



Renewable Energy and Building Exhibitions
in Cities of the Enlarged Europe



Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatõhususega hoone ehitamisel

Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatõhususega hoone ehitamisel

Koostaja: PassiveHouse OÜ
Tartu Ülikooli spin-off

Tallinna Linnavaarameti tellimisel REBEECE
(*Renewable Energy and Building Exhibitions
in Cities of the Enlarged Europe*) projekti
raames koostatud aruanne

Autorid: Tõnu Muring, PhD
Jaanus Hallik, MSc
Ago Siiner
Margus Valge, MSc

Toimetaja: Helen Hirv

Küljendaja: Aive Maasalu

Euroopa Liidu *Intelligent Energy Europe* programmi eesmärk on luua paremaid eeldusi uute tõhusa energiakasutusega lahenduste levikuks Euroopas.

Programmi REBECCE projekt on suunatud hoonete valdkonna uute võimaluste tutvustamisele, sealjuures kõrge tõhususe näitena **passiivmaja** lahenduste ja kasutusvõimaluste selgitamisele.

Käesoleva aruande eesmärk on selgitada passiivmajatehnoloogia tausta ja olemust ning kirjeldada aspekte, millele tuleks selliste hoonete **kvaliteedi tagamiseks** tähelepanu pöörata.

ISBN 978–9949–19–351–6

Tartu Ülikooli Kirjastus
www.tyk.ee

Sisukord

Passiivmajatehnoloogia	5
Mõisted	5
Taust	5
Passiivmaja kontseptsioon	5
Funktsioonist lähtuv definitsioon	6
Olulised aspektid passiivmaja kavandamisel	7
Passiivmajastandardiga hoone tüüpilised komponendid	8
Passiivmajastandard. Kriteeriumid eluhoonetele	9
Sertifikaat	9
Mis on standardkasutus?	9
Suvine päikesekaitse ja palavuse vältimine	10
Arvutusmeetod	10
Passiivmaja kvaliteedi fikseerimiseks vajalikud lähteandmed	11
Passiivmajatehnoloogia levik Euroopas	13
Passiivmaja kriteeriumitele vastav hoone Eesti kliimas	17
Kvaliteedi tagamine	30
Kvaliteedi tagamise protsess	30
Kokkuvõte: kontrollnimekiri	30
Paiknemine ja geomeetria	33
Hoonekarp: funktsionaalsed eesmärgid passiivmajade puhul	38
Külmasillad	39
Õhupidavus	44
Aknad	48
Ventilatsioon	53
Suvetemperatuuride kontroll	55
Valgustatus loomuliku valgusega	59
Soojuslik päikeseküttesüsteem	62
Tagasiside toimimisest: seire	66
Allikad	69
Lisad:	
Lisa 1. Hoone ehitamisest tulenev mõju keskkonnale, tüüpilised indikaatorid	70
Lisa 2. Ruumi õhu ja sisekliima kvaliteet, SBM-2008 väljavõte	71

Passiivmajatehnoloogia

Mõisted

Passiivmaja (*passive house*) – hoone, milles kõrget mugavust tagavat temperatuuri hoitakse nii talvel kui suvel äärmiselt väikese energiavajadusega; kõrge siseõhu kvaliteet ja soojuslik mugavus tagatakse ruumide neto küttevajaduse juures vähem kui 15 kWh/(m² a) ja primaarenergiavajaduse juures, mis sisaldab ka sooja vee ja majapidamisseadmete energiavajaduse, alla 120 kWh/(m² a)⁽¹⁾.

Energiatõhus hoone (*low-energy house*) – üldmõiste; viitab, et energiatõhusus on kõrgem kui energiatõhususe miinimumnõuetega ette nähtud; väljendab tüüpiliselt energiatõhususe taset, kus ruumide neto küttevajadus on 30–70 kWh/(m² a). Riigiti on eeldusandmed ja arvutusmeetodid tavaliselt erinevad (ühtset standardit ei ole), seega ei saa tulemusi üks-ühele võrrelda. Arv millega *low energy house* on defineeritud, on olnud ajas muutuv – varasem tase 70 kWh/(m² a) on praeguseks mitmete riikide miinimumnõue; praegu on Euroopas tüüpiliseks tasemeks ruumide neto küttevajadus 40 kWh/(m² a).

Taust

Hoonete energiavajadust ja sellega kaasnevat keskkonnamõju on püütud vähendada alates 1970-ndatest aastatest. Nn *low-energy house* arendused ei saavutanud soovitud eesmärki. Sammhaaval üksikute komponentide osas tehtud parendused ja taastuvate allikate (nt päikesepaneelide) järjest suurem kasutamine hoone juures tõstis kiiresti selle ehitusmaksumust. Energiavajaduse vähenemine ei olnud aga nii märkimisväärne, et tehtud kulutusi tasa teha. Lisaks ei pööratud tähelepanu õhuvahetuse lahendamisele. Parematest piiretest tingitud infiltratsiooni õhuvahetuse vähenemine põhjustas liigse niiskuse kondenseerumise külmematele välisseinte osadele ning tekkisid hallituse ja siseõhu kvaliteedi (IAQ – *indoor air quality*) probleemid. Ehitusfüüsikaliselt ei olnud lahendused pädevad ja energiatõhususe temaatikal oli sellest tulenevalt pikka aega negatiivne pitser.

Passiivmaja kontseptsioon

Vastuseks neile probleemidele püüti arendada kontseptsiooni, mis lähtuks maja kui terviku toimimisest ja leiaks võimaluse **hea või senisest isegi parema siseõhu kvaliteedi** tagamiseks koos minimaalse energiavajaduse ja ehitusmaksumusega.

Passiivmaja põhiliseks ideeks on sellest tulenevalt:

Tõstes oluliselt hoone energiatõhusust, on võimalik küttesüsteemi radikaalselt lihtsustada – see loob teatud taseme saavutamisel võimaluse investeringuid vähendada.

¹ Kasutades Euroopa keskmist väljendavaid primaarenergiategureid (GEMIS andmebaas) ja PHPP meetodikat

Selle eesmärgi saavutamist mõjutavad kaks aspekti: 1) nõuded soojuslikule mugavusele seotuna kiirgusliku asümmeetriaga, 2) vajalik küttekooormus.

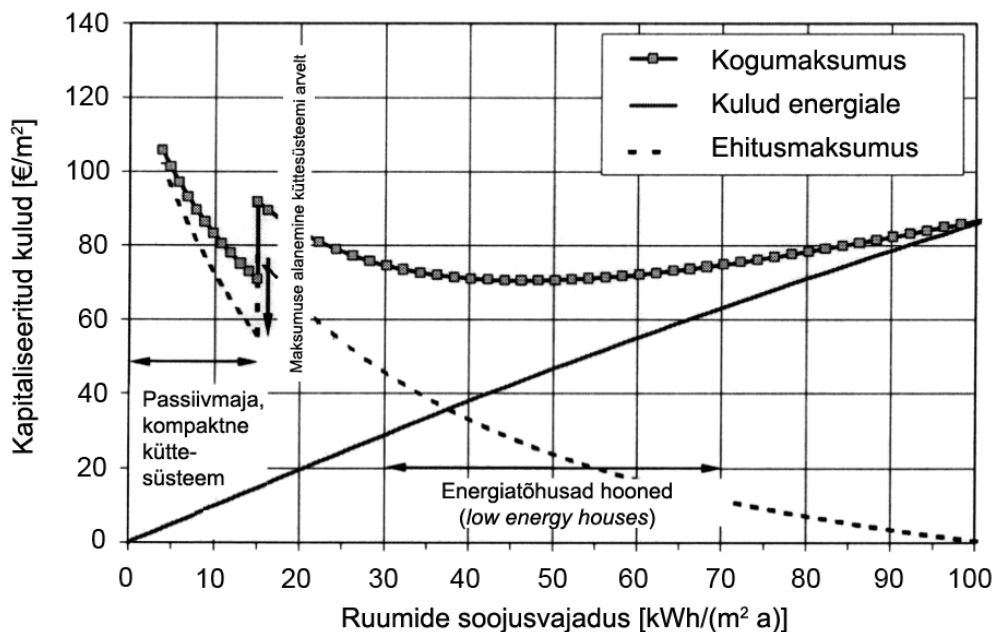
Esiteks. Soojuse laiali jagamise süsteemi saab teha lihtsama, kui välisseinte ja akende sisepinna temperatuurid on piisavalt lähedased ruumiõhu temperatuurile. See võimaldab saavutada soojusliku mugavuse, ilma et radiaatoreid oleks paigaldatud välisseinte või akende juurde.

Teiseks. Kui ruumide soojusvajadus on piisavalt väike, tekib võimalus, et soojuste majas laiali jagamiseks kasutatakse üksnes ventilatsioonisüsteemi, mis toob ruumidesse hea õhukvaliteedi tagamiseks vajaliku hulga õhku. Seega tekib võimalus jätta eraldi radiaatoritel baseeruv küttesüsteem välja ehitamata – küttelehenduse saab teha väga kompaktsena ja sellest tekib potentsiaal rahaliseks kokkuhoiduks.

Funktsioonist lähtuv definitsioon

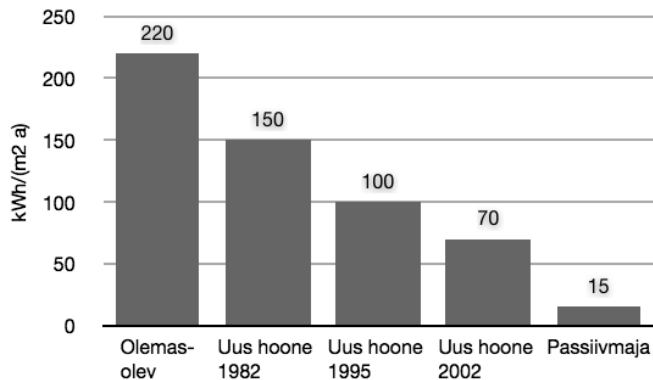
Külma kliima olukorras kulub suurem osa hoones vajatavast energiast ruumide kütteks. Kui küttekooormust vähendada soojustuse lisamise, ventilatsiooni soojustagastuse, kõrge soojapidavusega akende, passiivse päikeseenergia kasutamise jt meetoditega, on võimalik küttesüsteemi lihtsustada samm-sammult. Jõudes aga küttekooormuse piirini 10 W/m^2 , on küttesüsteemi võimalik lihtsustada radikaalselt – ruumide kütteks saab sel juhul kasutada ventilatsioonisüsteemi (sõltumata kliimast; külmemas kliimas tuleb lisa soojakadude vältimiseks projekteerida mõnevõrra parem soojusisolatsioon või ventilatsiooni soojustagastus).

Ventilatsiooni peamine ülesanne on tagada hea siseõhu kvaliteet. Kui maksimaalne küttekooormus jääb alla 10 W/m^2 , saab ventilatsioonisüsteem, aga jagada laiali ka soojuste, mida ruumide kütteks on vaja. Sellest piirist alates tekib võimalus küttesüsteemi oluliselt lihtsustada ja sellega majanduslikku efekti saavutada (vt joonis).



Joonis 1. Tüüpiline seos kapitaliseeritud kulude ja ruumide neto küttevajaduse vahel, Saksamaa ridaelamu näide. Keskse tehnosüsteemina on kasutatud passiivmaja kompaktset (Schnieders 2004).

Tõhususe suurendamisel 15 kWh/(m² a) piirist edasi lisaefekti peaaegu ei teki; ehitusmaksumus võib suureneeda hüppeliselt; “null-küttevajadusega” hoone ei oma praktikas seetõttu tähendust. Eesmärk võib olla küll „nullenergiamaja“ või „pluss-energiamaja“, mis tähendab, et passiivmaja tasemel hoonet arendatakse edasi viisil, et sellele lisatakse võrguühendusega elektrit tootvaid päikesepaneele määral, mis katavad maja küttevajaduse ja ka kõik muud energiavajadused (aasta kokkuvõttes). Selline lahendus eeldab, et suvel toodetud elektrit on võimalik võrku müüa ja tarbitud elektri osas saab teha tasaarvelduse.



Joonis 2. Ruumide neto küttevajadus eluhoonetes – Saksamaa erinevate ehitusstandardite võrdlus (Schnieders 2004); olemasolevate hoonete puhul on olukord sarnane ka Eestis.

Olulised aspektid passiivmaja kavandamisel

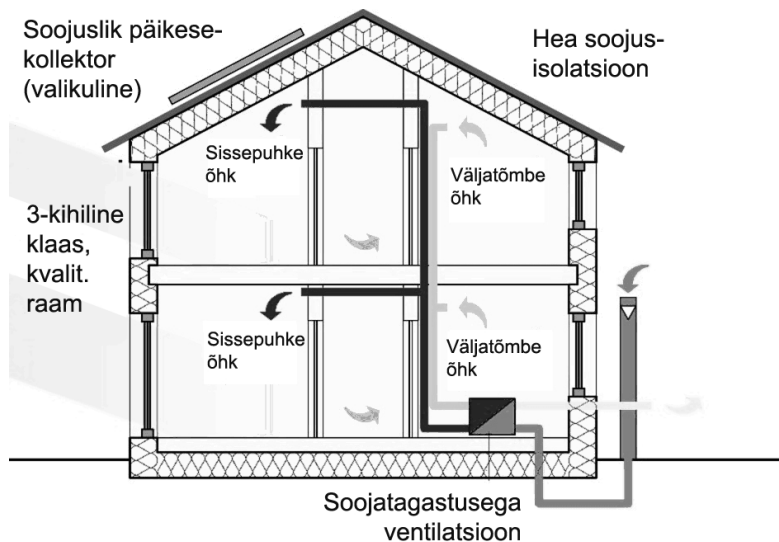
- Hoone mugavus peab olema kõrge. Kogemused seniste passiivmajadega näitavad, et need on kasutajale mugavad:
 - tänu väga heale soojaisolatsioonile kõikides välispiiretes on ruumides ühtlane soojuskiirguskliima (kiirgustemperatuuri asümmeetria ei ole tuntav);
 - külma välispiirde (klaaspinna) tasakaalustamiseks ei ole küttekeha vajalik; ka sissetoodav värske õhk on sellise temperatuuriga, et tuuletõmbus ja ebamugavad temperatuurikihistumised on välistatud;
 - kvaliteetsete ventilatsiooniseadmete ja õigete õhuhulkade valimisega saavutatakse väga hea õhukvaliteet.
- Lahendus peab olema lihtsam kui see mida, kasutatakse praegu tüüpilistes hoonetes (võrreldes nt aktiivse kliimasüsteemi väljaehitamise). See loob ka eeldused, et lahendused on hinnalt vastuvõetavamad.
- Tõhusust on oluliselt lihtsam tõsta suuremates (kompaktsemates) hoonetes. Sama ruumala kohta on neis sooja juhtivat välispiiret vähem (soojustust on vaja sama tulemuse saamiseks vähem). Seetõttu esitatakse ka nt miinimumnõuded korrusmajadele ja väikestele elamutele enamasti erinevalt.
- Hoone kompaktsuse roll väga kõrge energiatõhususe saavutamisel on suur. Esimesed eskiisotsused ja valitud hoone kontseptsioon moodustavad seega olulise osa efektsest lahendusest.
- Kliimamõju: Põhjapoolsem kliima tähendab, et sama standardiga hoone loomiseks tuleb soojakadude vähendamiseks luua sise- ja väliskeskkonna vahele parem barjäär. Standardite olemus ei muutu. Kliima arvestamiseks kasutatakse standardite põhjal koostatud kliimaandmeid (nt TRY – Test Reference Year).

- Eesti arvutuste puhul kasutatakse Tõravere ilmajaama pikaajaliste andmete põhjal koostatud TRY andmestikku (Eesti energiaarvutuste baasaastat; Kalamees ja Kurnitski 2006).
- Oluline on kavandada kaitse suvise päikesekiirguse vastu; passiivmajastandardiga eluhoones tüüpiliselt aktiivset jahutust ei kasutata.
- Väga väike energiavajadus ja selle ühtlasem jaotus aasta lõikes loovad ühtlasi head eeldused taastuvate energiaallikate osakaalu tõstmiseks.

Passiivmajastandardiga hoone tüüpilised komponendid

Passiivmajastandardi realiseerimine eeldab oluliselt tõhusamate komponentide kasutamist (vt skeem joonisel):

- Soojustamine: U-arv alla $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, eraldiseisvatel pereelamutel tüüpiliselt alla $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$; (15–20 cm asemel on soojustust 20–40 cm).
- Külmasillavabad sõlmed ($\Psi \leq 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$).
- Rõhutestiga tõendatud hoonekarbi hea õhupidavus: 50 Pa rõhuerinevuse korral on õhuvahetuskordsus EN 13829 järgi väiksem kui 0,6 1/h.
- Klaaspinnad: U-arv EN 673 järgi alla $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$; neto-soojatootluse võimaldamiseks talvel on klaasil kõrge päikesefaktor $g \geq 50\%$ (EN 410 järgi).
- Aknaraamid: U-arv EN 10077–2 järgi alla $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$.
- Mehaaniline põhiventilatsioon koos kõrge soojustagastuse määraga ($\eta \geq 80\%$ PHI⁽²⁾ sertifikaadi järgi (DIBT⁽³⁾) või EN 308 standardi järgi mõõdetud tulemusest lahutatud 12%); väike elektritarve ($\leq 0,45 \text{ Wh}/\text{m}^3$ juhitud õhuhulga kohta), suvel tüüpiliselt akende kaudu tuulutamine ja jahutamine.
- Võimalikult väikesed soojakaod sooja tarbevee tootmisel ja jaotamisel.
- Väga tõhusate elektriseadmete kasutamine.



Joonis 3. Passiivmaja põhimõtteskeem (PHI).

Komponentidest üksi aga passiivmajastandardi saavutamiseks ei piisa. Energeetilises mõttes kvaliteetse ehk energiatõhusa hoone projekteerimisel on oluline mõista, et hoone on terviklik süsteem. Hoone kavandamise erinevad aspektid on omavahel

² PHI – Passivhaus Institut Darmstadt meetod ventilatsiooniseadmete tõhususe kirjeldamiseks ja vastav sertifikaat.

³ DIBT – Deutsches Institut für Bautechnik.

seotud ning seetõttu ei ole võimalik enamasti vaid üksikute aspektide järgi optimaalseid projekteerimisotsuseid teha.

Keskne roll on integreeritud projekteerimisel, kus võetakse arvesse komponentide vahel toimivaid vastastikuseid seoseid.

Integreeritud projekteerimise ja hoone energiakasutuse modelleerimise eesmärk on tagada hoonekarbi ja tehnosüsteemide terviklik käsitus. Hoone energiakasutuse modelleerimisel analüüsitakse üheaegselt kõiki energiavoogusid, mis hoonekarp/tehnosüsteem kompleksis tekivad, sellisel detailsuse tasemel, mis vastab uuritava probleemküsimuse täpsusvajadusele. See annab võimaluse konkureerivaid lahendusi läbi "mängida", nähes mõju kogu süsteemi tõhususele ning leida lahendused, mille rakendamine konkreetse hoone puhul antud asukohas on energiatõhususe saavutamisel kõige tulemuslikumad. Üldistele eesmärkidele ja hoone kui terviku toimimisele pööratakse seejuures tähelepanu projekti võimalikult varajases faasis.

Passiivmajastandard. Kriteeriumid eluhoonetele

Passiivmajastandardi saavutamiseks on vaja arvutuslikult tõendada järgmiste kriteeriumite täitmine:

Ruumide neto küttevajadus	< 15 kWh/(m² a)
Rõhutesti n₅₀-näitaja	< 0,6 1/h
Primaarenergiavajadus	< 120 kWh/(m² a)

Sertifikaat

Arvutusmeetodi ja lähteandmete õigsuse tõendamiseks võib Saksamaal Darmstadtis asuv Passiivmaja Instituut või mõni teine tunnustatud sertifitseerija väljastada tunnistuse "Tõendatud kvaliteediga passiivmaja". Kvaliteetse teostuse puhul saavutatakse hoone standardkasutuse tingimustel sarnased tulemused suure tõenäosusega ka praktikas.

Mis on standardkasutus?

Kõikide arvutuste puhul lähtutakse konstantsest ruumi temperatuurist 20°C ilma öösel temperatuuri alandamata. Väga hästi soojustatud hoone puhul on efekt öisest temperatuuri alandamisest väike. 20°C toatemperatuur tagatakse reeglina küttesüsteemi adekvaatse juhtimisega.

Passiivmajastandardiga hoones on energeetilisel ja hügieenilisel põhjusel vajalik kõrge soojustagastuse tõhususega ventilatsiooni kasutamine. Et sellises hoones on hea õhukvaliteet kogu kütteperioodi vältel tagatud, võib ja on ka soovitav akna kaudu õhutamisest kütteperioodil loobuda. See ei tähenda, et see oleks keelatud, selleks puudub lihtsalt vajadus. Juhul, kui akna kaudu tuulutatakse, kaasneb sellega kõrgem energiavajadus (nagu igas teiseski hoones). Oluline on teada, et soojustagastusega

ventilatsiooniseade saab tagastada sooja ainult siis, kui toaõhku suunatakse mehaaniliselt läbi agregaadid välja. Kontrollimatut akna kaudu tuulutamist ei saa piisava täpsusega ühegi arvutusmetoodikaga kirjeldada.

Ühe elaniku kohta arvestatakse 35 m² elamispinda ning inimeste ja elektriseadmete soojaeralduseks 2,1 W/m².

Eeldatakse tõhusate majapidamisseadmete, valgustite ja tehnosüsteemide kasutamist. Sellega vähendatakse elektrienergiavajadust ja suvist jahutuskoormust. Kui kasutaja poolt eraldi elektriseadmeid ei kirjeldata, võetakse aluseks seadmete keskmised väärtused (programmis PHPP vaikimisi).

Suvine päikesekaitse ja palavuse vältimine

Juhul, kui hoonel on suuremad klaaspinnad suunatud itta või läände, tuleb pöörata tähelepanu piisava päikesekaitse saavutamisele (selleks ei sobi üldjuhul lõunaküljele tüüpiline horisontaalne sirm); lõunaküljes on varjudega päikesekaitse soovitatav. Päikesekaitselahenduste kavandamisel tuleb tähele panna, et lisaks päikese otsekiirgusele varjavad sellised lahendused ka hajuskiirgust, mis mõjutavad ruumide valgustatust päevavalgusega. Kui klaaspindade varjutamisel kasutatakse statsionaarseid varjusid, mis varjavad suure osa taevaalaotusest, siis on loomuliku valguse tasemed ruumis ka selle võrra madalamad. Seetõttu võimaldab liigutatavate või eemaldatavate päikesekaitse lahenduste (nt välised rulood) rakendamine suuremat paindlikkust erinevates olukordades.

