kombineeritud tamme-alupakk

(1.0) Südamikukomplekt Assa 601, matt kroom

(1.0) Käepide Epok 1956, matt kroom

Alumiinium veenina värvitud

RAL7016 Anthracite grey

(1.0) Hinged värvitud

RAL7016 Anthracite grey

(1.0) Lukud sarjatud

Lengi sügavus: 116 mm

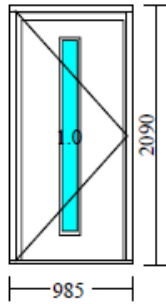
Toote soojusjuhtivus: $U_w = 1,34 \text{ W/m}^2\text{K}$

Toote keskmine kaal (kg): 57,65

LISA 14 Välisukse tehnilised andmed (Tootjalt saadud andmed)

Positsioon : 4 Kogus: 1 Ühiku hind: EUR 797,60 Summa: EUR
Laius/Kõrgus: 985 x 2090

Väljapoole avatav
SW11 puituks
vaade väljast



1 Välisuks 3 punkti lukustusega (FIX 2151), vasak v.

KLAASIAVA 208x1743mm

NÄHTAV AVA: 174x1709mm

Viimistlus: RAL7016 Anthracite grey

Raamil: RAL7016 Anthracite grey

Pöördavanevad hinged värvitud, RAL7016

Ukseleht (68mm), spooniga, klaasiga (SP0018_3)

RAL7016 Anthracite grey

Tammest uksepakk (tüüp 2503)

(1.0) Südamikukomplekt Assa 601, matt kroom

(1.0) Käepide Epok 1956, matt kroom

(1.0) Lukud sarjatud

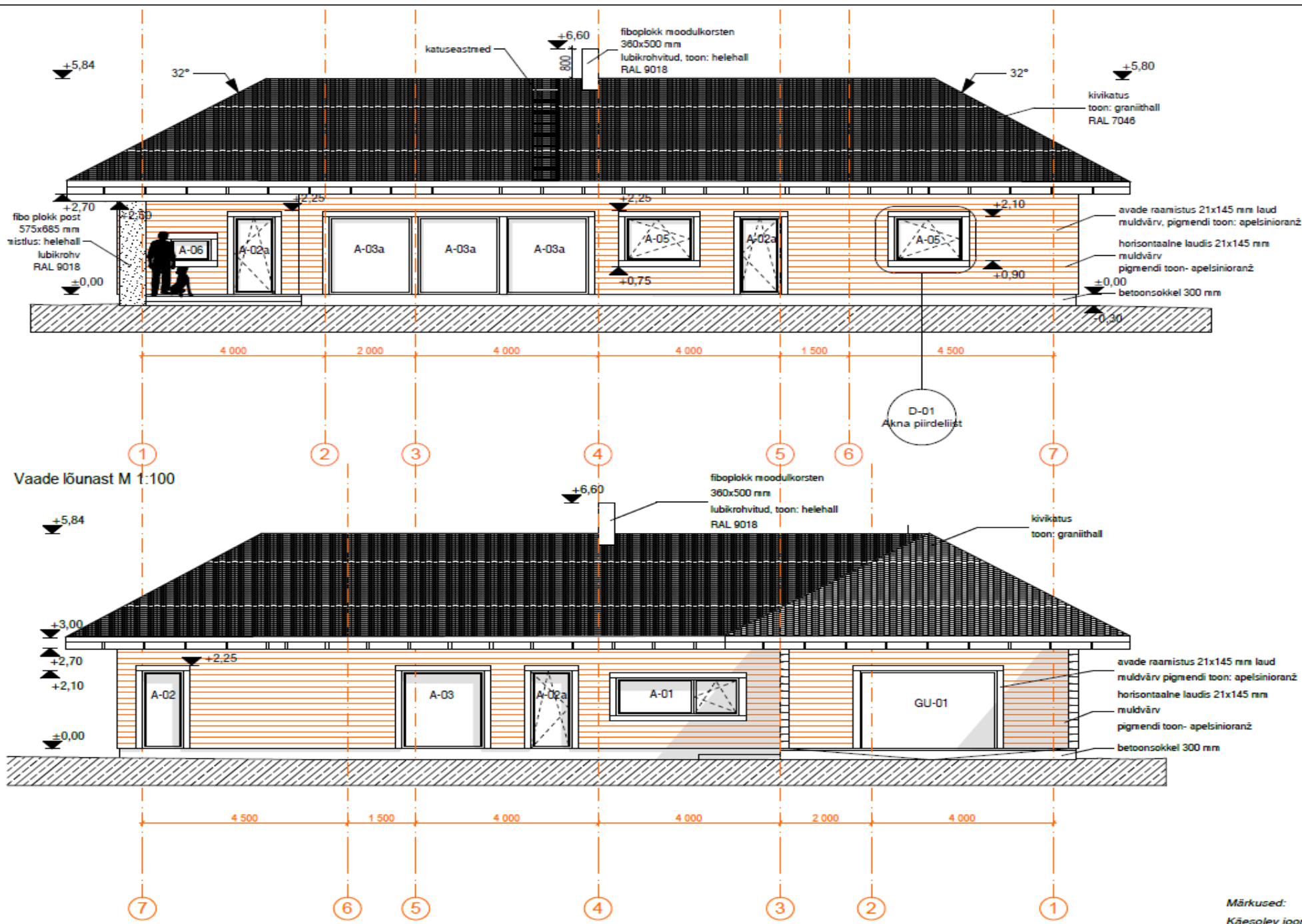
Klaaspakett 3K4Pl.Ft+4+4Pl.Ft-14Ar/14Ar, hall SWS