Sellele lisaks tuleb suvel palavuse vältimiseks ruume jahutada akna kaudu tuulutamisega. Efekt on suurem, kui seda teha öösel, kui õhk on jahedam. Termilise massi suurendamine ruumides (massiivsed vaheseinad, -laed, krohviga kaetud seinad jne) suurendab seejuures öise jahutuse efektiivsust.

Kui on kasutatud tõhusaid päikesekaitse lahendusi ja liigsoojus eemaldatakse hoonest akna kaudu tuulutamisega, siis ei ole vaja Eesti kliimas eluhoones üldjuhul kvaliteetse sisekliima tagamiseks aktiivset jahtust projekteerida.

PHPP programm sisaldab esmaseid vahendeid ruumide sisekliima ja sirmide päikesekaitse efekti hindamiseks. Keerukamad olukorrad tuleb analüüsida eraldi dünaamilise simulatsiooni vahenditega.

Arvutusmeetod

Eelpoolnimetatud kvaliteedieesmärkide saavutamine seab projekteerijale tavapärastest kõrgemaid nõudmisi. Selleks, et igapäevatööna praktikas sellega hakkama saada, on pikaajalise arenduse, seire ja kalibreerimise tulemusena välja töötatud lihtsustatud meetod, mis võimaldab eesmärkide täitmist kontrollida.

Passiivmaja projekteerimise pakett PHPP⁽⁴⁾ on spetsiaalselt passiivmajade projekteerimiseks kavandatud tööriist. See võtab arvesse aspekte, mida on kõrge tõhususe juures vaja tavapärastest erineva detailsusega kirjeldada. Passiivmajade kõrval saab sellega arvutada ka suurema küttevajadusega hooned. PHPP sisaldab mitmed

⁴ PHPP – *Passivehouse Planning Package*

omavahel seostatud arvutusmeetodeid, mis baseeruvad suuremalt jaolt Euroopa normidele.

PHPP metoodika puhul on tegemist nõ staatilise ühetsoonilise arvutusmudeliga, mis baseerub ISO 13790 standardis toodud kuubilansi või kütteperioodi bilansi meetodil. Hoone soojakadude arvutamisel ja energiakulu hindamisel lähtutakse pikaajalistest keskmistest kliimaandmetest (kuude keskmised välisõhu õhutemperatuurid, päikese summaarse kiirguse kuusummad erinevalt orienteeritud pindadel jne). PHPP metoodikaga ning lähteandmetega seonduvad standardid on järgnevad:

- EVS-EN ISO 13790. Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling.
- EVS-EN ISO 13370. Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods.
- EVS-EN ISO 6946. Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method.
- EVS-EN ISO 13789. Thermal performance of buildings: Transmission heat loss: calculation method.
- EVS-EN 673. Glass in building – Determination of thermal transmittance (U-value) – Calculation method.
- EVS-EN 410. Glass in building – Determination of luminous and solar characteristics of glazing.
- EVS-EN ISO 10077-2. Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames.
- EVS-EN 13829-2001. Thermal performance of buildings: determination of air permeability of buildings – fan pressurization method.
- EVS-EN ISO 10211-1. Thermal bridges in building construction – Calculation of heat flows and surface temperatures – Part 2: Linear thermal bridges.
- EVS-EN 832. Thermal performance of buildings – calculation of energy use for heating: Residential buildings.

Passiivmaja kvaliteedi fikseerimiseks vajalikud lähteandmed

A. PHPP-s sisalduvad andmed:

- soojustatud hoone ümbrise pindalad seotuna U-arvudega
- soojustatud hoone ümbrise U-arvude arvutuskäik
- kasutatud piirdekomponendid (aknad, ukсед jne)
- akende U-arvude arvutuskäik iga akna kohta eraldi
- varjutegurite arvutuskäik iga akna kohta eraldi
- kasutatud aknakomponendid (klaaspakett, aknaraam) eraldi võetuna
- pinnasega kokkupuutuvate piirete vähendustegurid (kui on kasutatud)
- ventilatsiooni õhuhulkade arvutuskäik, rõhutesti tulemuste kajastus
- ruumide neto küttevajaduse arvutus kuubilansina
- maksimaalne küttekoormus
- ületemperatuuride tõenäosus suveperioodil
- varjutegurite arvutamine suveolukorra jaoks iga akna kohta eraldi
- suvise täiendava õhutuse efekt
- kütte- ja sooja tarbevee süsteemide soojakadude arvutus
- sooja koguvate päikesekollektorite tootluse arvutus, kui neid on kasutatud
- soojaseadme parameetrite kirjeldus
- koduseadmete elektrivajaduse arvutuskäik
- tehnosüsteemide elektrivajaduse arvutuskäik

- primaarenergiavajaduse arvutuskäik
- kasutatud kliimaandmed

B. Graafiline materjal

- asendiskeem, kus on näidatud hoone asetus ilmakaarte suhtes, lähiehitised (koos kõrgusega), haljastus, markantne reljeef jm (koos fotodega)
- plaanid, lõiked, vaated 1:100, teostusjoonistena 1:50 koos pindade ja mahtude täpse määramise võimalusega
- tehnosüsteemide plaanid koos seadmete ja torujuhtmete ning sissepuhke ja väljatõmbe ventiilide, mürakaitse, filtrite jne paiknemise näitamisega
- kõik sooja hoonepiirde sõlmelahendused (vaheseina kinnitumise sõlm, soklisõlm, põrand pinnasel, keldrilagi, katuslagi, akna kinnitus seinaga, rõdu kinnitumise sõlm jne), sõlmed on näidatud mõõdus koos materjalidega; õhupidav tasapind on tähistatud ja sõlmelahendusena kirjeldatud

C. Tehniline info

- andmed kasutatavate akna ja ukseraamide kohta: tootja, tüüp, raami U-arv, seinakinnituse joonkülmäsild, klaasikinnituse joonkülmäsild, graafiliselt sõlm akna kinnitumisest seinaga. Arvutuslikud väärtused on tõendatud EN 10077-2 järgi
- andmed kasutatava klaaspaketi kohta: tootja, tüüp, ehitus, paketi U-arv EN 673 järgi, g-arv EN 410 järgi; servaehituse tüüp
- plaanitud tehnosüsteemide lahenduse lühikirjeldus (koos skeemiga)
- kõikide tehnosüsteemi komponentide tootjainfo, tüüp: ventilatsioonigregaat, soojatootmiseseade, soojaveemahuti, järelküte, külmakaitse jne.
- kui on kasutatud maa-õhk soojavahetit, siis selle andmed: torustiku pikkus, materjal, sügavus, pinnase liik, soojatootlikkuse arvutus
- andmed kütte- ja soojaveetorustiku pikkuse ja soojaisolatsiooni kohta; samuti väljaspool soojustatud piiret paiknevate õhutuskanalite pikkuse ja soojaisolatsiooni kohta
- plaan, kuidas saavutatakse tõhus elektrienergia kasutamine koduseadmetes (nimetatakse nt konkreetsed seadmed, juhul kui ei ole valitud, kasutatakse PHPP keskmisi väärtusi)

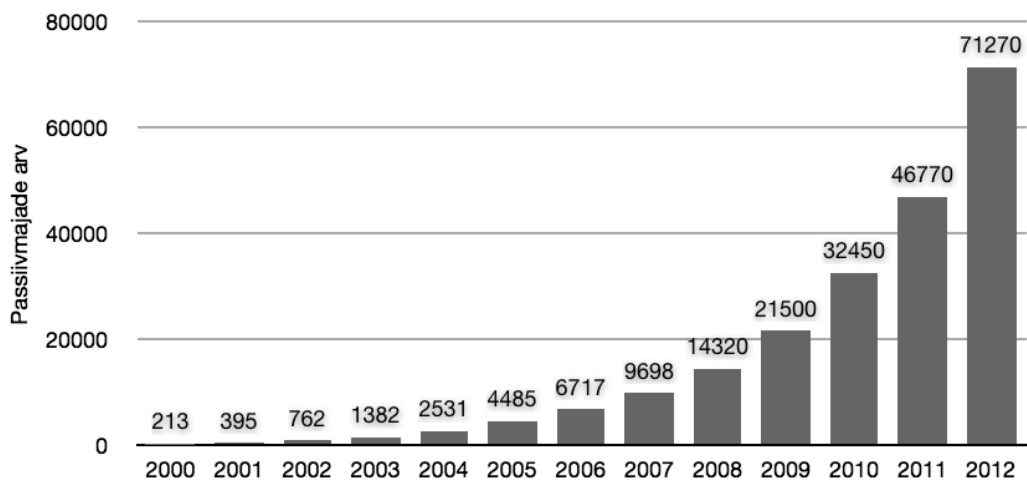
D. Rõhutesti protokoll EN 13829 järgi

- vastavalt standardile on hoonele tehtud üle- ja alarõhutest
- rõhutest tehakse vaid koetava hoone osale (garaaž, kelder, talveaed jm, kui kütmata, jääb välja)
- test on soovitatav teha ajal, kui õhupidavale piirdele on veel juurdepääs ja võimalik on teha parandusi
- testi peab tegema hooneomanikust või arendajast sõltumatu institutsioon või isik; arendaja enda tehtud rõhutesti aktsepteeritakse ainult juhul, kui selle õigsust on allkirjaga kinnitanud füüsiline isik.

Sõltuvalt olukorrast võib olla vaja lisainformatsiooni kasutatud komponentide või lahenduste kohta. Kui standard PHPP-arvutusmeetodi väärtustest on kasutatud soodsamaid eeldusi, tuleb nende kohta esitada täpsustavaid andmeid.

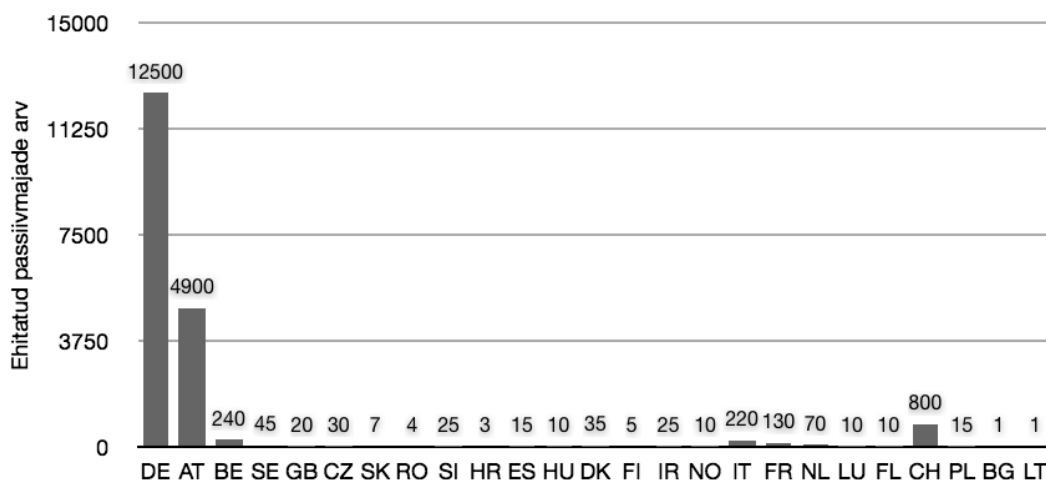
Passiivmajatehnoloogia levik Euroopas

- Passiivmaja kui kõrgtõhusa hoone näide loodi esmakordselt 1991. aastal Saksamaal Darmstadt'is. 18-aastase seire ja arendustöö tulemusena on sellest saanud mitmete Euroopa riikide liidumaade ja omavalitsuste piires ehitusstandard (Aschaffenburg, Antwerpen, Leipzig, Wiesbaden, County Lippe, County Erding, Wels Austria).
- Euroopa Liidus on 2009 aasta mai seisuga teostatud hinnanguliselt 19 100 passiivmajaprojekti (30 100 korterit/elamispinda, 6,54 miljonit m²) (Pass-Net 2009).
- Passiivmajastandardile vastavate hoonete koguarvu senine muutus ja prognoos on näidatud alloleval joonisel.



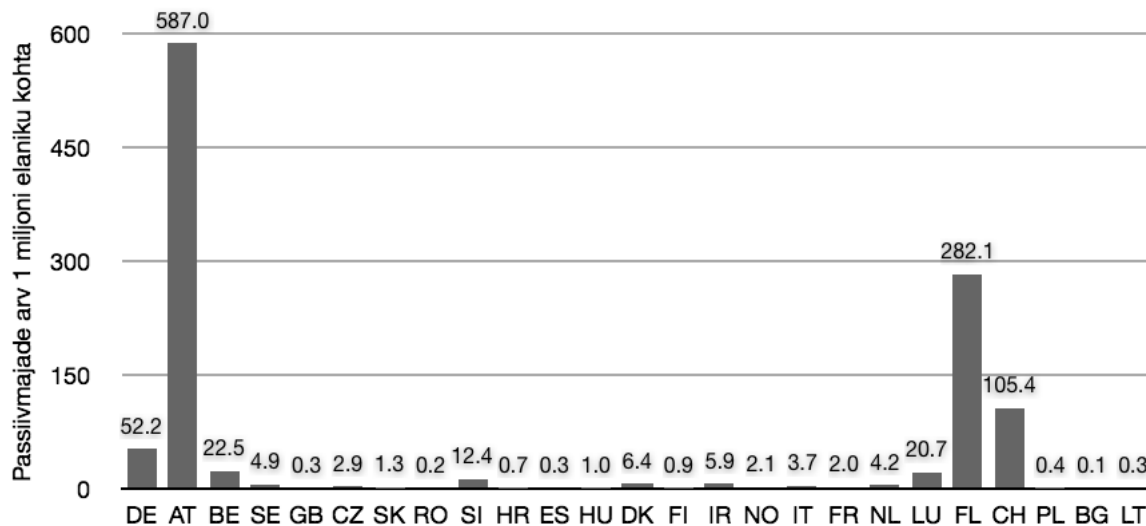
Joonis 4. Passiivmajade arv 10 EL riigi andmete ja prognoosi põhjal (Austria, Saksamaa, Rootsi, Belgia, Tšehhi Vabariik, Slovakkia, Rumeenia, Sloveenia, Ühendkuningriigid, Horvaatia) (Pass-Net 2009).

- Kõrgtõhusate hoonete arendamine on toimunud Euroopas väga ebaühtlaselt. Miljoni elaniku kohta on Saksamaal nt 52 ja Austrias 587 passiivmaja. Ida-Euroopa riikides on sama näitaja suurusjärgus 0,1–10 (vt joonised).



Joonis 5. Ehitatud passiivmajade statistika seisuga mai 2009 (Pass-Net 2009).

- Saksamaal, Austrias ja Šveitsis on pioneer- ja eksperimentaalfaas lõppenud.
- Suuremas hulgas riikides on jätkuvalt suur puudus teadmistest uute standardite kohta.
- Eestis on 2009. aasta septembri seisuga valmis ehitatud passiivmaja komponentidega rekonstrueeritud lasteaed Valgas.



Joonis 6. Ehitatud passiivmajade arv 1 miljoni elaniku kohta, statistika seisuga mai 2009 (Pass-Net 2009).

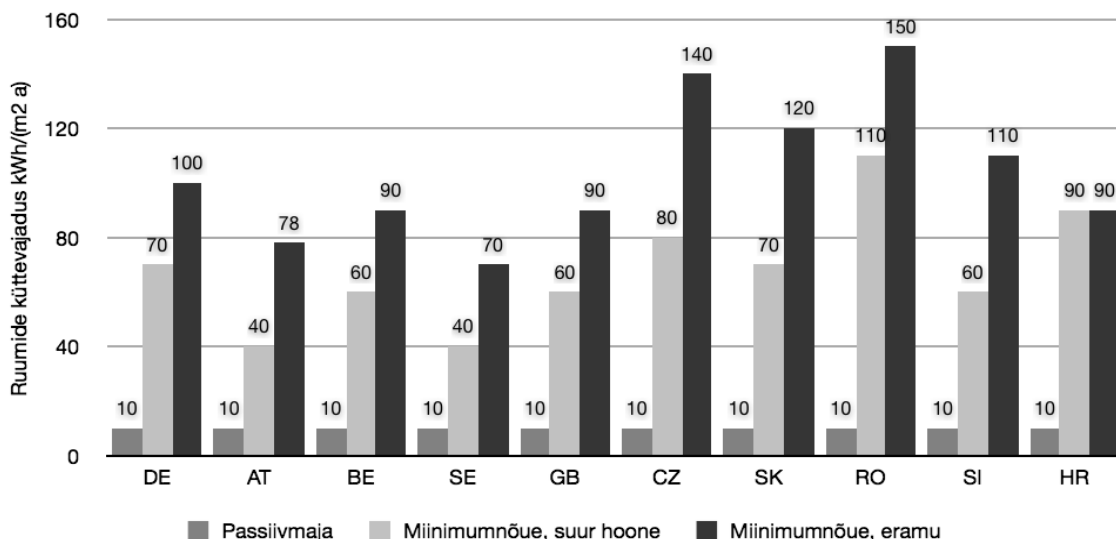
Energiapoliitilised arengud

Teadmine, et hoonete kütmise sektoris on võimalik energiavajadust 75–90% vähendada, on mõjutanud poliitilisi valikuid. Näiteks senised kokkulepped:

- *Recommendation of the European Parliament of 31 January 2008: establishing the passive house as the general standard in Europe by the year 2011*
- *EU Parliament on 4 February 2009: to achieve the target of zero net energy balance in new residential buildings from 2015 onwards*
- *GB government: PH should be standard from 2013, zero carbon standard from 2016 (code level 6 for sustainable houses)*
- *Belgium 2008: decision for new school buildings in Passivehouse-standard*
- *Austria Vorarlberg: government benefit for residential buildings only for Passivehouse standard*

Kümne EL Pass-Net riigi puhul annaks aastaks 2015 praegustelt miinimumnõuetelt passiivmajastandardile üleminek 12 000 000 000 kWh (12 TWh) kokkuhoidu. Erinevate riikide kehtivad miinimumnõuded, mis on selle prognoosi aluseks, on esitatud joonisel. Kiire reageerimine on oluline teades, et hoonete ümberehitamise intervall on keskmiselt 30–40 aastat.

Parima olemasoleva tehnoloogia kasutamine selles sektoris on äärmiselt oluline komponent uues energiatõhusa majanduse mudelis.



Joonis 7. Miinimumnõue seisuga 2009 kümnes EL riigis (Austria, Saksamaa, Belgia, Rootsi, Ühendkuningriigid, Tšehhi Vabariik, Slovakkia, Rumeenia, Sloveenia, Horvaatia); passiivmajastandardi puhul on prognoositud “passiivmaja-pluss” ehk ruumide neto küttevajaduse 10 kWh/(m² a) rakendumist (Pass-Net 2009).

Kokkuvõtte kümne EL riigi puhul prognoositud arengutest ja saavutatavast võimalikust summaarsest efektist on näidatud allolevas tabelis.

Tabel 1. Kümne EL riigi (Austria, Saksamaa, Rootsi, Belgia, Tšehhi Vabariik, Slovakkia, Rumeenia, Sloveenia, Ühendkuningriik, Horvaatia) olukorra analüüsist tehtud prognoos (Pass-Net 2009).

Pass-Net “best-case” stsenaarium	2010	2015
Projektide arv	32 450	260 000
Kasulik põrandapind, uusehitus, m ²	10 600 000	85 200 000
rekonstrueerimine, m ²	570 000	6 200 000
CO ₂ emissiooni vähenemine, tonni	170 000	1 430 000
Vähenenud küttevajadus, GWh	1 456	12 207
Vähenenud küttevajadus kerge õli ekvivalendina, liitrit	145 000 000	1 200 000 000



Joonis 8. Rekonstrueeritud passiivmajastandardiga kooli näide (Salzburg, Austria).



Joonis 9. Rekonstrueeritud passiivmajastandardiga pereelamu näide (Nürnberg, Saksamaa).



Joonis 10. Rekonstrueeritud passiivmajastandardiga pereelamu näide. Sisevaade (Nürnberg, Saksamaa).



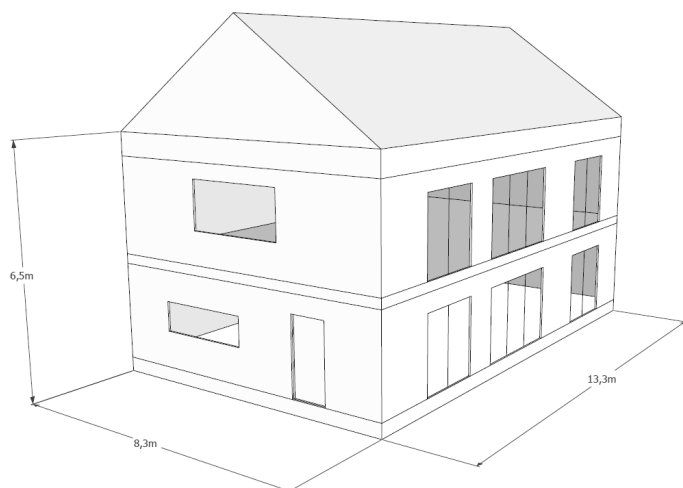
Joonis 11. Passiivmajastandardiga pereelamu näide, kus sooja vee ja ruumide kütteks kasutatakse halupuudega köetavat kaminahju koos integreeritud sooja koguva päikesekollektor-süsteemiga (Nürnberg, Saksamaa).

Passiivmaja kriteeriumitele vastav hoone eesti kliimas

Alljärgnevalt on kirjeldatud pereelamu näide, mille puhul on passiivmajastandard Eestis täidetud. Hoone arvestuslik kasulik pind on 167 m². Hoones on 4 elanikku.

Geomeetria ja asend

13,3m x 8,3m põhiplaaniga hoone on kahekorruseline, peafassaad on suunatud lõunasse. Kogu hoone aknapinnast on lõunafassaadil 64,2%, idafassaadil 12,0%, läänefassaadil 16,1% ja põhjafassaadil 7,7% aknaid.



**Ruumide
neto küttevajadus:
15 kWh/(m² a)**

Joonis 12. Näidiseks valitud hoone geomeetria.

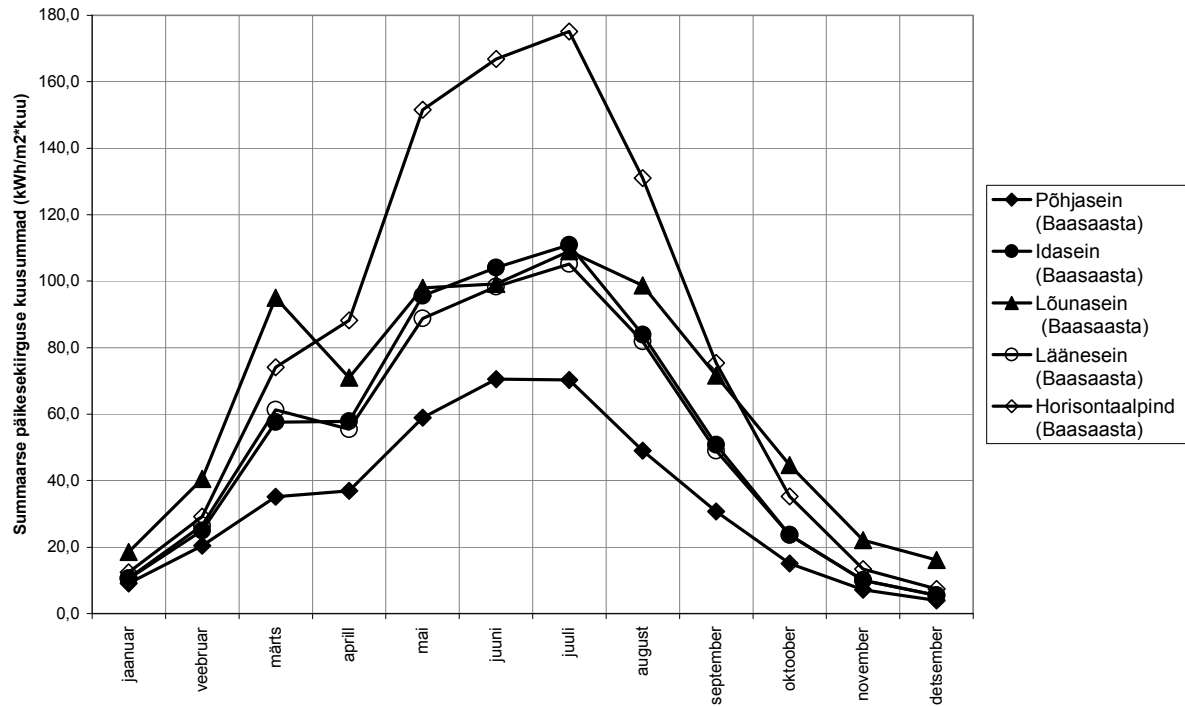
Kliimaandmestik

Arvutuste aluseks on Eesti energiaarvutuste baasaasta (EEB) andmestik, mis iseloomustab ajaperioodi 1970–2000 a. tüüpilist väliskliimat ja on koostatud ISO 15927-4:2005 standardis kirjeldatud meetodika alusel (Kalamees ja Kurnitski 2006).

Kasutatud andmete kuu summad (summaarne kiirgus) ja kuu keskmised väärtused (välisõhu temperatuur, kastepunkt) olulisemate meteoparameetrite osas on esitatud alljärgnevas tabelis.

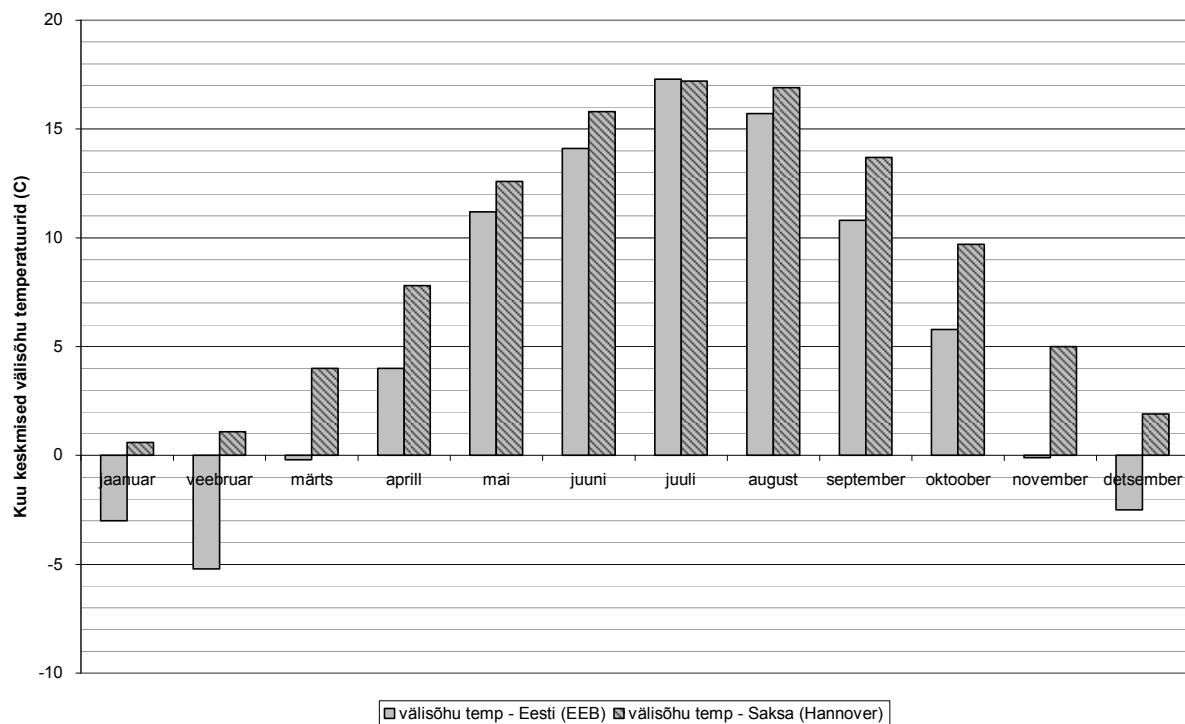
Tabel 2. Kasutatud kliimaandmed (Eesti energiaarvutuste baasaasta põhjal)

	välisõhu temperatuur	summaarne päikesekiirguse kuusummad (kWh/m ² *kuu)					kastepunkti temperatuur
		põhjasein	idasein	lõunasein	läänesein	horisontaal-pind	
jaan.	-3,0	9	11	19	11	12	-4,5
veebr.	-5,2	20	25	41	27	29	-6,7
märts	-0,2	35	58	95	61	74	-3,9
apr.	4,0	37	58	71	55	88	0,3
mai	11,2	59	96	98	89	152	5,8
juuni	14,1	71	104	99	98	167	9,3
juuli	17,3	70	111	109	105	175	13,3
aug.	15,7	49	84	99	82	131	12,4
sept.	10,8	31	51	72	49	75	7,9
okt.	5,8	15	24	45	24	35	3,7
nov.	-0,1	7	10	22	10	13	-1,4
dets.	-2,5	4	6	16	6	7	-4,5

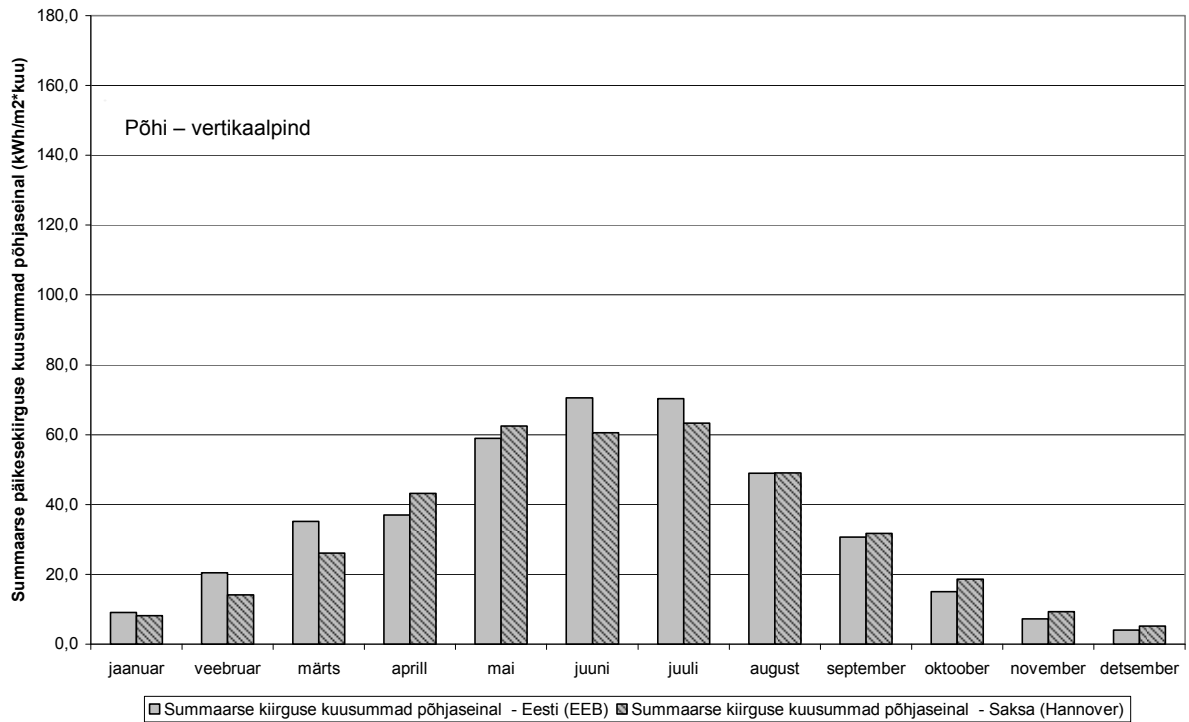


Joonis 13. Summaarse päikesekiirguse kuu summad erinevalt orienteeritud pindadel (EEB).

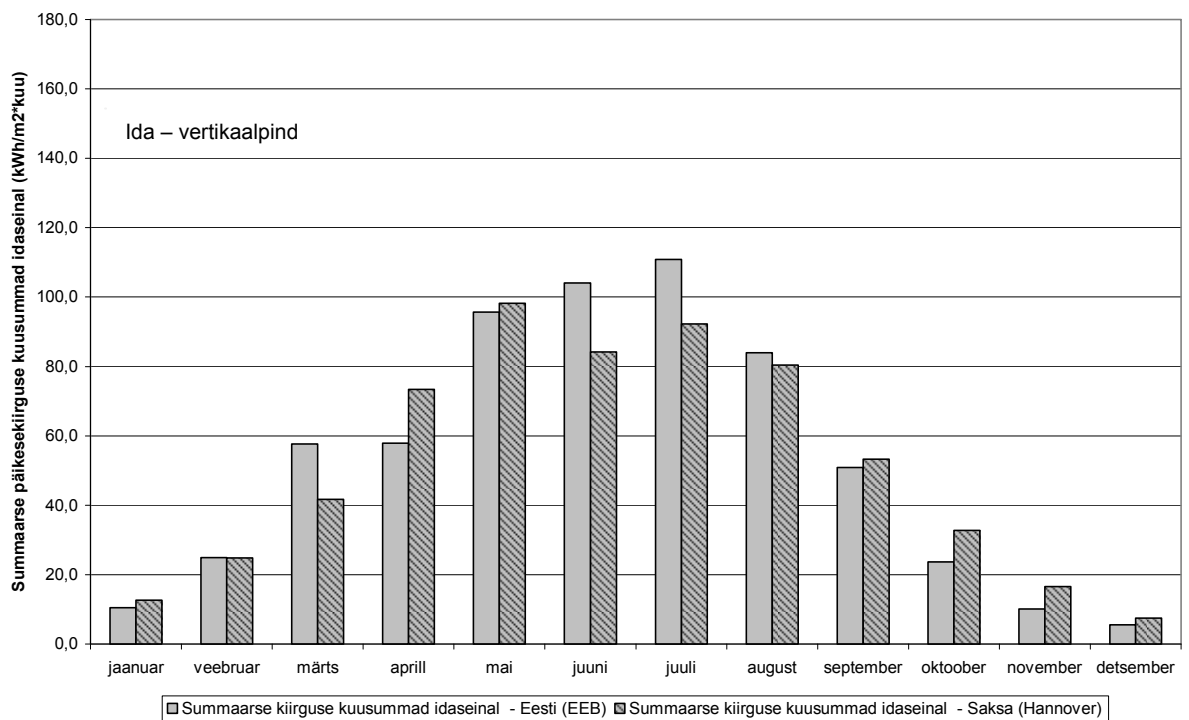
Alljärgnevalt on näitena toodud Eesti ja Saksamaa (Hannover) kliimaandmete võrdlus.



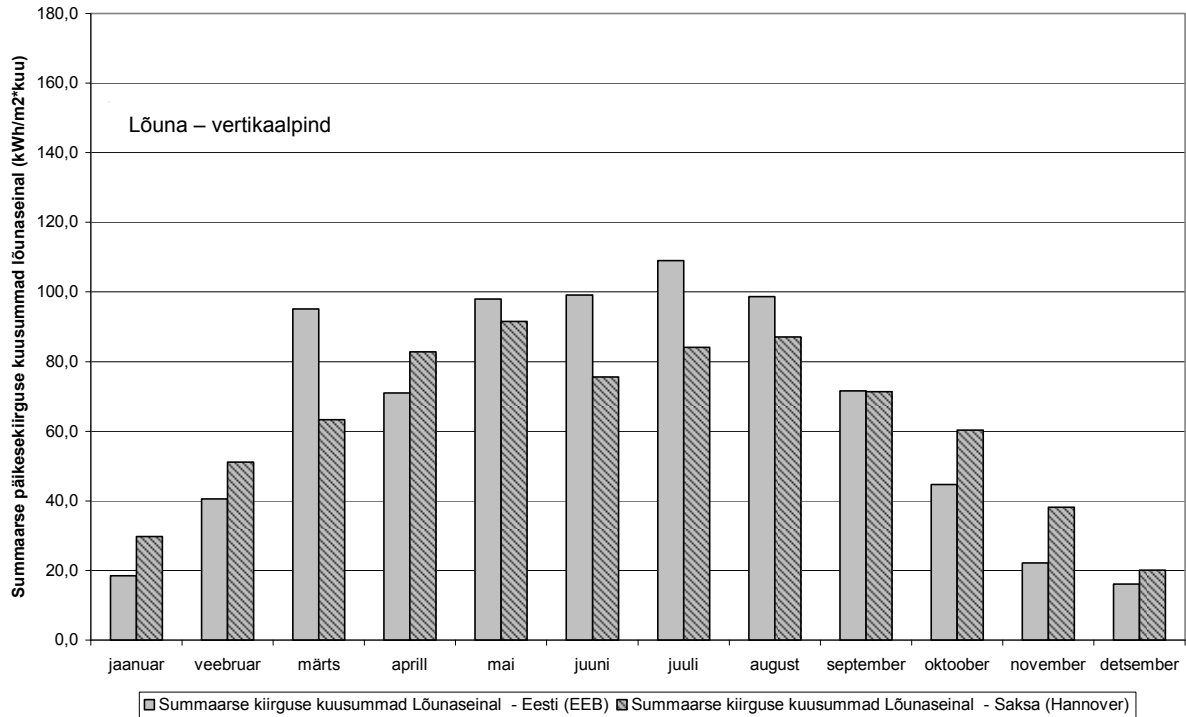
Joonis 14. Välisõhu kuu keskmised temperatuurid Eestis (EEB) ja Saksamaal (Hannover – PHPP2007 andmed) pikaajalise keskmisena.



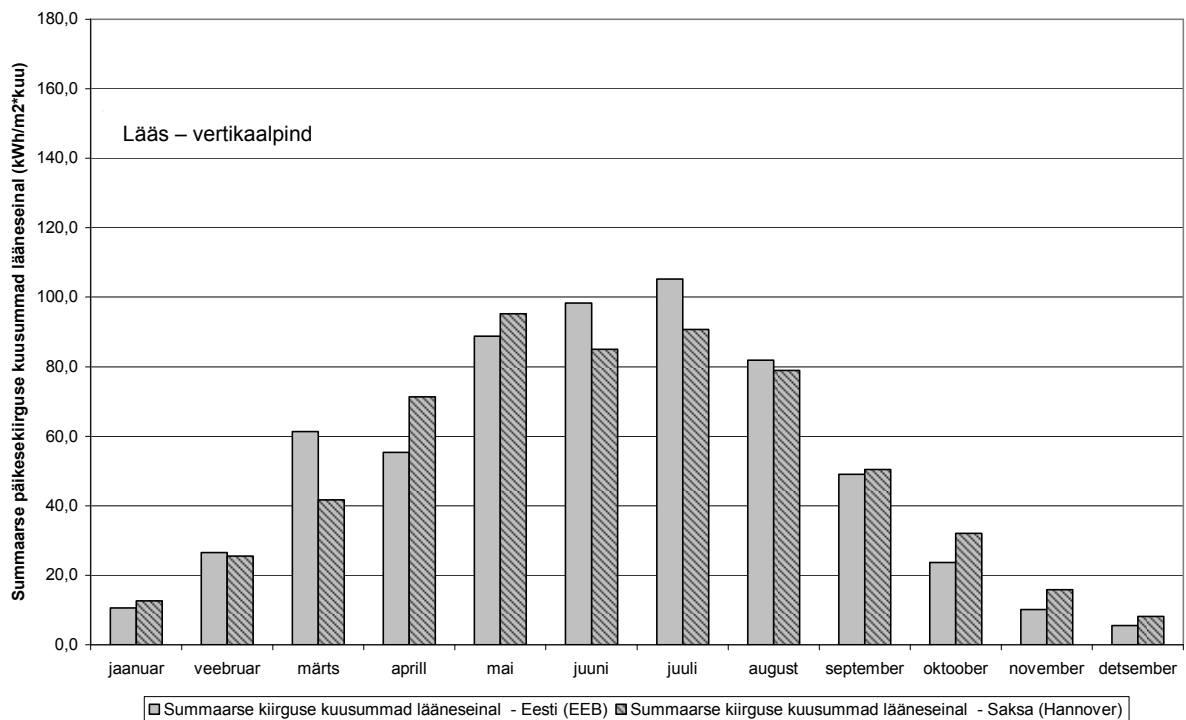
Joonis 15. Summaarse kiirguse kuu summad põhjaseinal Eestis (EEB) ja Saksamaal (Hannover – PHPP2007 andmetel) pikaajalise keskmisena.



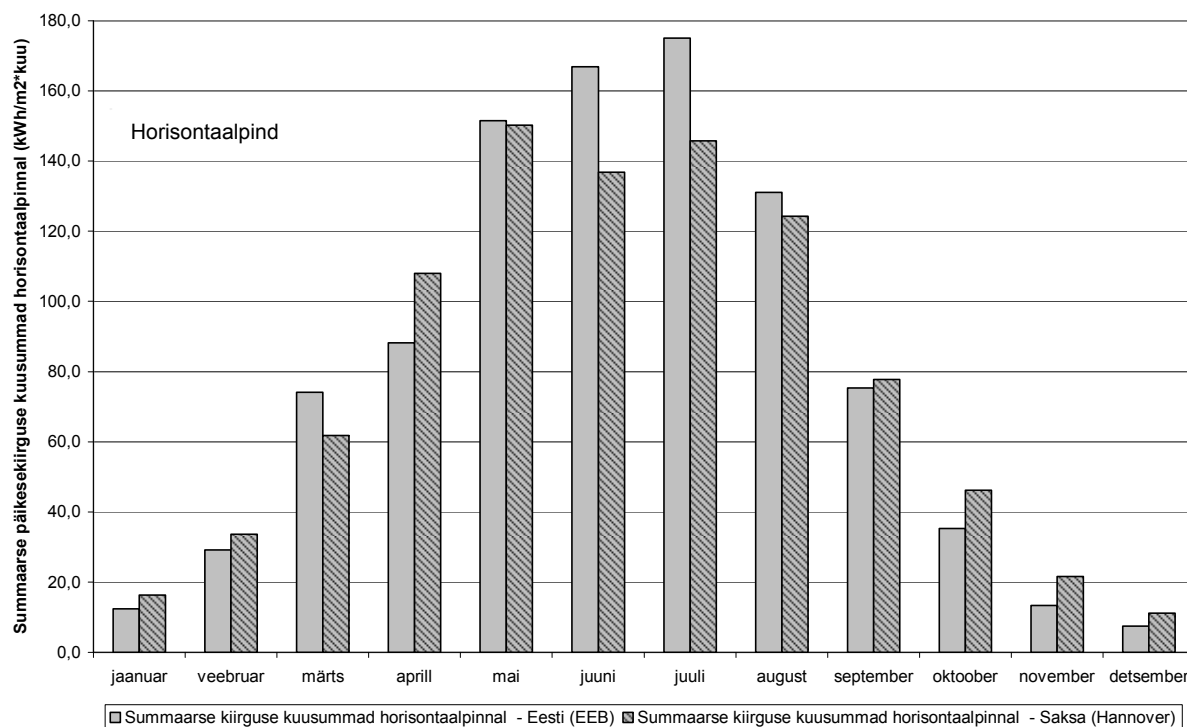
Joonis 16. Summaarse kiirguse kuu summad idaseinal Eestis (EEB) ja Saksamaal (Hannover – PHPP2007 andmetel) pikaajalise keskmisena.



Joonis 17. Summaarse kiirguse kuu summad lõunaseinal Eestis (EEB) ja Saksamaal (Hannover – PHPP2007 andmetel) pikaajalise keskmisena.



Joonis 18. Summaarse kiirguse kuu summad lääneseinal Eestis (EEB) ja Saksamaal (Hannover – PHPP2007 andmetel) pikaajalise keskmisena.



Joonis 19. Summaarse kiirguse kuu summad horisontaalpinnal Eestis (EEB) ja Saksamaal (Hannover – PHPP2007 andmetel) pikaajalise keskmisena.

Toodud graafikutelt järeldub, et talvekuudel on kõigi pindade osas Eestis päikese-kiirgust summaarselt vähem, kui Saksamaal, kuid kevadisel ja sügisesel ülemineku- perioodil on summaarse päikesekiirguse kuusummad enam-vähem võrreldavad ning kohati isegi ületavad Hannoveri kohta esitatud väärtusi.

Hoone sisekasutuse, tehnosüsteemide võtme parameetrite ning välispiirete kirjeldus

Alljärgnevalt on kirjeldatud eeldusandmed, mille põhjal käsitletava hoone energia- bilanss ning ruumide neto küttevajadus on arvatud.