Lengi sügavus: 92 mm

Toote soojusjuhtivus: $U_w = 0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$

Toote keskmine kaal (kg): 52,1

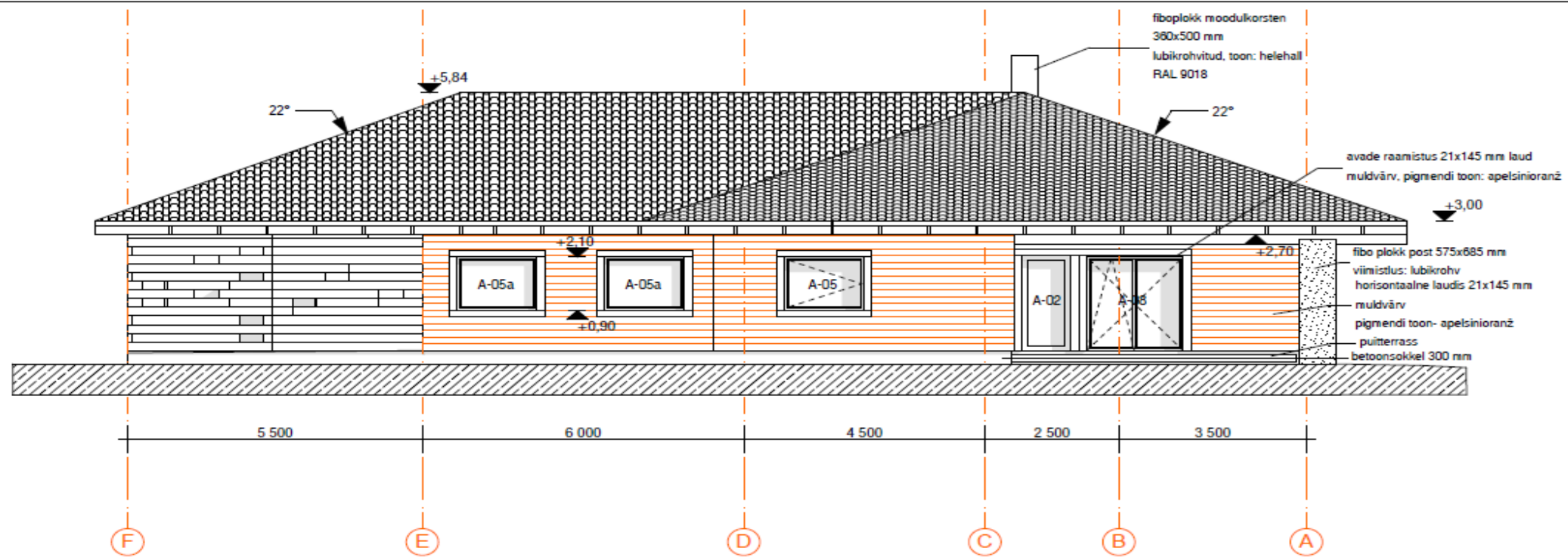
LISA 15 Hoone vaated lõunast ja põhjast



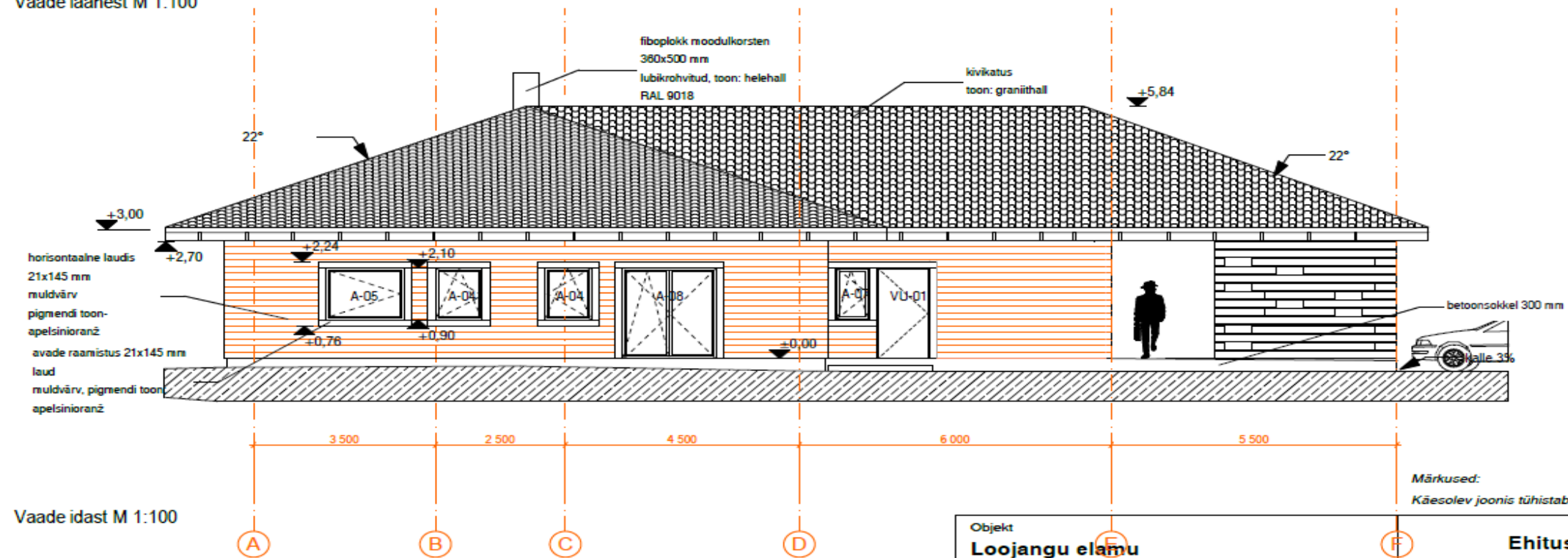
Märkused:
Käesolev joonis tühistab kõik varasemad sama joonisenumbriga joonised

Objekt Loojangu elamu		Ehitusprojekt		Stadium eelprojekt
Objekti aadress Loojangu, Vana-Kuuste küla, Kambja vald, Tartumaa	Arhitektid Kaidi Öis diplomi nr. MK 000188 Jaan Tiidemann, EAL arhitekt V	Joonise nr A.08	Joonise nimi Vaated 1	Mõõtkava 1:100
Tellija Martin Polikarpus		Töö nr. AE001-2011	Kuupäev 23.12.2011	Lk. nr A.08