Tabel 3. Üldised eeldusandmed

korruselisus	2
suletud netopind	171,5 m ²
arvestuslik köetav pind (aluseks energiakulu väljendamisel)	167 m ²
elanike arv	4
arvestuslik sisetemperatuur	20°C
valgustuse, seadmete ja inimeste soojaeraldus (aasta keskmisena)	2,1 W/m ²
peafassaadi orienteeritus	lõunasse

Tabel 4. Välispiirete eeldusandmed

piire	U-väärtus (W/(m ² *K))
Välissein (soojustuse paksus 360+25 mm)	0,100
katuslagi (soojustuse paksus 600 mm)	0,063
põrand pinnasel (soojustuse paksus 300 mm)	0,120
Guardian Luxguard Neutralite 3-kordne klaaspakett (low-E+Argoon)	0,51 (g-väärtus 0,54)
Rehau ClimaDesign aknaraam	0,71
Klaasita välisuks	1,00

Summary							Building Element Overview	Average U-Value [W/(m ² K)]
Group No.	Area Group	Temp Zone	Area	Unit	Comments			
1	Treated Floor Area		166,88	m ²	Living area or useful area within the thermal envelope			
2	North Windows	A	3,51	m ²	Results are from the Windows worksheet.	North Windows	0,698	
3	East Windows	A	5,51	m ²		East Windows	0,650	
4	South Windows	A	29,40	m ²		South Windows	0,653	
5	West Windows	A	7,40	m ²		West Windows	0,657	
6	Horizontal Windows	A	0,00	m ²		Horizontal Windows		
7	Exterior Door	A	1,89	m ²	Please subtract area of door from respective building element	Exterior Door	1,000	
8	Exterior Wall - Ambient	A	231,35	m ²	Window areas are subtracted from the individual areas specified in the "Windows" worksheet.	Exterior Wall - Ambient	0,100	
9	Exterior Wall - Ground	B	0,00	m ²	Temperature Zone "A" is ambient air.	Exterior Wall - Ground		
10	Roof/Ceiling - Ambient	A	110,39	m ²	Temperature zone "B" is the ground.	Roof/Ceiling - Ambient	0,063	
11	Floor Slab	B	110,39	m ²		Floor Slab	0,120	
12			0,00	m ²	Temperature zones "A", "B", "P" and "X" may be used. NOT "I"			
13			0,00	m ²	Temperature zones "A", "B", "P" and "X" may be used. NOT "I"			
14		X	0,00	m ²	Temperature zone "X". Please provide user-defined reduction factor (0 < f _r < 1):		Factor for X: 75%	
							Thermal Bridge Overview	Ψ [W/(mK)]
15	Thermal Bridges Ambient	A	68,20	m	Units in m	Thermal Bridges Ambient	-0,061	
16	Perimeter Thermal Bridges	P	43,20	m	Units in m, temperature zone "P" is perimeter (see Ground worksheet).	Perimeter Thermal Bridges	-0,040	
17	Thermal Bridges Floor Slab	B	0,00	m	Units in m	Thermal Bridges Floor Slab		
18	Partition Wall to Neighbour	I	0,00	m ²	No heat losses, only considered for the heat load calculation.	Partition Wall to Neighbour		
Total Thermal Envelope			499,84	m²		Average Therm. Envelope	0,139	

Area Input											Selection of the Corresponding Building Element Assembly		U-Value [W/(m ² K)]			
Area No.	Building Element Description	Group No.	Assigned to Group	Quantity	x (	a [m]	x	b [m]	+ User-Determined [m ²]	- User Subtraction [m ²]	- Subtraction Window Areas [m ²]	=		Area [m ²]	Nr.
	Treated Floor Area	1	Treated Floor Area		x (		x		+			) =	0,0		
	North Windows	2	North Windows		x (		x		+			) =	3,5		0,698
	East Windows	3	East Windows		x (		x		+			) =	5,5		0,650
	South Windows	4	South Windows		x (		x		+			) =	29,4		0,653
	West Windows	5	West Windows		x (		x		+			) =	7,4		0,657
	Horizontal Windows	6	Horizontal Windows		x (		x		+			) =	0,0		0,000
	Exterior Door	7	Exterior Door	1	x (	0,90	x	2,10	+			) =	1,9		1,000
1	Välissein põhi	8	Exterior Wall - Ambient	1	x (13,30	x	6,46	+) =	82,4	Välissein	1	0,100
2	Välissein lõuna	8	Exterior Wall - Ambient	1	x (13,30	x	6,46	+) =	56,5	Välissein	1	0,100
3	Välissein ida	8	Exterior Wall - Ambient	1	x (8,30	x	6,46	+	- 1,90) =	46,2	Välissein	1	0,100
4	Välissein lääs	8	Exterior Wall - Ambient	1	x (8,30	x	6,46	+) =	46,2	Välissein	1	0,100
5	Katuslagi	10	Roof/Ceiling - Ambient	1	x (110,39	x	1,00	+) =	110,4	Katuslagi	2	0,063
6	Põrand pinnasel	11	Floor Slab	1	x (110,39	x	1,00	+) =	110,4	Põrand pinnasel	3	0,120
7					x (		x		+			) =	0,0		0
8					x (		x		+			) =	0,0		0

Joonis 20. Näitena sisestatud välispiirete andmed PHPP2007 tarkvara töölehel.

U-VALUES OF BUILDING ELEMENTS

Wedge Shaped Building Element Layers and Still Air Spaces -> Secondary Calculation to the Right

Building: Hüpoteetiline pereelamu

Secondary Calculation: Equivalent Thermal Conductivity of Still Air Spaces

1 Välissein

Assembly No. Building Assembly Description

Heat Transfer Resistance [m²K/W] interior R_{si}: 0,13 exterior R_{se}: 0,04

Area Section	λ [W/(mK)]	Area Section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area Section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Total Thickness (mm)
1 Kipsiplaat	0,250					26
2 Isover KL-35	0,035	Steico I-joist	0,396			360
3 Isover RRL-31	0,031					25
4						
5						
6						
7						
8						

Percentage of Sec. 2: 2,8% Percentage of Sec. 3: Total: 41,1 cm

U-Value: 0,100 [W/(m²K)]

Air Layer Thickness: mm

Direction of Heat Flow: Upwards, Horizontal, Downwards

h_u W/(m²K) λ W/(mK) h_d 4,17 W/(m²K)

Joonis 21. Näitena välispiirete U-väärtuste arvutuse tööleht PHPP2007 tarkvara töölehel.

Tabel 5. Joonkülmasilde eeldusandmed (arvutatuna piirde välismõõtmete järgi).

joonkülmasil	ψ -väärtus (W/(m ² K))
katuslae perimeeter	-0,060
põranda perimeeter	-0,040
sein-sein välisnurk	-0,062
klaaspaketi serv (swisspacer)	0,035
akna kinnitus seinaga	0,010
regulaarsed joonkülmasilad (karkass)	piirde U-väärtuse leidmisel eraldi arvesse võetud

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	Põranda perimeeter	16	Perimeter Thermal Bridges	1	x (	43,20	-	)=		43,20	Põranda perimeeter	-0,040
2	Katuse perimeeter	15	Thermal Bridges Ambient	1	x (	43,20	-	)=		43,20	Katuse perimeeter	-0,060
3	Sein-sein	15	Thermal Bridges Ambient	1	x (	25,00	-	)=		25,00	Sein-sein	-0,062
4					x (-)=				
5					x (-)=				
6					x (-)=				

Joonis 22. Näitena sisestatud külmasilde andmed PHPP2007 tarkvara töölehel.

Tabel 6. Õhuvahetusega seotud eeldusandmed.

värske õhu vajadus inimese kohta	30 m ³ /h
maksimaalsed (projekteeritud) õhuhulgad	163 m ³ /h
keskmised (kasutus) õhuhulgad	125 m ³ /h
ventilatsiooniagregaat	Paul Thermos 200DC
ventilatsiooniagregaadi paiknemine	soojas ruumis
vent.agregaadi hetkeline soojustagastuse efektiivsus (PHI meetodika)	92,0%
... pärast õhuvõtu ja -heite torudes ilmnevate soojakadude arvestamist	91,1%
vent.agregaadi elektriline efektiivsus	0,36 Wh/m ³
hoone ventileeritav kubatuur	445 m ³
hoone õhulekkearv n50 50Pa alarõhul (välispiirde õhupidavus)	0,50 h-1
Hoone kaitstus tuulte eest (klass):	keskmine ('moderate screening' class – ISO 13790)
tuulekaitse koefitsient e (ISO 13790)	0,07 (mitu külge tuultele avatud)
tuulekaitse koefitsient f (ISO 13790)	15 (mitu külge tuultele avatud)

VENTILATION DATA

Building:

Treated Floor Area A_{TFA} m^2 (Areas worksheet)
 Room Height h m (Annual Heat Demand worksheet)
 Room Ventilation Volume $(A_{TFA} \cdot h) = V_V$ m^3 (Annual Heat Demand worksheet)

Ventilation System Design - Standard Operation

Occupancy m^2/P
 Number of Occupants P
 Supply Air per Person $m^3/(P \cdot h)$
 Supply Air Requirement m^3/h
 Extract Air Rooms

Quantity	Kitchen	Bathroom	Shower	WC	
Extract Air Requirement per Room m^3/h	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	
Total Extract Air Requirement m^3/h	<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="20"/>	

Design Air Flow Rate (Maximum) m^3/h

Average Air Change Rate Calculation

Type of Operation	Daily Operation Duration h/d	Factors Referenced to Maximum	Air Flow Rate m^3/h	Air Change Rate $1/h$
Maximum		<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="163"/>	<input type="text" value="0,39"/>
Standard	<input type="text" value="24,0"/>	<input type="text" value="0,77"/>	<input type="text" value="125"/>	<input type="text" value="0,30"/>
Basic		<input type="text" value="0,54"/>	<input type="text" value="88"/>	<input type="text" value="0,21"/>
Minimum		<input type="text" value="0,40"/>	<input type="text" value="65"/>	<input type="text" value="0,16"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Residential Building		Average value <input type="text" value="0,77"/>	Average Air Flow Rate (m^3/h) <input type="text" value="125"/>	Average Air Change Rate ($1/h$) <input type="text" value="0,30"/>

Infiltration Air Change Rate according to EN 13790

Wind Protection Coefficients According to EN 13790		
Coefficient e for Screening Class	Several Sides Exposed	One Side Exposed
No Screening	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="0,03"/>
Moderate Screening	<input type="text" value="0,07"/>	<input type="text" value="0,02"/>
High Screening	<input type="text" value="0,04"/>	<input type="text" value="0,01"/>
Coefficient f	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>

Wind Protection Coefficient, e for Annual Demand; for Heat Load
 Wind Protection Coefficient, f for Annual Demand; for Heat Load
 Net Air Volume for Press. Test V_{n50} m^3
 Air Change Rate at Press. Test n_{50} $1/h$ for Annual Demand; for Heat Load
 Air Permeability q_{50} $m^3/(hm^2)$

Type of Ventilation System

Balanced PH Ventilation *Please Check* for Annual Demand; for Heat Load
 Pure Extract Air
 Excess Extract Air $1/h$ for Annual Demand; for Heat Load
 Infiltration Air Change Rate $n_{V,Res}$ $1/h$ for Annual Demand; for Heat Load

Effective Heat Recovery Efficiency of the Ventilation System with Heat Recovery

Central unit within the thermal envelope.
 Central unit outside of the thermal envelope.
 Efficiency of Heat Recovery η_{HR} thermos 200 DC - Paul
 Transmittance Ambient Air Duct Ψ $W/(mK)$ Calculation see Secondary Calculation
 Length Ambient Air Duct m
 Transmittance Exhaust Air Duct Ψ $W/(mK)$ Calculation see Secondary Calculation
 Length Exhaust Air Duct m
 Temperature of Mechanical Services Room $^{\circ}C$
 (Enter only if the central unit is outside of the thermal envelope.)
 Av. Ambient Temp. Heating P. ($^{\circ}C$)
 Av. Ground Temp ($^{\circ}C$)

Effective Heat Recovery Efficiency $\eta_{HR,eff}$

Joonis 23. Näitena hoone õhuvahetusega seotud andmed PHPP2007 tarkvara töölehel.

Tabel 7. Näitena arvatatud hoone avatäidete koondandmed (tegelik arvutus käsitleb aknaid detailsemalt).

Akende orientatsioon	Avade pindala (m2)	klaasiosa pindala (m2)	% kogu maja aknapinnast
Põhi	3,51	2,9	7,7
Ida	5,51	4,8	12,0
Lõuna	29,4	25,2	64,2
Lääs	7,4	6,4	16,1
kokku	45,82	39,3	100

Quantity	Description	Deviation from North	Angle of Inclination from the Horizontal	Orientation	Window Rough Openings		Installed	Glazing	Frame	g-Value	U-Value		Window Frame Dimensions				Installation				Results			Glazed Fraction per Window											
					Width	Height					Perpen-dicular Radiation	Glazing	Frames	Width - Left	Width - Right	Width - Below	Width - Above	Left 10	Right 10	Sill 10	Head 10	W _{spacer}	W _{insulation}		Window Area	Glazing Area	U-Value Window								
1	S 01 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 02 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	1	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 03 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 04 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	1	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	N 03	0	90	North	2,700	0,600	Vaksoen_pStu	1 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	1	1	1	1	0,035	0,010	1,6	1,30	0,72	0,80					
1	N 04	0	90	North	0,900	2,100	Vaksoen_pStu	1 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	1	1	1	1	0,035	0,010	1,9	1,60	0,68	0,85					
1	W 01	270	90	West	2,700	3,300	Vaksoen_Itas	4 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	1	1	1	1	0,035	0,010	3,6	3,12	0,63	0,89					
1	W 02	270	90	West	0,900	2,100	Vaksoen_Itas	4 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	1	1	1	1	0,035	0,010	1,9	1,60	0,68	0,85					
1	W 03	270	90	West	2,500	0,800	Vaksoen_Itas	4 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	1	1	1	1	0,035	0,010	2,0	1,68	0,68	0,84					
1	E 01	90	90	East	2,700	1,300	Vaksoen_Itas	3 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	1	1	1	1	0,035	0,010	3,6	3,12	0,63	0,89					
1	E 02	90	90	East	2,500	0,900	Vaksoen_Itas	3 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	1	1	1	1	0,035	0,010	2,0	1,68	0,68	0,84					
1	S 05 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 06 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	1	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 07 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 08 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	1	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 09 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 10 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	1	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 11 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	1	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 12 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
1	S 13 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	1	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,64	0,86					
1	S 14 ulemis	180	90	South	1,000	2,100	Vaksoen_Buna	2 Low-E 0.51 Ned	4 REHAU - Clima	1	0,54	0,51	0,71	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	1	1	1	1	0,035	0,010	2,1	1,80	0,65	0,86					
																		Total:																45,8	39,3

Joonis 24. Näitena sisestatud avatäidete andmed PHPP2007 tarkvara töölehel.

GLAZING ACCORDING TO CERTIFICATION

FRAME TYPE ACCORDING TO CERTIFICATION

Assembly No.	Type	g-Value	U _g -Value
1	Double low-e 4/16Argon90/4 Epsilon=0.04	0,560	0,510
2	Kolmekordne klaas	0,530	0,510
3	Low-E 0.74 Neutralite - Guardian Luxguard	0,510	0,740
4	Low-E 0.51 Neutralite - Guardian Luxguard	0,540	0,510
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12	Single glazing	0,87	5,80
13	Double glazing 4/12mm air/4	0,77	2,90
14	Double glazing 4/16mm air/4	0,77	2,70

Assembly No.	Type	U-Value	Frame Dimensions				Thermal Bridge	Thermal Bridge
	Frame	Frame	Width - Left	Width - Right	Width - Below	Width - Above	W _{below}	W _{insulation}
1	REHAU - Clima Design - with spacer 'Swisspacer'	0,71	0,050	0,050	0,050	0,050	0,035	0,010
2								
3								
4	Wooden frame 68 mm	1,60	0,140	0,140	0,140	0,140	0,040	0,040
5	Wooden frame 45 mm	2,50	0,120	0,140	0,120	0,140	0,050	0,040
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12	Passive House frame, medium thermal quality	0,75	0,140	0,140	0,140	0,140	0,040	0,040
13	Passive House frame, good thermal quality	0,72	0,140	0,140	0,140	0,140	0,035	0,040

Joonis 25. Näites valitud klaaspaketi ja aknaraami andmed PHPP2007 tarkvara töölehel.

Tabel 8. Akende varjuteguritega ning päikeseenergia läbilaskvusega seotud eeldusandmed näitena kirjeldatud hoones.

varjutavad kõrvalobjektid	puuduvad
varjutavate aknapalede (välised) sügavus	0,15 m
varjutava aknapale kaugus klaaspaketi nähtavast servast	0,05 m
määratud klaaspaketi mõju	5%
Klaaspaketi päikesevõime (g-väärtus)	0,54
ajutiste päikesekaitsetahenduste (nt väline ruloo) varjutav mõju suvel	50%

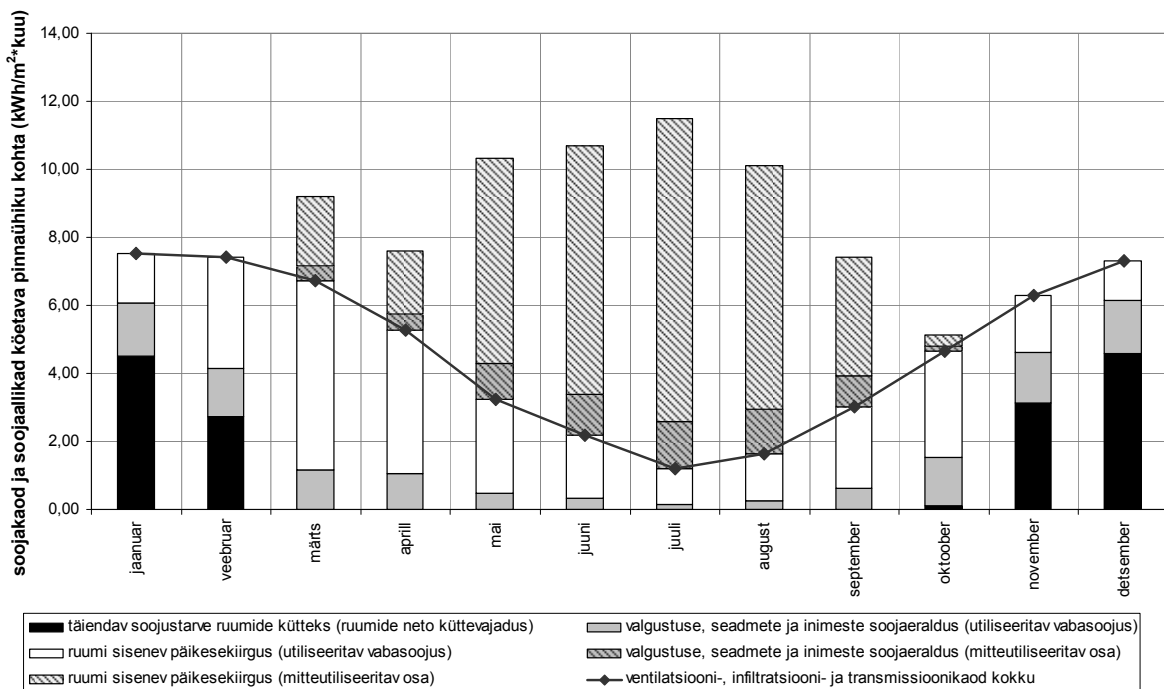
Angle of Inclination from the Horizontal Degrees	Orientation	Glazing Width	Glazing Height	Glazing Area	Height of the Shading Object	Horizontal Distance	Window Reveal Depth	Distance from Glazing Edge to Reveal	Overhang Depth	Distance from Upper Glazing Edge to Overhang	Additional Shading Reduction Factor	Horizontal Shading Reduction Factor	Reveal Shading Reduction Factor	Overhang Shading Reduction Factor	Total Shading Reduction Factor
		m	m	A _G	m	m	m	m	m	m	%	%	%	%	%
		w _G	h _G	A _G	h _{hor}	d _{hor}	e _{reveal}	d _{reveal}	e _{over}	d _{over}	f _{other}	f _h	f _r	f _o	f _s
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,050		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,050		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,050		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,050		100%	95%	99%	94%
90	North	2,60	0,50	1,3			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	97%	86%	83%
90	North	0,80	2,00	1,6			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	91%	96%	87%
90	West	2,60	1,20	3,1			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	94%	89%
90	West	0,80	2,00	1,6			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	85%	96%	82%
90	West	2,40	0,70	1,7			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	94%	91%	86%
90	East	2,60	1,20	3,1			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	94%	89%
90	East	2,40	0,70	1,7			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	94%	91%	86%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%
90	South	0,90	2,00	1,8			0,15	0,05	0,15	0,05		100%	95%	99%	94%

Joonis 26. Näitena akende varjutegurite arvutamine PHPP2007 tarkvara töölehel.

Hoone soojabilanss ja arvutuslik aastane ruumide neto küttevajadus

Arvutuslik aastane ruumide neto küttevajadus näitab energiahulka, mida on lisaks utiliseeritavatele vabasoojustele vaja selleks, et hoones ventilatsiooni ning transmissioonikadusid kompenseerida. Seejuures ei arvestata ruumide neto küttevajaduse arvutamisel soojuse tootmise ja jaotamise kadusid. Samuti ei sisaldu ruumide neto küttevajaduses energiahulgad, mida on tarvis tarbevee soojendamiseks, valgustuse, seadmete ja tehnosüsteemide käitamiseks. Kõik eelpool toodud võetakse arvesse hoone primaarenergiatarbimise arvutamisel.

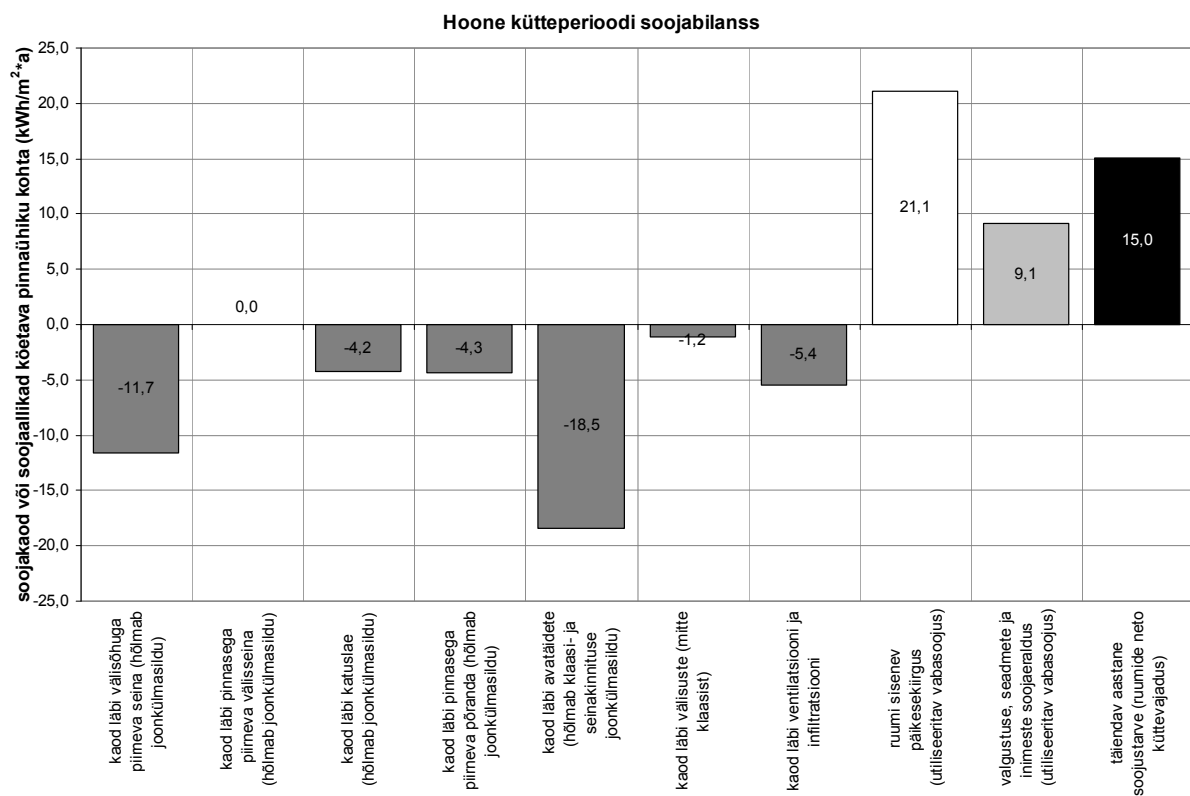
PHPP2007 tarkvarapaketiiga sooritatud energiaarvutus lähtub käesoleval juhul ISO 13790 kuubilansi meetodikast ja eelpool esitatud peamistest lähteandmetest. Hoone arvutuslik soojabilansi graafik kuude lõikes on esitatud alljärgneval joonisel.



Joonis 27. Arvutuse tulemusena saadud hoone soojabilanss kuude lõikes.

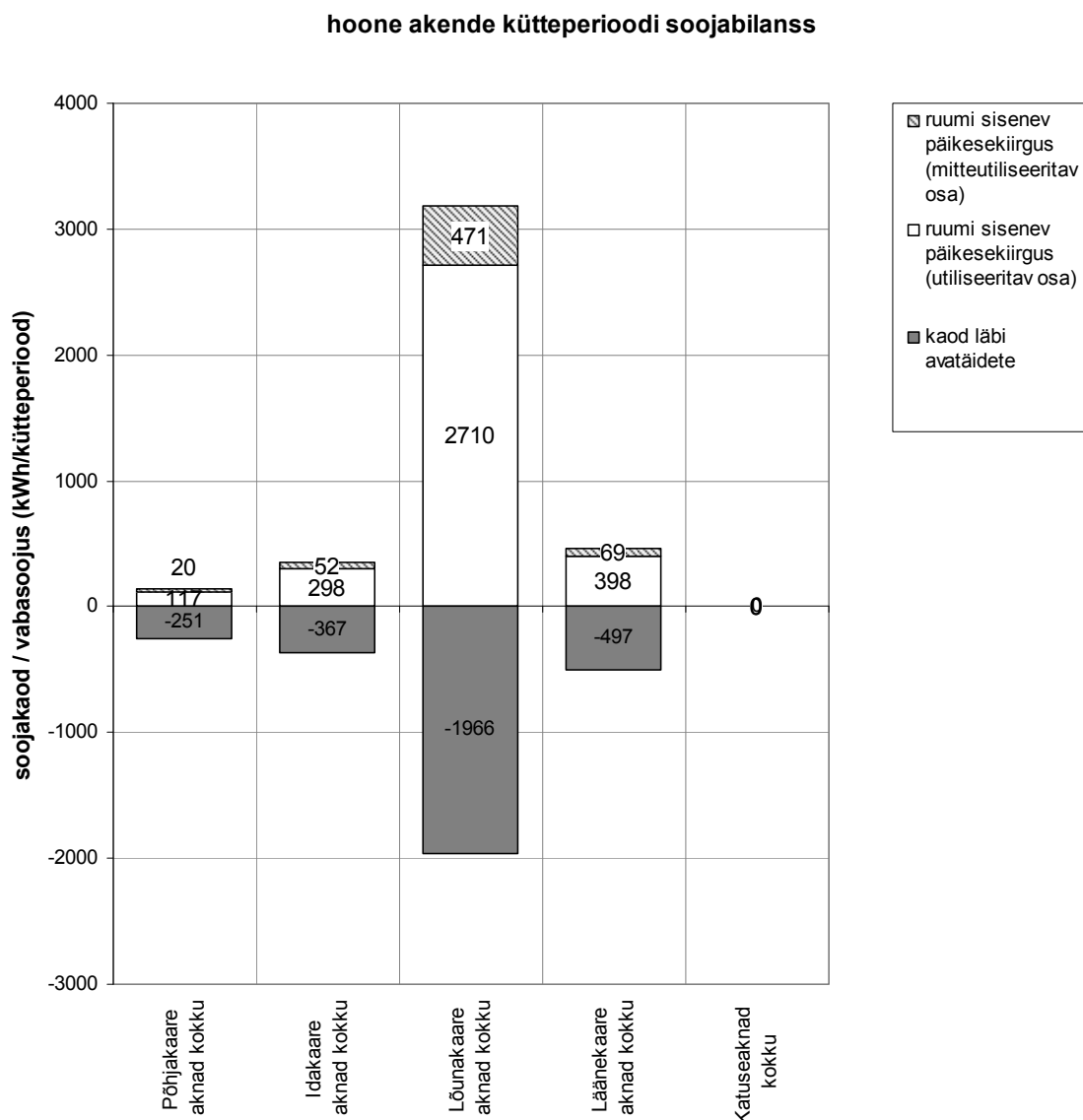
Jooniselt on näha, et arvutuslikult kujuneb keskmisel aastal hoone kütteperioodiks ajavahemik oktoobrist veebruari lõpuni. Väljaspool kütteperioodi ei utiliseerita suurt osa hoones tekkivast vabasoojusest. Väga suur mitteutiliseeritava vabasoojuse osakaal suvekuudel näitab tõsist palavuse tekke riski ning seetõttu on käsitletaval hoonel ette nähtud teisaldatavate päikesekaitselahenduste (välised rulood) kasutamine (ei kajastu eelpool toodud joonisel).

Täpsemat analüüsi soojakadude erinevate allikate osakaalu määramiseks pakub ainult kütteperioodi hulka kuuluvate kuude põhjal koostatud summeeritud soojabilanss, mis on esitatud alljärgnevalt.



Joonis 28. Arvutuse tulemusena saadud hoone soojabilanss summaarselt kütteperioodi kuude kohta.

Alljärgnevalt on esitatud ka akende summeeritud soojabilansid kütteperioodi kuude kohta, mis võimaldab detailsemalt analüüsida erinevatesse ilmakaartesse orienteeritud akende soojakadude ja siseneva päikesekiirguse suhet.



Joonis 29. Arvutuse tulemusena saadud akende soojabilanss summaarselt kütteperioodi kohta.

Arvutuslik primaarenergiavajadus erinevate küteliikide lõikes

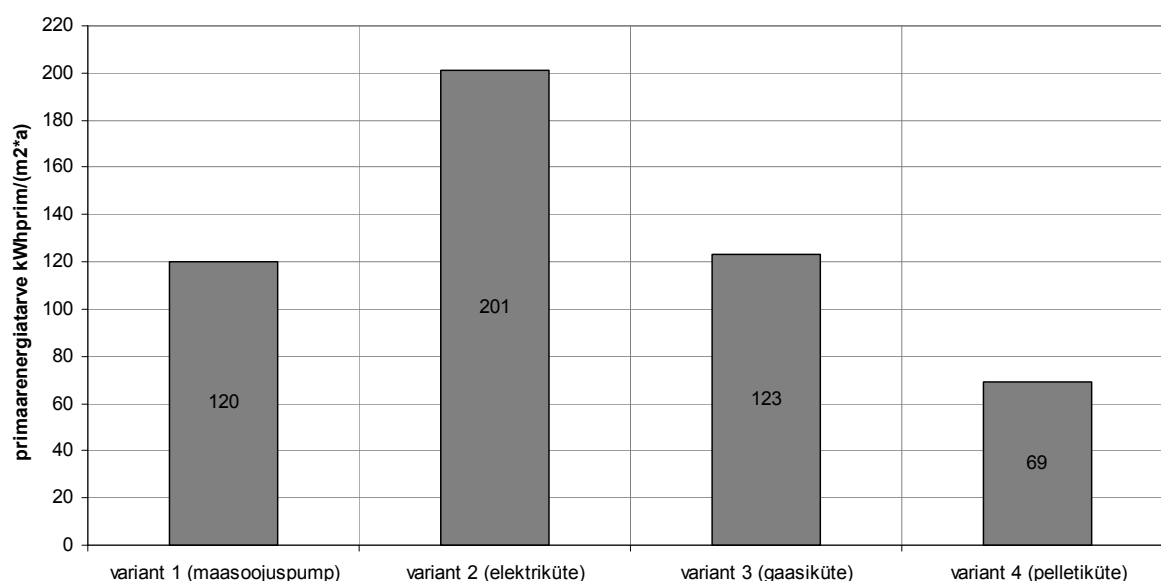
Hoone arvutuslik primaarenergiavajadus hõlmab lisaks ruumide neto küttevajadusele ka soojuse tootmise ja jaotamise kadusid ning energivajadust tarbevee soojendamiseks, valgustite, olmeseadmete ja tehnosüsteemide käitamiseks, arvestades seejuures kasutatud energiaallikate primaarenergiategureid.

Lähtuvalt eelnevast väljendab primaarenergiavajadus kogu hoone eksploatatsiooni keskkonnamõju.

Primaarenergiategurite väärtustena on kasutatud vastavaid Euroopa keskmisi väärtusi lähtuvalt GEMIS andmestikust, mis sisalduvad ka PHPP2007 tarkvara töölehtedel.

Tabel 9. Näitena kirjeldatud hoone primaarenergiavajadusega seotud eeldusandmed

kütte jaotussüsteem	radiaatorid
kütteallikas ruumide küttel ja tarbevee soojendamisel	
variant 1 (primaarenergiategur PE Euroopa keskmisena)	maasoojuspump (kasutegur 2,2) (2,7 kWh _{prim} /kWh _{lõppt})
variant 2 (primaarenergiategur PE Euroopa keskmisena)	elektriküte (2,7 kWh _{prim} /kWh _{lõppt})
variant 3 (primaarenergiategur PE Euroopa keskmisena)	gaasikatel (kondens.) (1,1 kWh _{prim} /kWh _{lõppt})
variant 4 (primaarenergiategur PE Euroopa keskmisena)	pelletikatel (0,2 kWh _{prim} /kWh _{lõppt})
sooja tarbevee vajadus	50 (l/in*päevas)
sooja tarbevee ja külma vee temperatuuride vahe	50 °C
tarbevee soojendamise arvutuslik soojusenergiatarbimine arvestades jaotuskadusid (PHPP meetod)	34,1 kWh/m ² *a
arvutuslik ruumide kütte soojusenergiavajadus arvestades jaotuskadusid (PHPP meetod)	20,1 kWh/m ² *a
hoone tehnosüsteemide arvutuslik abielektritarbimine (PHPP meetod)	3,9 kWh/m ² *a
valgustite ja olmeseadmete arvutuslik elektritarbimine (PHPP meetod)	16,2 kWh/m ² *a



Joonis 30. Näitena kirjeldatud hoone primaarenergiatarbimine erinevate küteliikide korral.

Toodud variantidest vastavad passiivmaja primaarenergiavajaduse kriteeriumitele konkreetses näites variant 1 (maasoojuspump) ja variant 4 (pelletküte). Teised kaks sama hoone varianti ületavad primaarenergiavajaduse osas 120 kWh/m² piiri.

Kvaliteedi tagamine

Kvaliteedi tagamise protsess

Kõrge kvaliteedi tagamine eeldab tavapärasest suuremat tähelepanu nii projekteerimiskui ehitusfaasis. Kvaliteedi tagamise protsess jaguneb järgmisteks valdkondadeks:

- Projekteerimine
- Ehitusaegne kontroll
- Õhupidavuse mõõtmised
- Tehnosüsteemide paigalduse kontroll (ventilatsiooniseade, küttesüsteem)
- Valmis hoonekarbi järelkontroll
- Kasutajale antav informatsioon
- Primaarenergiavajaduse järelkontroll (tõhus kodutehnika)

Tüüpilised tegevused kvaliteedi tagamiseks on kirjeldatud alljärgnevas tabelis.

		Meetod / vahend	Aeg
1	Projekteerimine	<ul style="list-style-type: none">• Vajalik on integreeritud projekteerimine• Kasutatud on PHPP-d, küttekoormusest on kinni hoitud• Ventilatsiooni projekteerimine• Õhupidavuse kontseptsioon• Külmasildade vältimiseks on olemas sõlmelahendused• Suvine palavus?• Tõhusate elektriseadmete valik	Kavandamise algusest
2	Ehitusaegne kontroll	<ul style="list-style-type: none">• Komponentide ja paigalduse kvaliteedikontroll (nt soojustuse paigaldus)• Külmasillata sõlmede teostuse kontroll	Ehituse vältel
3	Õhupidavus (n₅₀-arv)	<ul style="list-style-type: none">• Õhupidavuse mõõtmine Blower-Door seadmega	Hoonekarp on valmis, enne siseviimistlust
4	Ventilatsiooni-seadme kvaliteedikontroll ja seadistamine (kõikide tehnosüsteemide kvaliteedikontroll)	<ul style="list-style-type: none">• Õhukanalite süsteem: tihedad ühendused, puhtus, mürasummutus, soojusisolatsioon• Tasakaalustatud sissepuheväljatõmme	Ventilatsiooniseade on töövalmis
5	Valmis hoonekarbi järelkontroll	Külmasildadeta piirded/soojustus/ akende paigaldus <ul style="list-style-type: none">• reeglina visuaalne kontroll• termograafia	Hoone peab olema kõetud
6	Kasutajainfo	Kasutaja käsiraamat/juhised	Sissekolimisel
7	Energia- ja tõhus kodutehnika (primaarenergia-vajadus)	<ul style="list-style-type: none">• Elektriliste koduseadmete hankimise plaan	Enne seadmete hankimist

Kokkuvõte: kontrollnimekiri

Kontrollnimekiri on ülevaade soovituslikest sammudest kvaliteedi tagamiseks.

1. Detailplaneering

- Võimalik on valida kompaktne hoonevorm (hoone ruumala kohta luuakse vähe välispiirdeid), eelis tekib nt ridaelamu valikul.
- Põhifassaadi saab orienteerida lõunasse ($\pm 30^\circ$); lõunafassaadile saab kavandada suuremad klaaspinnad.
- Naabruses olevad objektid ei takista päikeseenergia passiivset kasutamist.
- Kavandatud haljastus ei varjuta päikest.

2. Eskiis

- Võimalused kompaktse hoonevormi loomiseks on realiseeritud (A/V-indeks väike).
- Lõunafassaadi klaaspinnad on optimaalsed; ida/lääne ja põhjasuunas ei ole ilma põhjuseta suuri klaaspindu.
- Hooneosad (rõdud, varikatused, välised vaheseinad, eraldi hooneplokid...) ei varjuta talveperioodil päikest (või varjutavad väga vähe).
- Ümbrise vorm on lihtne (ilma liigse liigendusega).
- Plaanilahendus: installatsioonid on kontsentreeritud (nt vannitoad köögi kõrval või lähedal).
- Otsus keldrikorruse kohta: eelistatud on kütteta kelder, mis on soojast ümbriseist õhupidavalt ja külmasillavabalt eraldatud, sooja keldrilaega, väikestel hoonetel ilma hoonesisese trepita.
- Eelmodelleeritud PHPP-s.**

3. Eelprojekt

- Soojustuse paksus on valitud.
- Külmasillad on välditud.
- Tehnosüsteemide ruumivajadus on planeeritud.
- Maja plaanilahendus võimaldab lühikesi torujuhtmeid (soe vesi, külm vesi, kanalisatsioon); lühikesed õhutuskanalid. Külmaõhukanalid sooja ümbrise sees (ja soojaõhukanalid soojast ümbriseist väljaspool) on lühikesed ja hästi soojustatud.
- PHPP-s edasi modelleeritud.**

4. Põhiprojekt ja tööjoonis – hooneümbris

- Detailiseeritud piirde soojapidavus (U-arv reeglina alla $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ a})$; sageli $U \leq 0,1$).
- Külmasillavabad liited:** arvutus või andmed sõlme kohta kataloogist.
- Kestvalt õhupidavad konstruktsioonide liitekohad.
- Optimeeritud avatäited (klaaspaketi valik, raamide valik, klaasi osakaal koguavast, päikesekaitse).
- Modelleerimine PHPP-s lõpule viidud:** olemas on soojusbilanss, suveolukorra kontroll, primaar-energiavajadus.

5. Põhiprojekt ja tööjoonis – ventilatsioon

- Kanalivõrk:** külmaõhukanalid ei ole hoonekarbi sees; kui, siis väga lühikesed või **väga** hästi soojustatud; kanalite sisepind on sile; õhu liikumise kiirus $\leq 3 \text{ m/s}$; mõõte- ja tasakaalustamise vajadustega on arvestatud; helikaitse; tulekaitse

- ☑ Sissepuhkeventiilid: lühivool on välditud; viskekaugus; tasakaalustamise võimalus. Väljatõmbeventiilid: ei paikne küttekeha kohal (kui on olemas). Ülerõhuklapid on dimensioneeritud $\Delta p \leq 1$ Pa. Kõik ruumid peavad olema õhutatud (olema sissepuhke-, väljatõmbe- või vahetsoonis).
- ☑ **Ventilatsiooniseade:** Soojavaheti paikneb soojapidava piirde lähedal; järelkütteregister on sooja ümbrise sees; vastasel juhul on ventilatsiooniseade ja järelkütteregister lisasoojustatud. Soojustagastus on PHI-meetodi⁽⁵⁾ järgi $\geq 75\%$. Agregaadi kest on õhupidav (leke $< 3\%$); tõhus elektrikasutus ($< 0,45$ Wh/m³). Hea mürasummutus; kest on hästi soojustatud.
- ☑ Õhuvahetuse reguleeritavus: kasutajapoolne seadistusvõimalus “nõrk”, “keskmine”, “tugev”; vajadusel lisalüliti köögis või vannitoas/WC-s.
- ☑ Kõõgikubu: eelistatud on siseõhuringlusega seade, millel on kõrge lõhnaeelalduseefektiivsus väikeste õhuvooluhulkade korral; tõhus rasva- ja aktiivsõefilter.
- ☑ Mõõdalaske seadistuse võimalus (suveolukord).

6. Põhiprojekt ja tööjoonis – muu hoonetehnika

- ☑ Sanitaartehnika, soe vesi: lühike trass, hästi soojustatud **seespool** hooneümbrist.
- ☑ Sanitaartehnika, külm vesi: lühike trass, soojustatud tavalisel viisil kondensvee vältimiseks.
- ☑ Kütetorustikud on soojustatud.
- ☑ Reovesi: lühike trass (ainult üks püstak); tuulutus katuse all (eelistatud); kui on väline tuulutus-toru, siis soojustatud.
- ☑ Sanitaartehnika ja elektripaigaldis: kui võimalik, siis ei läbi hooneümbrise õhupidavat kihti; kui läbib, siis on läbiviigu õhupidavus tagatud.
- ☑ Valitud on energiatõhus kodutehnika (soovitav on valik kirjeldada PHPP-s).

7. Teostus – hooneümbris

- ☑ **Külmasildade puudumine:** objektil on teostatud kontroll kvaliteedi tagamiseks.
- ☑ **Soojustuse paigaldus:** soojustus on paigaldatud ühtlaselt ilma tühimiketa.
- ☑ **Õhupidavus:** liited on kontrollitud kuni neile on juurdepääs.
- ☑ **Õhupidavus:** ehitusfaasis mõõdetud. Millal? Niipea kui ümbris on valminud, kuid selle õhupidavale kihile on veel juurdepääs. Kuidas? n_{50} -test Blower Door seadmega, nii ala- kui ülerõhutest; lekkekohad on markeeritud.

8. Teostus – ventilatsioon

- ☑ **Läbiviigud** on õhupidavad.
- ☑ Kanalite sisepinnad on puhtad, liitekohad on hoolikalt tihendatud.
- ☑ Agregaadile on juurdepääs filtrite vahetamiseks; helisummutus on tagatud.
- ☑ Kanalitel on soojusisolatsioon (kus vajalik).
- ☑ **Vooluhulgad on normaalrežiimile seadistatud;** sisse- ja väljapuhke vooluhulgad on mõõdetud, tasakaalustatud; tegelik elektritarve on mõõdetud.

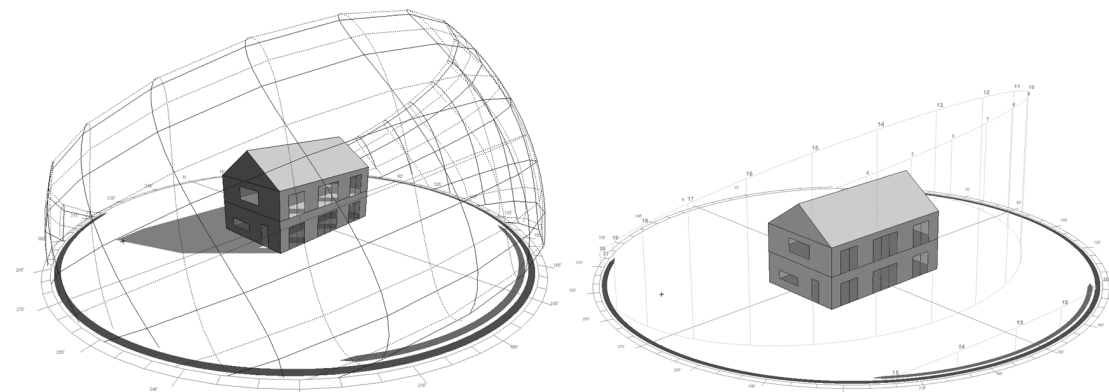
9. Teostus – muu hoonetehnika

- ☑ **Läbiviikude õhupidavus on kontrollitud.**
- ☑ **Torustike soojusisolatsiooni paigaldus on kontrollitud.**

⁵ PHI – *Passivhaus Institut*; Saksamaa Passiivmaja Instituudi meetod ventilatsiooniagregaadi soojustagastuse määra defineerimiseks; võtab arvesse ventilatsiooniagregaadi ja ruumi vahel toimuva soojavahetuse ja annab korrektse sisendi PHPP meetodiga energiabilansi arvutusse

Paiknemine ja geomeetria

Krundi kiirusolusid mõjutab krundi suurus ja kuju, maapinna kalle ning mitmesugused kõrvalobjektid nagu puud, kõrvalhooned või järsk reljeef. Neid kõiki faktoreid tuleks arvesse võtta, et saada hea ettekujutus krundi kiirusoludest ning selle muutlikkusest päeva jooksul ning aastaegade lõikes.



Joonis 31. Päikese liikumine aasta kestel ja pööripäevadel (21. detsember ja 21. juuni).

Talveperioodil on päikesepaiste kestus lühike, päikese kõrgusnurk madal ning päikese näiva liikumise asimuutide vahemik (nõ päikesepaiste sektor) kitsas (vt järgnev tabel). Suvel seevastu on päikese kõrgusnurk suur (keskpäeval üle 50 kraadi) ning päikese näiva liikumise asimuutide vahemik väga lai (ca kolmveerand kogu panoramaamist).