LISA 16 Hoone vaated idast ja läänest



Vaade läänest M 1:100

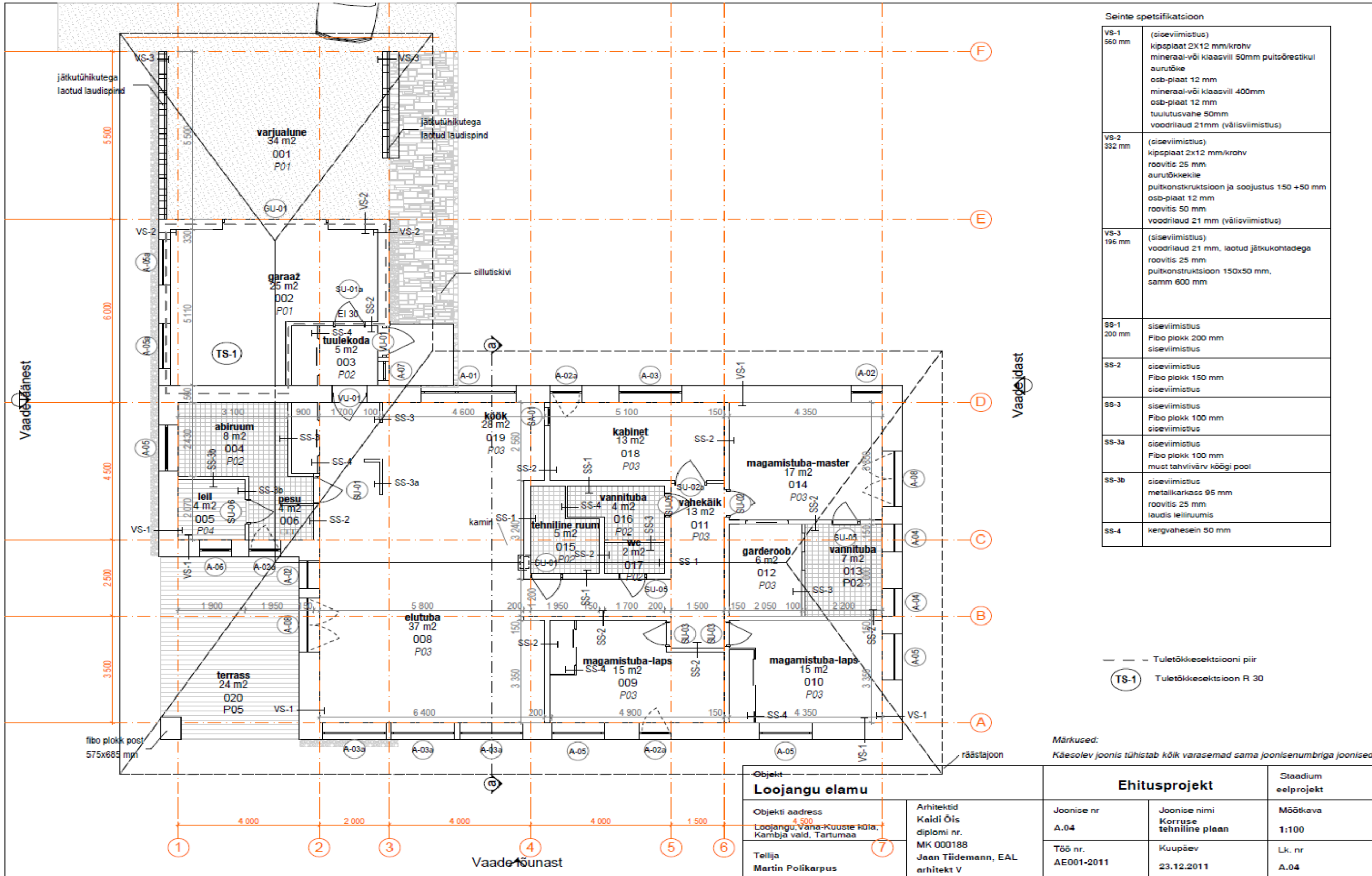


Vaade idast M 1:100

Märkused:
Käesolev joonis tühistab kõik varasemad sama joonisenumbriga joonised

Objekt		Ehitusprojekt		Staadium
Loojangu elamu				eelprojekt
Objekti aadress	Arhitektid	Joonise nr	Joonise nimi	Möötkava
Loojangu, Vana-Kuuste küla, Kambja vald, Tartumaa	Kaidi Öis diplomi nr. MK 000188	A.09	Vaated 2	1:100
Tellija	Jaan Tiidemann, EAL arhitekt V	Töö nr.	Kuupäev	Lk. nr
Martin Polikarpus		AE001-2011	23.12.2011	A.09

LISA 17 Hoone esimese korruse plaan



Seinte spetsifikatsioon

VS-1 560 mm	(siseviimistlus) kipsplaat 2x12 mm/krohv mineraal- või klaasvill 50mm puitsõrestikul aurutõke osb-plaat 12 mm mineraal- või klaasvill 400mm osb-plaat 12 mm tuulutusvahe 50mm voodriaud 21mm (välisviimistlus)
VS-2 332 mm	(siseviimistlus) kipsplaat 2x12 mm/krohv roovitis 25 mm aurutõkketile puitkonstruktsioon ja soojustus 150 +50 mm osb-plaat 12 mm roovitis 50 mm voodriaud 21 mm (välisviimistlus)