Tabel 10. Päikese tõusu ja loojangu asimuut ning keskpäevane kõrgus Tartus erinevatel aastaaegadel

kuupäev	päikese asimuut		päikese kõrgusnurk keskpäev
	tõus	loojang	
21. detsember	139,2	220,9	8,3
21. märts	90,5	268,6	31,5
21. juuni	40,9	318,9	55,2
21. september	88,1	271,9	32,8

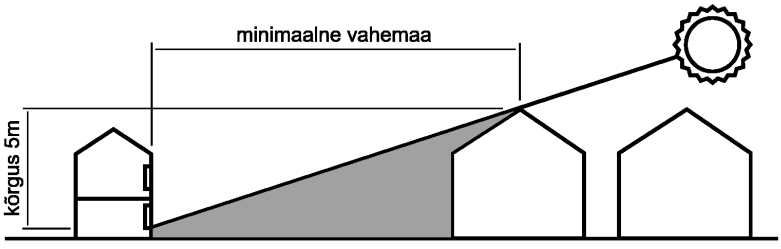
Kõrvalobjektide mõju analüüsil tuleb arvesse võtta ka võimalikke muutusi tulevikus – nt planeeringuga ette nähtud arendustegevust naaberkruntidel, tiheda puuderinde kõrguse kasvu jne. Alljärgnevalt on esitatud näide kõrvalobjektide mõju analüüsist päikese otsekiirguse hulkadele hoone välispinnal.

Talveperioodil on päikese kõrgusnurk Eesti laiuskraadil väga madal, ulatudes talvisel pööripäeval keskpäeva paiku ca 8–9 kraadi üle horisondi. See tähendab, et päikeseenergia passiivsel kasutamisel on oluline tagada piisav kaugus kõrvalobjektidest, et hoone lõunafassaad ei jääks täielikult kõrvaobjektide varju.

Näitena on järgnevalt toodud minimaalne vahekaugus uuritava hoone akende ja varjutava kõrvalobjekti vahel, mille kõrgeim punkt ulatub 5 m võrra kõrgemale uuritava akende alaservast. Varjutav kõrvalobjekt asub uuritavatest akendest kas kagus (asimuut 135°), otse lõunas (asimuut 180°) või edelas (asimuut 225°). Tabelist on

näha, et sellise kõrgusega varjava objekti korral on talvise pööripäeva paiku keskpäeval vaja minimaalselt 30–35 m vahemaad varjutava objekti ja kavandatava hoone vahel. Keskpäevast hommiku ja õhtu poole on päikese kõrgus juba madalam ning minimaalne vahemaa varjutuse vältimiseks venib oluliselt pikemaks. Tabelist on ka näha, et varjutavate objektide mõju aasta lõikes on väga varieeruv. Keerulisema varjutusolukorra hindamiseks (nt tiheasustusega piirkonnas) on vaja läbi viia juba detailsem analüüs, kasutades piirkonna 3D mudelit.

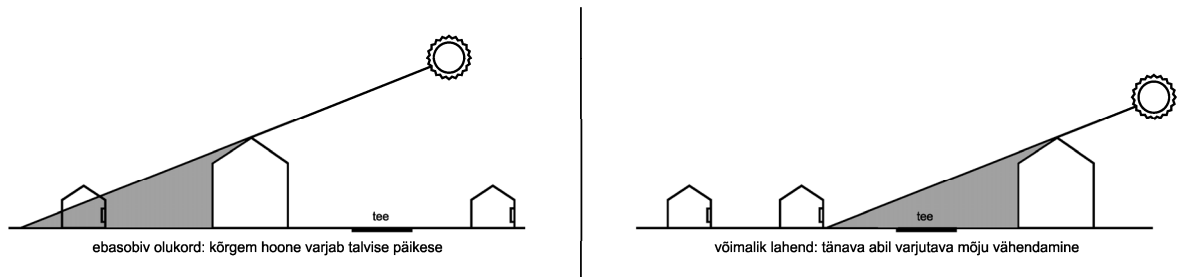
Tabel 11. Minimaalne vahekaugus, mille korral akna alaservast 5 m kõrgem kõrvalhoone ei varja päikese otsekiirgust kuude lõikes ja 3 erineva päikese asimuudi korral



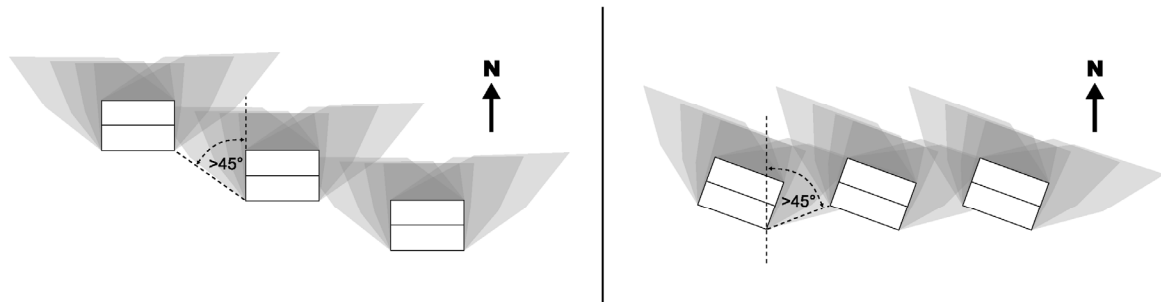
kuupäev	päikese asimuut 135	päikese asimuut 180	päikese asimuut 225	päikese asimuut 135	päikese asimuut 180	päikese asimuut 225
	päikese kõrgus (°)	päikese kõrgus (°)	päikese kõrgus (°)	min. kaugus (m)	min. kaugus (m)	min. kaugus (m)
15. jaan	0,5	10,4	0,5	572,9	27,2	572,9
15. veebr	9,5	18,6	9,5	29,9	14,9	29,9
15. märts	20,8	29,1	20,8	13,2	9,0	13,2
15. apr	33,7	41,1	33,7	7,5	5,7	7,5
15. mai	43,8	50,4	43,8	5,2	4,1	5,2
15. juuni	48,9	55	48,9	4,4	3,5	4,4
15. juuli	47,1	53,5	47,1	4,6	3,7	4,6
15. aug	39,1	46,1	39,1	6,2	4,8	6,2
15. sept	27,2	35,1	27,2	9,7	7,1	9,7
15. okt	14,7	23,5	14,7	19,1	11,5	19,1
15. nov	3,8	13,5	3,8	75,3	20,8	75,3
15. dets	päike ei ole veel tõusnud	8,5	päike on juba loojunud	–	33,5	–

Lihtsam analüüs asukoha valikul:

- Olulisemate varju heitvate kõrvalobjektide varjutava mõju ligikaudne hindamine hoone lõunafassaadile lähtuvalt päikese kõrgusnurgast ja asimuudist ning kõrvalobjektide kõrgusest, arvatud minimaalse vahemaa ja tegeliku vahemaa võrdlusel.
- Arendusprojektide puhul lihtsustatud põhimõtete järgmine nagu tänavate ja haljasalade kasutamine hoonetevahelise kauguse suurendamisel, liiga suurte tagasiastete vältimine hoonete reastamisel tänavate ääres jne (vt. järgnevaid jooniseid).

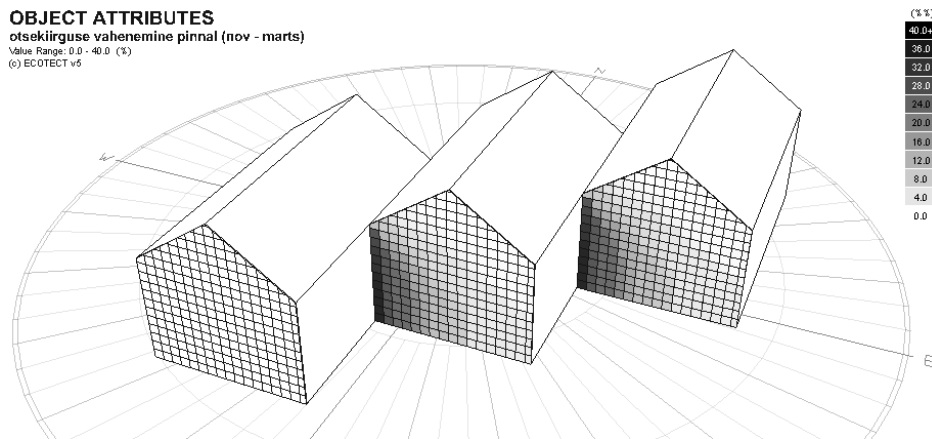


Joonis 32. Hoonetest lõuna poole jääva vaba vahemaa maksimeerimine detailplaneeringus.



Joonis 33. Hoonete paigutamisel tuleb hoiduda suurtest tagasiastetest. Hoonete lõuna-fassaadide ühendusjoone ning põhjasuuna vaheline nurk peaks olema vähemalt 45°.

Sõltuvalt hoone vormist võib hoone enda geomeetria olla olulise varjutava mõjuga. Kõrge energiatõhususega hoone puhul on oluline see energiaarvutustes arvesse võtta.



Joonis 34. Hoone geomeetria mõju päikese otsekiirguse vähenemisele kütteperioodil.

Kõrvalhoonete ning hoone enda geomeetria (aknapaaled, päikesekaitsesirmid, väljalatuvad seinuosad) mõju on energiaarvutustel võimalik enamikel juhtudel lihtsustades arvesse võtta. Ka PHPP2007 tarkvara töölehtedel võetakse lihtsustatud kujul arvesse kõrvalobjektide ning hoone enda geomeetria mõju summaarse päikese kiirguse hulkade vähenemisele. Alljärgnevalt on näitena toodud väljalõige PHPP2007 tarkvara töölehest, kus kirjeldatud tegurid tuleb sisestada.

CALCULATING SHADING FACTORS

Climate: Eesti energiaarvutuste baasaasta
 Building: Kahekordne 4-korteriga korterelamu
 Latitude: 58,3

Orientation	Glazing Area m ²	Reduction Factor f _s
North	8,34	87%
East	6,10	78%
South	28,24	84%
West	7,30	80%
Horizontal	0,00	100%

Quantity	Description	Deviation from North Degrees	Angle of Inclination from the Horizontal Degrees	Orientation	Glazing Width m	Glazing Height m	Glazing Area A ₀	Height of the Shading Object h _{hor} m	Horizontal Distance d _{hor} m	Window Reveal Depth o _{reveal} m	Distance from Glazing Edge to Reveal d _{reveal} m	Overhang Depth o _{over} m	Distance from Upper Glazing Edge to Overhang d _{over} m	Additional Shading Reduction Factor f _{gather} %	Horizontal Shading Reduction Factor f _h %	Reveal Shading Reduction Factor f _r %	Overhang Shading Reduction Factor f _o %	Total Shading Reduction Factor f _s %
2	S1k_V1	180	90	South	1,82	1,42	5,2			2,05	1,050	2,00	0,9		100%	83%	93%	77%
2	S1k_D2	180	90	South	0,70	1,87	2,6			2,05	1,610	2,00	0,9		100%	83%	94%	78%
2	S1k_V2_1	180	90	South	0,42	1,42	1,2			0,11	0,070	0,80	0,3		100%	93%	96%	89%
2	S1k_V2_2	180	90	South	1,82	1,42	5,2			0,11	0,070	0,80	0,3		100%	98%	96%	94%
2	S2k_V1	180	90	South	1,82	1,42	5,2			2,05	1,050	2,00	0,3		100%	83%	89%	74%
2	S2k_D2	180	90	South	0,70	1,87	2,6			2,05	1,610	2,00	0,3		100%	83%	91%	76%
2	S2k_V2_1	180	90	South	0,42	1,42	1,2			0,11	0,070	0,80	0,3		100%	93%	96%	89%
2	S2k_V2_2	180	90	South	1,82	1,42	5,2			0,11	0,070	0,80	0,3		100%	98%	96%	94%
1	W1k_V3	270	90	West	1,36	0,32	0,4	5,2	4,84	0,11	0,070	0,11	0,070		39%	93%	88%	32%
1	W1k_V4	270	90	West	0,46	1,42	0,6			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	84%	96%	81%
1	W1k_V6_1	270	90	West	0,42	0,92	0,4			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	83%	95%	78%
1	W1k_V6_2	270	90	West	1,26	0,92	1,2			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	93%	95%	88%
1	W1k_V5	270	90	West	1,46	1,12	1,6			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	93%	95%	89%
1	W2k_V3	270	90	West	1,36	0,32	0,4	2	4,84	0,11	0,070	0,11	0,070		67%	93%	88%	55%
2	W2k_V4	270	90	West	0,46	1,42	1,3			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	84%	96%	81%
1	W2k_D3	270	90	West	0,70	1,87	1,3			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	88%	97%	85%
1	N1k_V4	0	90	North	0,46	1,42	0,6			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	89%	96%	86%
2	N1k_V6_1	0	90	North	0,42	0,92	0,8			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	89%	94%	83%
2	N1k_V6_2	0	90	North	1,26	0,92	2,3			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	95%	94%	89%
1	N1k_V5	0	90	North	1,36	0,32	0,4			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	96%	86%	82%
1	N2k_V5	0	90	North	1,36	0,32	0,4			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	96%	86%	82%
2	N2k_V6_1	0	90	North	0,42	0,92	0,8			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	89%	94%	83%
2	N2k_V6_2	0	90	North	1,26	0,92	2,3			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	95%	94%	89%
1	N2k_V4	0	90	North	0,46	1,42	0,6			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	89%	96%	86%
2	E1k_V4	90	90	East	0,46	1,42	1,3			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	84%	96%	81%
1	E1k_V6_1	90	90	East	0,42	0,92	0,4			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	83%	95%	78%
1	E1k_V6_2	90	90	East	1,26	0,92	1,2			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	93%	95%	88%
1	E1k_V3	90	90	East	1,36	0,32	0,4	5,2	4,84	0,11	0,070	0,11	0,070		39%	93%	88%	32%
1	E2k_V5	90	90	East	1,36	0,32	0,4			0,11	0,070	0,11	0,070		100%	93%	88%	82%

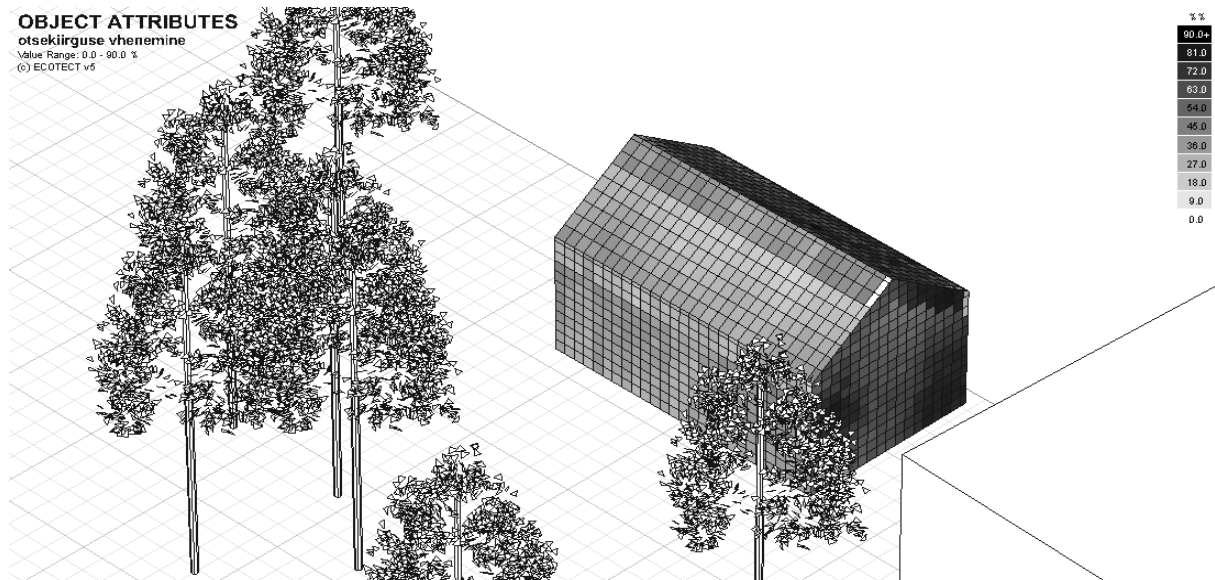
Joonis 35. Näitena varjutusaste arutamiseks vajalike parameetrite sisestamine PHPP2007 tarkvara vastaval töölehel.

Analüüsil on oluline arvesse võtta:

- kõrvalobjektide (hooned, kõrghaljastus, järsk reljeef) mõju
- hoone enda geomeetriast (väljaulatuvad hoone fassaadiosad, välimised aknapõsed, statsionaarsed päikesekaitselahendused) tingitud mõju
- klaaspindade määrdumise mõju

Keerulised varjutusolud (nt tiheasustusaladel vms) nõuavad detailset analüüsi. Kiirgusolude detailsemat analüüsi saab läbi viia mitmesuguste hoonesimulatsioonivahenditega, mis võimaldavad krundist ja selle lähiümbrusest koostada detailse kolme-mõõtmelise mudeli. Sobivaima asukoha leidmisel saab:

- määrata päikese otsekiirguse jaotumise talvekuudel või kütteperioodi kestel hoone hüpoteetilisel lõunafassaadil või kogu pinnal erinevates potentsiaalsetes asukohtades
- määrata päikese otsekiirguse intensiivsus ja hulgad kogu aasta kuude ja kellaegade lõikes hoone hüpoteetilisel lõunafassaadil erinevates potentsiaalsetes asukohtades



Joonis 36. Päikese otsekiirguse vähenemine (%) hoone fassaadi pinnal kütteperioodil (oktoober – märts) kõrvalobjektide (kõrvalhooned ja puud) varjutava mõju tõttu.

INCIDENT SOLAR RADIATION - Average Daily												Eesti (tervikuna), ESTONIA (Direct Only)					
Hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	22.8319	37.7101	69.5113	44.6193	38.0907	30.9767	35.3752	38.9923	49.7065	53.2407	48.1440	34.2426	3.60633	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec					

Joonis 37. Näitena detailse analüüsi tulemus (kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad analüüsitud fassaadiruudul pinnaühiku kohta).

Hoonekarp: funktsionaalsed eesmärgid passiivmajade puhul

Kõrge soojuslik mugavus tuleb tagada ruumide neto küttevajaduse juures < 15 kWh/(m² a) ja kõrge hoone kasutusmugavus primaarenergiavajaduse juures < 120 kWh/(m² a).

Sellest tulenevad otseselt järgmised alameesmärgid:

A. Hoone ümbrise kvaliteet

- transmissioonisojakaod peavad olema väikesed – tähendab eelkõige, et kavandatav hoone on kompaktses vormis, soojustuse kvaliteet on kõrge, soojakaod läbi **külmasildade** on väikesed ning välditud on liigseid klaaspindu ja nende ülemäärast killustamist
- ventilatsiooni soojakaod peavad olema väikesed – tähendab eelkõige, et hoonekarbi **õhupidavus** on hea
- tagatud on kõrge soojuslik mugavus – tähendab eelkõige, et **akende soojapidavus** on hea

B. Tehnosüsteemide kvaliteet

- ventilatsiooni soojakaod peavad olema väikesed (kasutatakse kõrge tõhususega soojustagastust), välditud on tuuletõmbus ja lõhnad, tagatud on hea õhukvaliteet – tähendab eelkõige, et ventilatsiooniseadmed on **projekteeritud ja välja ehitatud kvaliteetselt**
- “tavalised” kvaliteedinõuded kütte ja soojavee lahendustele on täidetud

C. Elektriliste majapidamisseadmete kvaliteet

- seadmete elektrienergiavajadus peab olema väike, need ei tohi põhjustada müra, valgustus ja muud teenused on hea kvaliteediga – tähendab eelkõige, et **elektriseadmed on projekteeritud ja välja ehitatud kvaliteetselt**

Kesksed punktid passiivmaja tasemel hoone kvaliteedi tagamiseks:

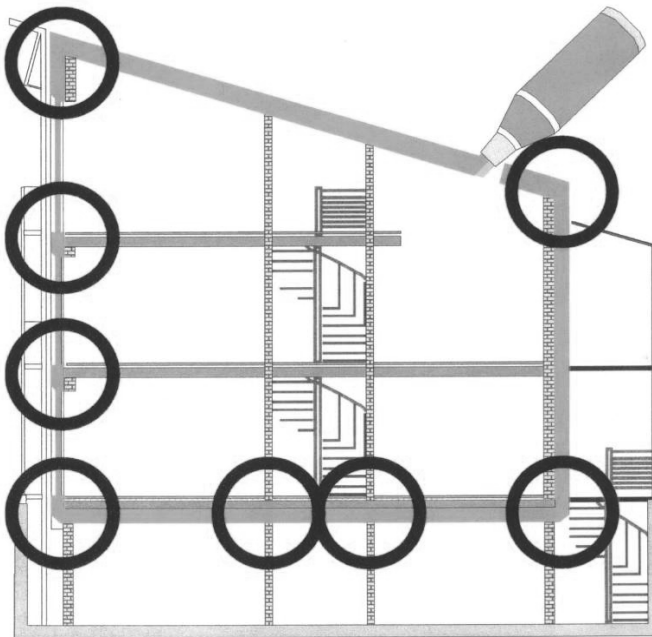
1	Väikesed soojakaod läbi külmasildade (ka teostus): külmasildadeta ehitamine	külmasillavaba
2	Hea õhupidavus: õhupidava piirde ehitamine	õhupidav
3	Akna väike U-arv: kvaliteeditaseme valik, paigalduse lahendus	aken 0,8 W/(m ² K)
4	Ventilatsiooniseadme projekteerimise ja väljaehitamise kvaliteet: kvaliteeditaseme valik, õhujuhtimine, müraisolatsioon, õhupidavus, seadistus, kasutajainfo	kõrge tõhususega ventilatsioon
5	Elektriseadmete projekteerimise ja väljaehitamise kvaliteet: kvaliteeditaseme valik, stand-by piiramine, seadistus, kasutajainfo	elektriseadmete tõhusus

Kõikides nendes lõikudes võib praktikas tekkida suuremaid või väiksemaid möödalaskmisi. Põhjused on tüüpiliselt 1) rahaline piir, 2) ajasurve, 3) teadmatus. Oluline on osata neile asjadele uuesti tähelepanu pöörata.

Külmasillad

Külmasillavaba piirde tagamiseks on lihtne järgida põhimõtet, et iga plaani-lõike peal peaks suutma joonistada mõõtkavas 200 mm laiuse joonena soojustuskihi mööda suletud kontuuri (ilma pliatsit paberilt tõstmata).

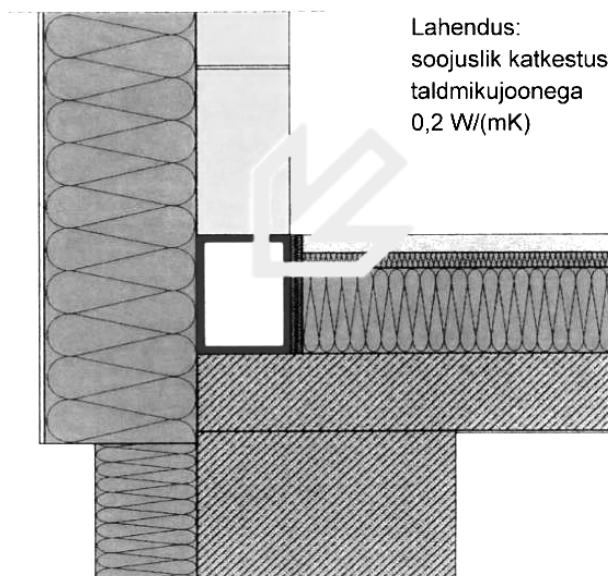
Plaani-lõikel tuleks markeerida kriitilised punktid ja leida neile sobivas mõõtkavas lahendused. Tuleks hinnata nende praktilist teostatavust ning esitada sõlm nii, et plaanide järgi on võimalik otse ehitada.



Joonis 38. Külmasillavaba ehitamise põhimõte (PHI).

Hea tava on näidata tööjoonistel minimaalselt joonisel näidatud sõlmed.

Näide tüüpilise seina – põranda külmasilla vältimise lahendamiseks on toodud alumisel joonisel. Alumine plokirida laotakse väiksema soojusjuhtivusega materjalist; paremini isoleeriva materjali kõrgus peab ulatuma sama kõrguseni, kuhu hiljem on kavas tõsta keldrilae soojustus.



Joonis 39. Soojuslähivuse katkestust tekitav plokirida kui näide lahendusest tüüpilisele külmasillale (PHI).

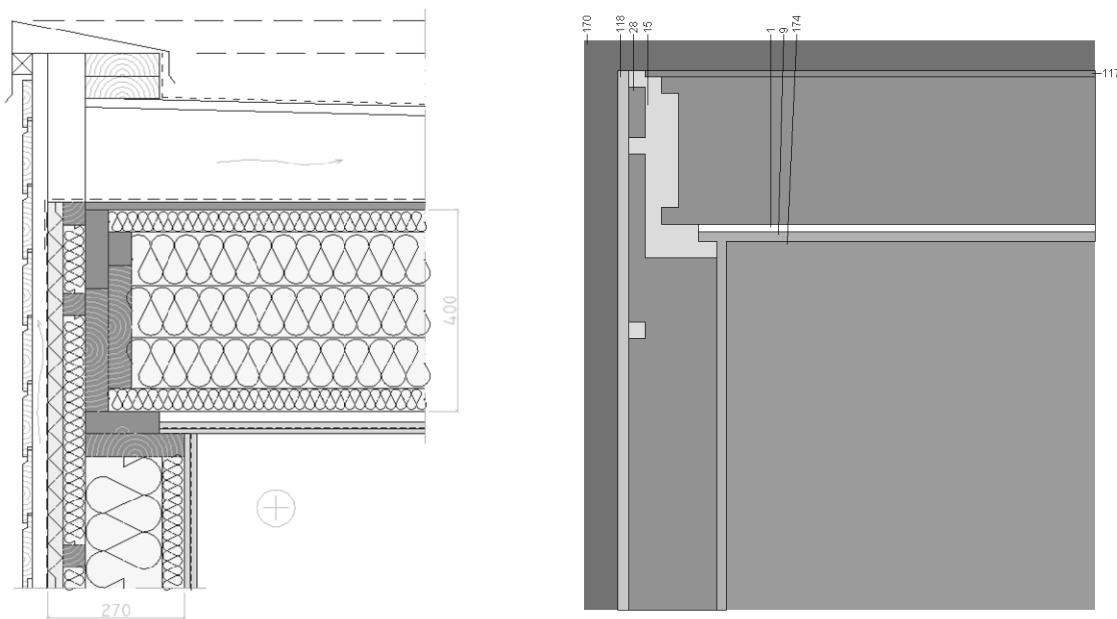
Külmasillavaba välispiirde kontseptsiooni puudumist ei saa hilisema hoolika teostusega kompenseerida.

Soovitav on kaasata lõpplahenduse joonistamisse ka võimalik ehitaja. Praktilistest kogemustest sünnivad reeglina lihtsamad ja odavamad lahendused.

Kolm võimalust külmasillavaba hoonekarbi realiseerimiseks:

1	Enda detaililahendus lähtudes külmasillavaba ehitamise põhimõtetest – reeglina on nõutud külmasillakoeffitsientide arvutus – vajalik on põhjalik nõustamine ehitusplatsil
2	Publitseeritud detailide kasutamine (nt IBO 2009) – külmasillakoeffitsiendid on teada – vajalik on põhjalik nõustamine ehitusplatsil
3	Kvaliteeditõendusega detailide kasutamine süsteemlahenduse pakkujatel – külmasillakoeffitsiendid on teada – teostuskvaliteet on tagatud süsteemi pakkuja poolt

Näide joonkülmasilla arvutamisest



Joonis 40. Näide arvutatud sõlmest, Physibel Bisco (Kodumaja AS sõlm).

Soojavoog läbi sõlme $Q = 5,125 \text{ W/m}$

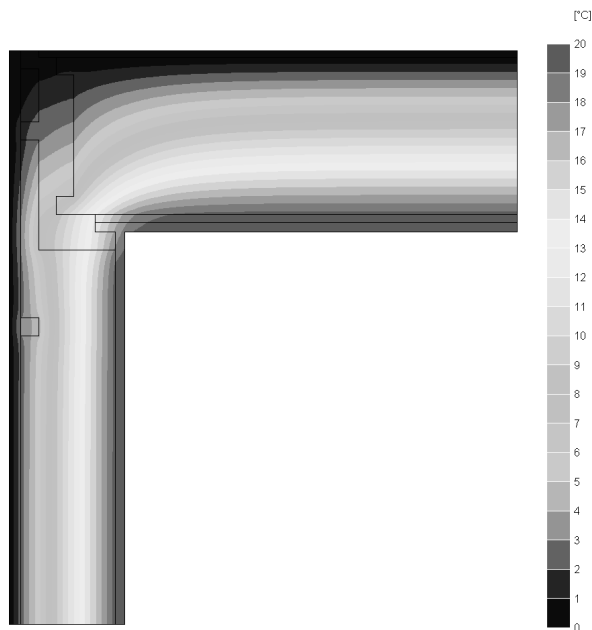
Sise- ja välisõhu temperatuuride erinevus $\Delta T = 20 \text{ °C}$.

Thermal coupling coefficient $L^{2D} = 0,257 \text{ W/K}$.

Joonkülmasilla lisakonduktanss $\psi = L^{2D} - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2$ (EN ISO 10211-2).

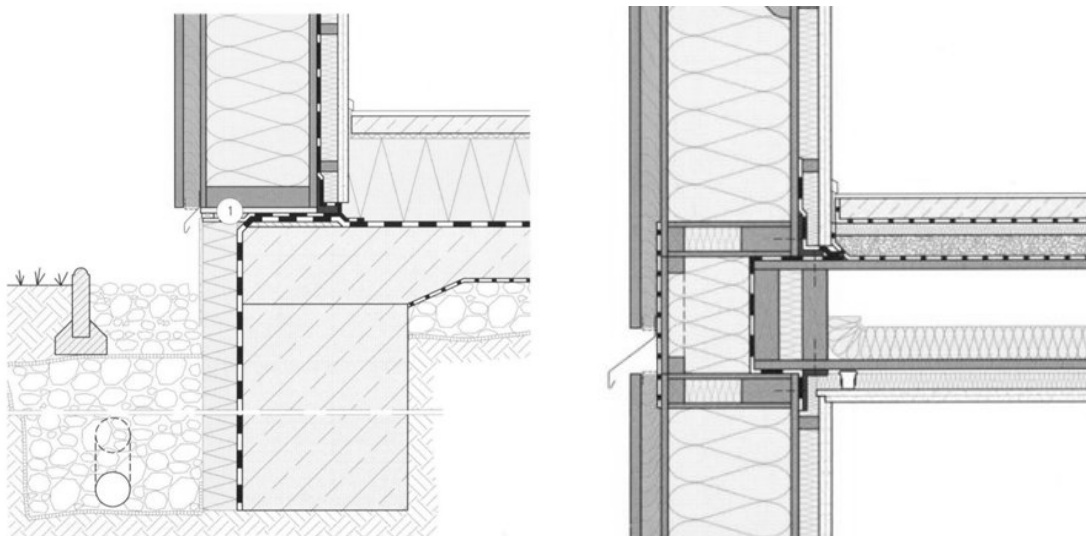
Tulemused:

	1. Päärdeosa pikkus l_1 (m)	1. päärdeosa U_1 (W/m^2K)	2. päärdeosa pikkus l_2 (m)	2. päärdeosa U_2 (W/m^2K)	Külmasilla lisakonduktanss ψ (W/mK)
välismõõtmete järgi	1,462	0,124	1,295	0,084	-0,033
sisemõõtmete järgi	1,000	0,124	1,000	0,084	0,049

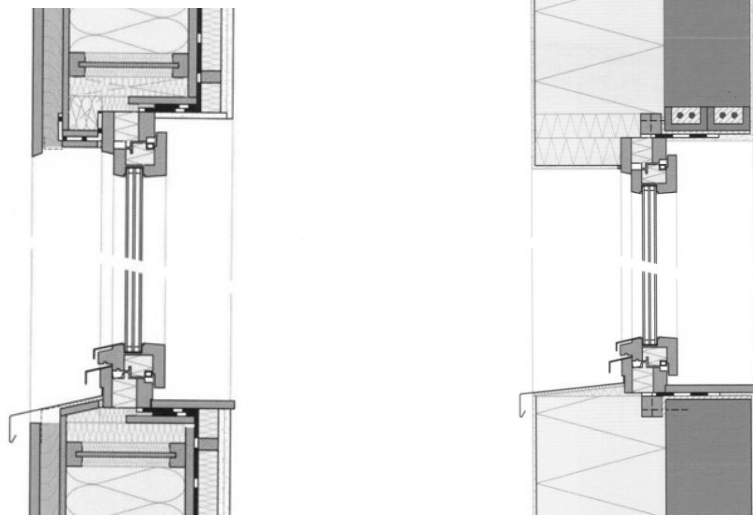


Joonis 41. Temperatuuride jaotumine sõlmes.

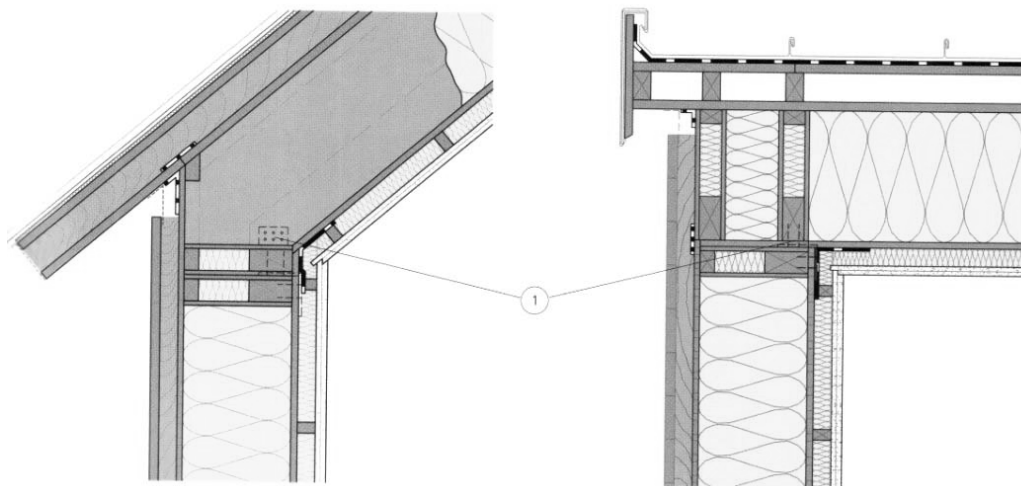
Lineaarne soojusläbivus ψ (psii) arvutatakse vastavalt EN ISO 10211-02 meetodikale ning konstruktsiooni välismõõtude järgi.



Joonis 42. Sõlmenäited Austria passiivmajade kataloogist. Kõikide lahenduste juures on antud ka lineaarse soojusläbivuse ψ (psii) väärtus. Joonistel on lahendatud ka õhupidavuse küsimus (Details for Passive Houses, 2008).



Joonis 43. Aknapaigutus nii puitkarkassiga seinas kui ka kärgtellisega seinakonstruktsiooni puhul (Details for Passive Houses, 2008).

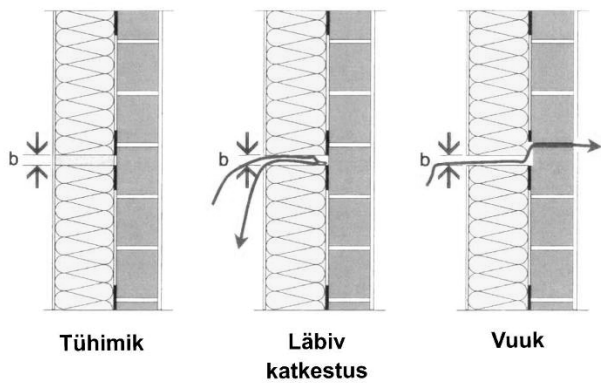


Joonis 44. Katuslae sõmelahendused passiivmaja sõmede kataloogist (Details for Passive Houses, 2008).

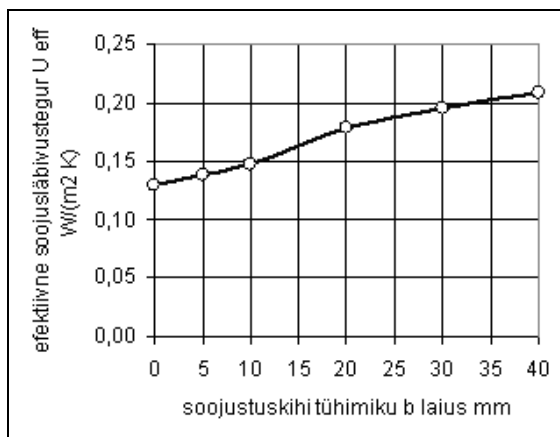
Külmasillad võivad tekkida ka ehituse käigus materjalide paigaldusvigade tõttu. Külmasillad on võimalik raskusastme järgi jagada kolme tüüpi:

- Suletud tühimikud soojustuse sees (tühimikud on õhupidavad ja tuuletõkkega kaitstud, ainult soojustusmaterjal puudub).
- Ühest küljest avatud tühimikud soojustuse sees, kus katkestus on ühelt poolt suletud, teisest küljest aga õhuvoolule avatud, mitte tuulepidav.
- Läbi piirde jooksev tühimik, kus mõlemad küljed on avatud. Tekib otsene õhuleke siseruumidesse.

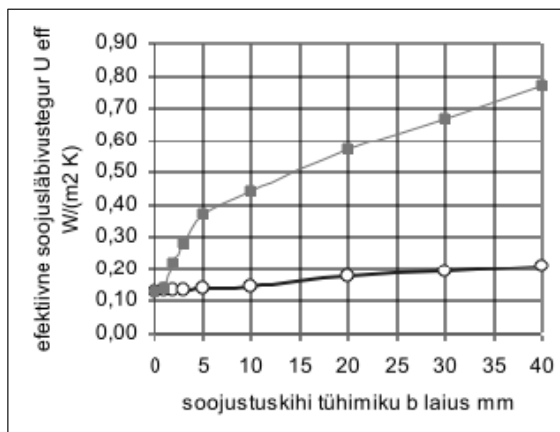
Nimetatud situatsioone illustreerib allolev joonis.



Joonis 45. Vead soojusisolatsioonis:
 1) kõikidest külgedest suletud tühimik,
 2) väljapoole avatud soojustuse katkestus,
 3) läbiv vuuk, mis muudab ümbrise mitte-
 õhupidavaks.



Joonis 46. Soojaläbivusteguri halvenemine 300 mm soojustusega seina puhul (1 m²) tulenevalt suletud tühimikust soojustuses (1 m pikk, 300 mm lai, laius b (simulatsioon PHI).



Joonis 47. Võrdlusena väljapoole avatud läbiva soojustuskatkestuse mõju soojapidavuse halvenemisele (ülemine joon). Kaod on nii suured, et avatud soojustuskatekestust tuleb igal juhul vältida: soojustuskiht peab olema seestpoolt õhupidavalt ja väljast tuulekindlalt suletud (simulatsioon PHI).

Külmasillavaba sooja välispiirde saavutamise põhimõtted:

- ühtlane soojusisolatsioonikiht (≥ 250 mm) kogu välispiirde ulatuses;
- tagatud õhupidavus välispiirde sisepinnal;
- tagatud tuulepidavus välispiirde välispinnal;
- tühimiketa soojustusmaterjali kiht.

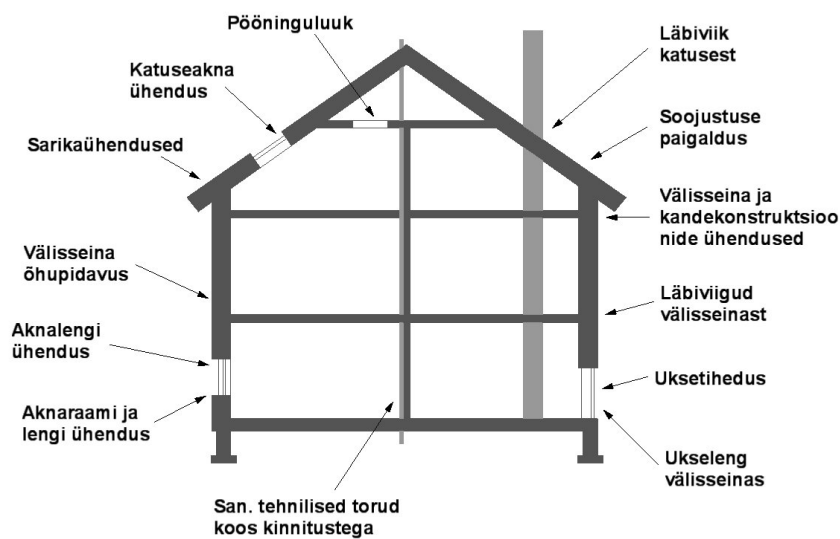
Õhupidavus

Kontrollimatud õhulekked läbi avauste hoone tarindites võivad põhjustada olulise soojakao ning niiskuse kandumise hoone konstruktsioonidesse.

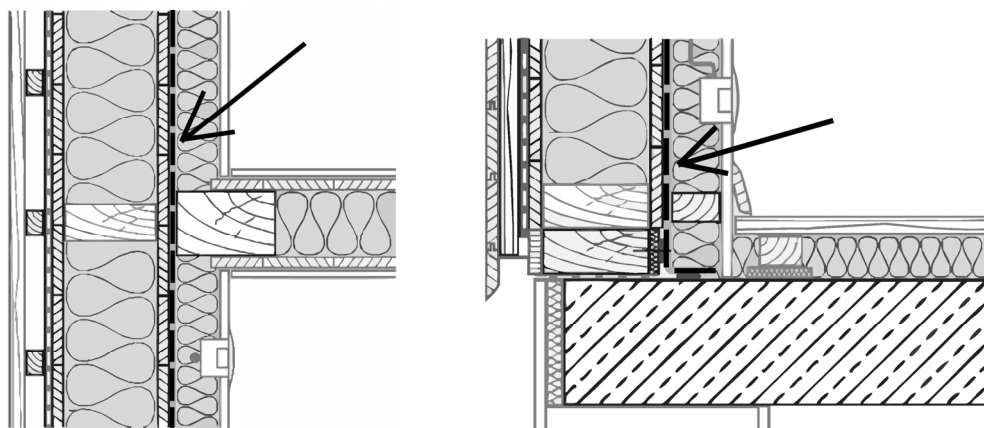
Lekked tekivad põhiliselt ebapiisava ehituskvaliteedi või tähelepanematuse tõttu (praod konstruktsioonides, ebatihedad läbiviigud, ebakvaliteetne avatäidete paigaldus).

Hoone õhupidavuse tagab õhupidav kiht välispiirde **seespoolsel pinnal** (õhupidavust ei taga tuuletõke).

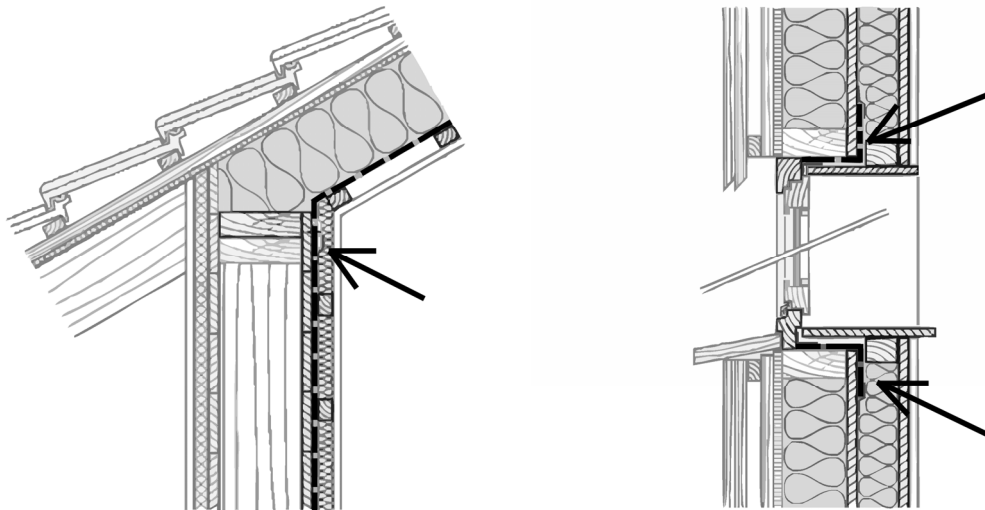
Õhupidavuse tagamine on peamiselt projekteerimisülesanne. Õhupidavus saavutatakse õigete komponentide (teipide-tihendite) kasutamisega ning nende täpse projekteerimisega sõlmedesse.



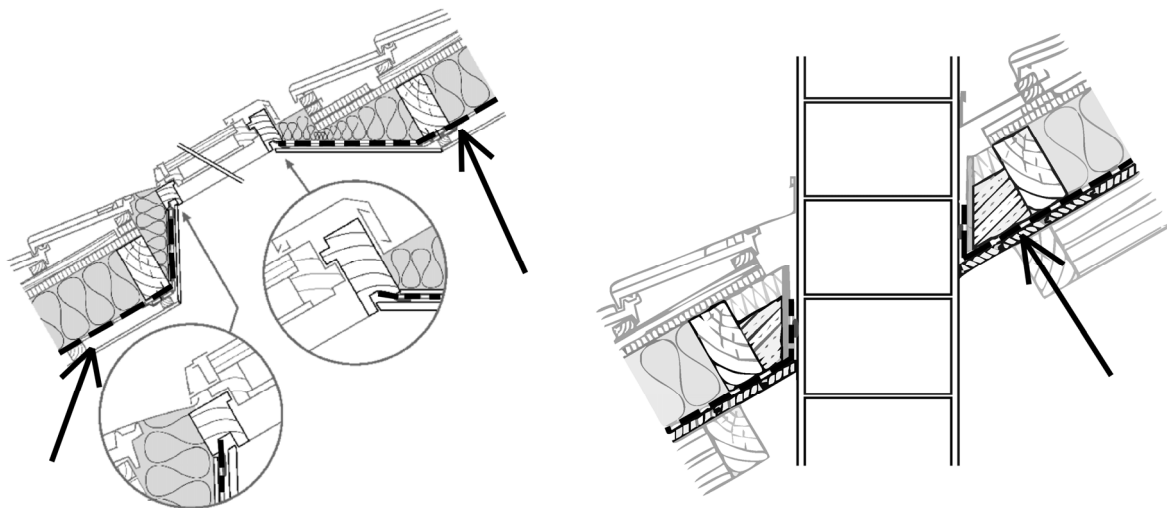
Joonis 48. Peamised õhulekkekohad majakarbis.