VS-3 196 mm	(siseviimistlus) voodriaud 21 mm, laotud jätkuotadega roovitis 25 mm puitkonstruktsioon 150x50 mm, samm 600 mm
SS-1 200 mm	siseviimistlus Fibo plokk 200 mm siseviimistlus
SS-2	siseviimistlus Fibo plokk 150 mm siseviimistlus
SS-3	siseviimistlus Fibo plokk 100 mm siseviimistlus
SS-3a	siseviimistlus Fibo plokk 100 mm must tahvlivärvi köögi pool
SS-3b	siseviimistlus metallkarkass 95 mm roovitis 25 mm laudis leiliruumis
SS-4	kergvahesein 50 mm

--- Tuletõkkesektiooni piir
 (TS-1) Tuletõkkesektioon R 30

Märkused:
 Käesolev joonis tühistab kõik varasemad sama joonisenumbriga joonised

Objekt Loojangu elamu		Ehitusprojekt		Stadium eelprojekt
Objekti aadress 4.500 Loojangu, Vana-Kuuste küla, Kambja vald, Tartumaa	Arhitektid Kaidi Õis diplomi nr. MK 000188 Jaan Tiidemann, EAL arhitekt V	Joonise nr A.04	Joonise nimi Korruse tehniline plaan	Möötkava 1:100
Tellijä Martin Polikarpus		Töö nr. AE001-2011	Kuupäev 23.12.2011	Lk. nr A.04