Joonis 49. Õhupidava kihi kulgemine vahelae- ja soklisõlmes (Pro Clima näide).



Joonis 50. Õhupidava kihi kulgemine välissein/katuslae- ning aknasõlmes (Pro Clima näide).



Joonis 51. Õhupidava kihi kulgemine katuseakna ning korstna ümbruses (Pro Clima näide).

Õhupidavuse mõõtmine

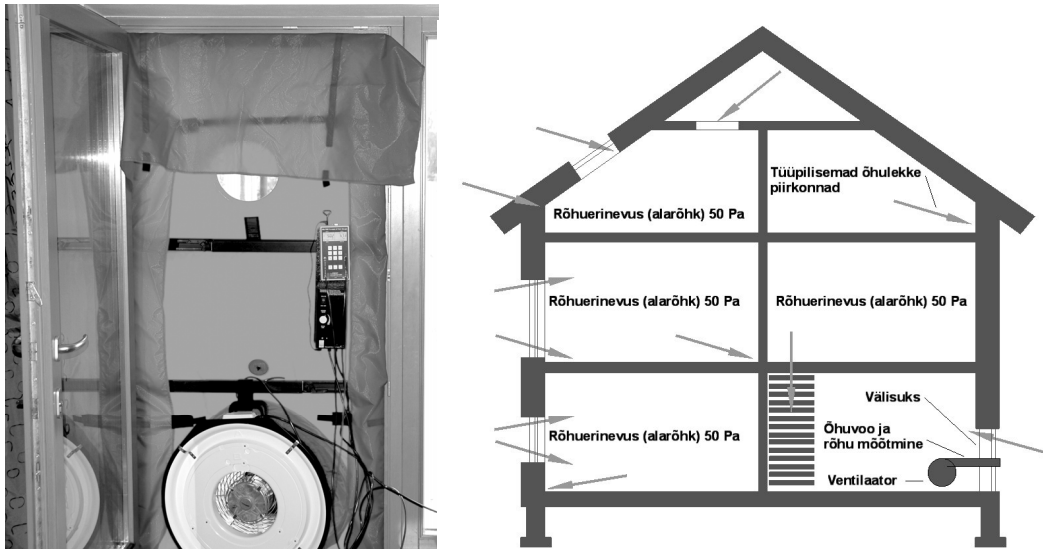
Hoonekarbi õhupidavust mõõdetakse rõhutestiga mille käigus tekitatakse välisukse ette paigaldatava ventilaatoriga hoonesse standardis ette nähtud rõhuerinevus (50 Pa) ning fikseeritakse läbi ventilaatori kulgev õhuvool mis tulenebki leketest majakarbis. Enne testi läbiviimist suletakse kontrollitud ventilatsiooni tagavad avad ning kaminad. Testi tulemuseks on õhulekkearv n_{50} (1/h) mis väljendab mitu korda tunnis vahetub antud rõhuerinevuse juures kogu majas olev õhk.

Kunstlikult tekitatud rõhuerinevus avaldab hoone piiretele ca. 10–15 m/s puhuva tuule sarnast rõhku.

Rõhutesti läbiviimise protseduuri kirjeldab standard EVS-EN 13 829:2000 (Thermal performance of buildings – determination of air permeability of buildings – fan pressurization method).

Passiivmajastandard eeldab õhupidavuse kvaliteeti $n_{50} < 0,6$ 1/h.

Lekkekohad on avastatavad ja eemaldatavad. Seepärast tuleb õhupidavuse mõõtmised teostada enne lõppviimistlust.



Joonis 52. Hoonekarbi õhupidavuse mõõtmine 50Pa rõhutestiga (blower-door test).



Joonis 53. Lekete avastamine ja kirjeldamine. Vasakul visualiseerimine "teatrisuitsuga" ja paremal numbriliselt anemomeetriga.

Rõhutesti läbiviimine koos termografeerimisega kiirendab lekkekohtade leidmist ja visualiseerimist.



Joonis 54. Lekkekohtade visualiseerimine termokaameraga (alarõhu tingimustes, ehitusjärgus hoone). Näha katuslae ja seina ühenduskohast põhjustatud õhulekked siseruumi.



Joonis 55. Lekkekohtade visualiseerimine termokaameraga (alarõhu tingimustes, kasutuses olev hoone). Näha vahelae ja seina ühenduskohast põhjustatud õhulekked siseruumi.



Joonis 56. Lekkekohtade visualiseerimine termokaameraga (alarõhu tingimustes, renoveeritud hoone). Näha avatäite paigaldusest tingitud õhulekked siseruumi.

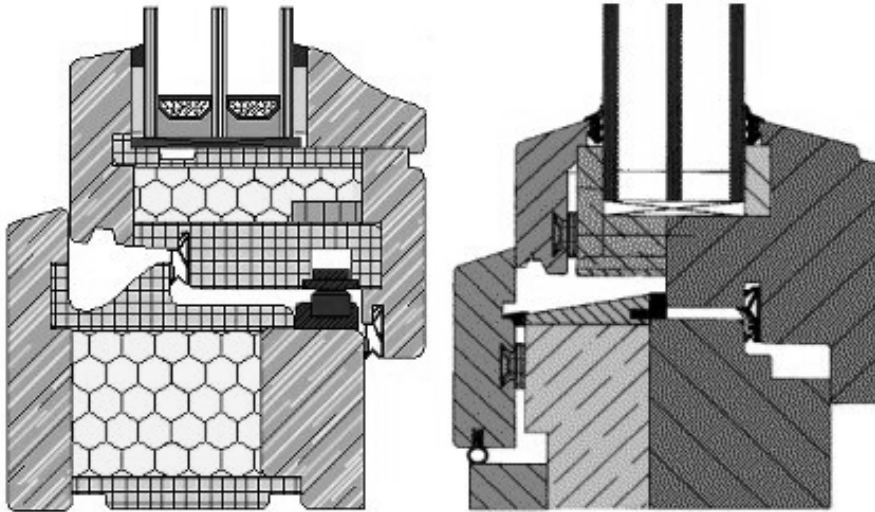
Termografeerimise läbiviimise protseduuri kirjeldab standard EVS-EN 13 187 (Thermal performance of buildings – qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – infrared method). Standardis on ka soovitusena kirjas alarõhu tekitamine termografeerimise ajaks just õhulekkekohtade avastamise lihtsustamiseks.

Majakarbi õhupidavus on vaja ehituse käigus kontrollida ja saavutada projekteerimise käigus eeldatud õhupidavuse n_{50} tase! Õhupidavuse kontroll (rõhutest) on vaja läbi viia enne siseviimistluse tegemist. Hoone õhupidavus mõjutab oluliselt hoone kütteenõudlust.

Aknad

Passiivmajale tüüpiline aken:

- kolmekordne klaaspakett kahekordse low-e (= madal emissiivsus) kattega (või mõni muu kombinatsioon, mis annab võrreldavalt madala soojakao);
- klaaspakett on nõ "sooja servaga" – klaaspaketi vaheliistud (*spacer*'id) on madala soojajuhtivusega (nt plastist);
- hästi isoleeritud ehk efektiivse termokatkestusega raamid.



Joonis 57. Näide passiivmajadele sobilikest soojustatud aknaraamidest (keskel termiline katkestus) (Passivhaus Institut Darmstadt).

Akna soojapidavusnäitajad peavad bilansiarvutuste jaoks olema **arvutatud** (nt Physibel tarkvara vms) **mitte mõõdetud**. Akna soojapidavusnäitajad peavad bilansiarvutuste jaoks olema esitatud eraldi klaaspaketi, klaaspaketi vaheliistu, aknaraami, ning aknalengi seinakinnituse kohta.

Arvutamise alused:

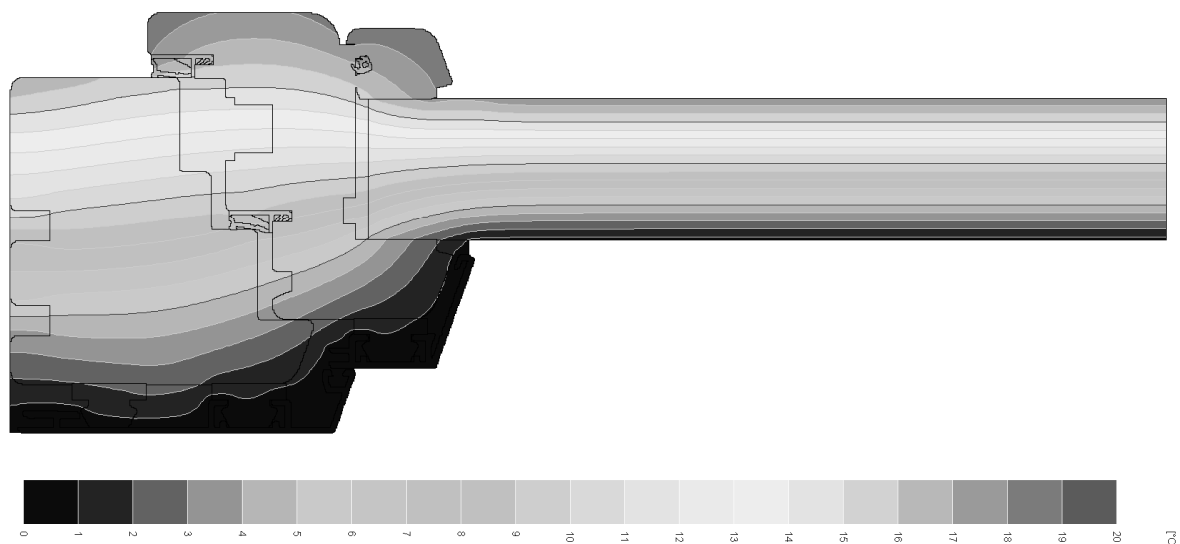
EN ISO 10077-1:2006 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: General

EN ISO 10077-2:2003 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames

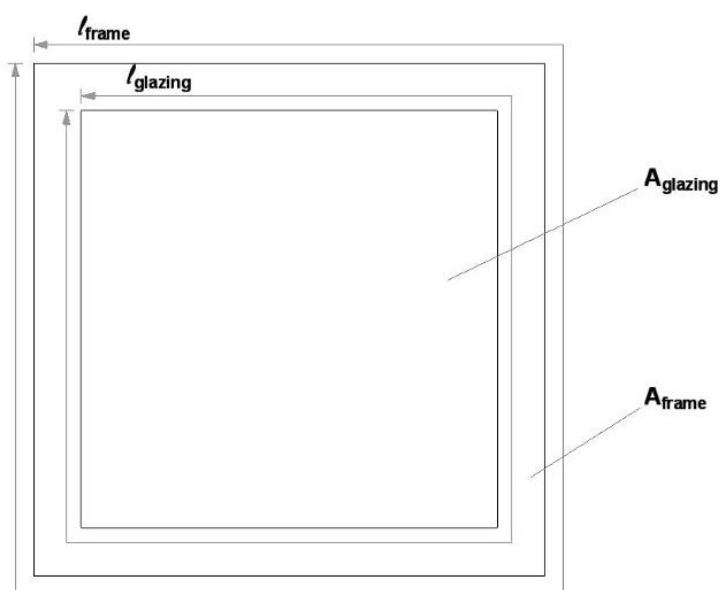
Piirtingimused:

- Siseõhk / temperatuur 20°C / pinna soojatakistus 0,13 m² K/W ning raami väljalatuvate osade nurkades 0,20 m² K/W
- Välisõhk / temperatuur 0°C / pinna soojatakistus 0,04 m² K/W

Tõhusate akende juures on oluline lengi/raami kinnitus seinakonstruktsioonile ning klaaspaketi vaheliistu (*spacer*) tüüp. Nendes ühenduskohtades tekivad paratamatult külmasillad, mis on ühtlasi ka akende nõrgimad termilised piirkonnad. Korralik paigaldus ja soojustatud klaaspaketi vaheliistud tagavad külmasildade mõju vähenemise ning ühtlasi ka väiksemad soojakaod. Külmasildade mõju kirjeldatakse soojakao koefitsientidega: $\psi_{\text{Installation}}$ ning ψ_{Spacer} .



Joonis 58. Näide tarkvaraga Bisco, Physibel arvatud isothermidest ja pinnatemperatuuridest (AS Lasita Aken Softline 78 ES).



Joonis 59. Arvutuste aluseks olnud aken mõõtudega 1230x1480mm.

Tabel 12. AS Lasita Aken Softline 78 ES Parameetrid akna U-arvu arvutamiseks.

	Ülemine osa	Külgmised osad	Alumine osa	kokku
$S_{raam} (m^2)$	0,126	0,307	0,143	0,576
$U_{raam} (W/m^2K)$	1,126	1,126	1,321	
$S_{klaas} (m^2)$	1,244			
$U_{klaas} (W/m^2K)$	0,600			
$L_{klaasi serv} (m)$	1,004	2,478	1,004	
psii (ψ) [W/mK] – eeldus	0,035	0,035	0,035	
	$U_w (W/m^2K)$	0,868		

Soojakaod läbi külmasildade, mis on põhjustatud kahest alumiiniumliistust (paksus 0,5 mm ning pikkus 1 m) on võrdne soojakadudega läbi klaasipinna, mille pindala on 15,5 m². See näide illustreerib, miks klaasiliistudest tulenevat soojakadu on tarvis soojabilansi arvutamisel arvesse võtta.

Window Rough Openings		Installed		Glazing		Frame		g-Value	U-Value		Window Frame Dimensions				Installation				Ψ-Value	
Width	Height	in Area in the Areas worksheet	Nr.	Select glazing from the WinType worksheet	Nr.	Select window from the WinType worksheet	Nr.	Perpendicular Radiation	Glazing	Frames	Width - Left	Width - Right	Width - Below	Width - Above	Left 1/0	Right 1/0	Sill 1/0	Head 1/0	Ψ _{spacer}	Ψ _{in-chamber}
m	m	Select:	Select:	Select:	Select:	Select:	-	-	W/(m ² K)	W/(m ² K)	m	m	m	m					W/(mK)	W/(mK)
1,100	2,120	Exterior wall of	1	Low-E 0.63 Nd	6	standard PU o	1	0,51	0,63	0,59	0,14	0,14	0,18	0,14	1	0	1	1	0,049	0,005
1,140	2,120	Exterior wall of	1	Low-E 0.63 Nd	6	standard PU o	1	0,51	0,63	0,59	0,14	0,14	0,18	0,14	1	0	1	1	0,049	0,005
1,120	2,550	Exterior wall of	1	Low-E 0.63 Nd	6	standard PU o	1	0,51	0,63	0,59	0,14	0,14	0,18	0,14	1	0	1	1	0,049	0,005
1,200	2,300	Exterior wall of	2	Low-E 0.63 Nd	6	wide PU on w	3	0,51	0,63	0,59	0,15	0,15	0,18	0,15	1	0	1	1	0,049	0,005
0,910	2,200	Exterior wall of	3	Low-E 0.63 Nd	6	standard PU o	1	0,51	0,63	0,59	0,14	0,14	0,18	0,14	1	1	1	1	0,049	0,005
1,200	2,300	Exterior wall of	2	Low-E 0.63 Nd	6	wide PU on w	3	0,51	0,63	0,59	0,15	0,15	0,18	0,15	1	0	1	1	0,049	0,005
			0		0		0													

Joonis 60. Näide avatäidete parameetrite (klaaspakett, raam, klaaspaketi vaheliist (spacer) ja akna kinnitus konstruktsioonile (installation)) sisestamisest tarkvarasse PHPP2007.

Zertifikat

gültig bis 31.12.2010

Passivhaus geeignete Komponente: Fensterrahmen

Hersteller: Fensterbau Georg Dopfer GmbH, D-87672 Roßhaupten

Produktname: dopfer-oversize

Folgende Kriterien wurden für die Zuerkennung des Zertifikates geprüft:

Passivhaus-Behaglichkeitskriterium:
Unter Standardbedingungen (Werglasung mit U_g = 0,7 W/(m²K), Fensterbreite 1,23 m, Fensterhöhe 1,48 m) erfüllt der Fenster-U-Wert die Bedingung:

U_w = 0,80 ≤ 0,80 W/(m²K)

Rahmenkennwerte:

Rahmen	seit./oben	unten	Abstandhalter	seit./oben	unten
U _f [W/(m ² K)]	0,77	0,78	Swisspacer V	Ψ _g [W/(mK)]	0,033 / 0,035
Breite [mm]	115	136			

Passivhaus spezifische Auflagen:
Die Passivhausleistung wurde nur mit dem o.g. Abstandhalter geprüft; andere Abstandhalter, vor allem solche aus Aluminium, führen zu wesentlich höheren Wärmeverlusten.

Passivhaus-Einbausituationen:
Einschließlich Einbauwärmeverlust erfüllt das Fenster

U_{w, eingebaut} ≤ 0,85 W/(m²K)

wenn die in der Anlage dokumentierten Einbaudetails des Fensters in Passivhaus geeignete Wandaufbauten Wärmedämmverbundsystem, Holzbaussade und Betonschalungstein) eingehalten werden.

Das Zertifikat ist wie folgt zu verwenden:

PASSIV HAUS geeignete KOMPONENTE
Dr. Wolfgang Feist

Fensterrahmen:
U_f = 0,77 / 0,78 W/(m²K)
Ψ_g = 0,033 / 0,035 W/(mK)
Breite = 115 / 136 mm

Passivhaus Institut
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt

Datenblatt zum Zertifikat

PASSIVHAUS geeignete Komponente
Dr. Wolfgang Feist

Rahmenschnitt unten

Isothermen- und Wärmestrombild

batimet 'TA35 SE'
Holz-Aluminium-Fensterrahmen mit außenseitiger 30 mm starker Polyethylen-schaumdämmung mit λ = 0,036 W/(mK). Verglasung 48 mm (6/16/4/16/6), 13 mm Scheibeneinstand

	seit./oben	unten
Rahmenkennwerte	U _f [W/(m ² K)]	0,78 / 0,78
	Ansichtsbreite [mm]	105 / 105
Abstandhalter: 'Swisspacer V'	Ψ _g [W/(mK)]	0,031
Temperaturfaktor am Glasrand	f _{hw, 0,20 m/KW} [-]	0,76
Fenster-U-Wert ¹⁾ (1,23 x 1,48 m)	U _w [W/(m ² K)]	0,80

Hersteller: batimet GmbH, Louis-Braille-Straße 10, D-01099 Dresden
Tel.: +49 (0) 351 81186 0 Fax: +49 (0) 351 81186 11
E-Mail: info@batimet.de, www.batimet.de

Berechnung: Passivhaus Institut 2010

¹⁾ Die Werte wurden für eine Fenstergröße von b = 1,23 m; h = 1,48 m und einen Glas-U-Wert von U_g = 0,70 W/(m²K) ermittelt.

Joonis 61. Näide energiabilansi jaoks vajalikust tootekirjelduse detailsusest (PHI sertifikaat akna- raamile).

Alljärgnevalt on toodud kaks näidet aknalengi seinakinnituse sõlmest ning sellest tingitud joonkülmasilla väärtustest ning selle mõjust kogu akna (efektiivsele) soojapidavusele (U_{w,eff}) identse klaaspaketi ja aknaraami korral. Läbi külmasildade esineva täiendava soojakao minimeerimine on passiivmajastandardi saavutamisel olulise tähtsusega.

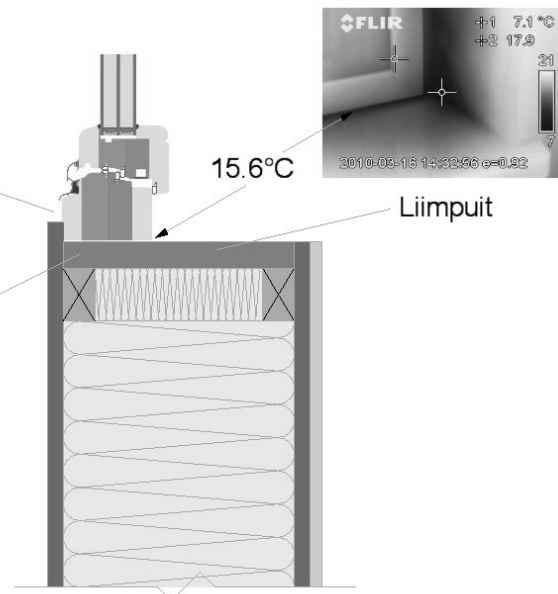
50

- Aknaleng tasa välisseinaga: geomeetiline külmasild

- Aken toetub kogu perimeetri ulatuses puiduosa (karkassi) külge: konstruktiivne külmasild

$$\Psi_{\text{Installation}} = 0,043 \text{ W/(mK)}$$

$$U_{\text{w,eff}} = 0,892 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

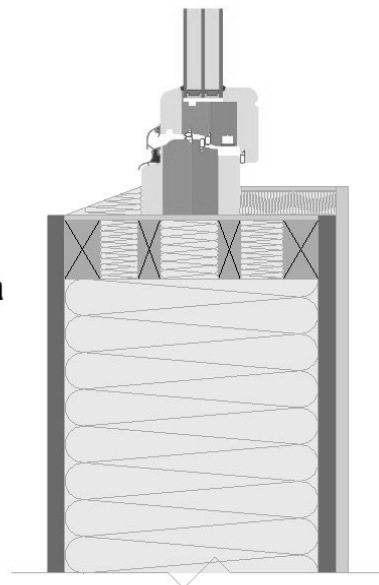


Joonis 62. Näide akna ebasoodsast paigaldusest. Sellisel paigaldusel ilmenevatest geomeetrilistest ja konstruktiivsetest külmasildadest tingitud täiendav soojavoog seinakinnituse jooksva meetri kohta on 0,043 W/(mK). Kogu akna summaarne efektiivne soojajuhtivustegur $U_{\text{w,eff}}$ on antud suurusega akna puhul 0,892 W/(m²K). Kõrvaloleval termopildil on toodud näide paigaldusel tekkiva külmasilla mõjust aknapale temperatuurile.

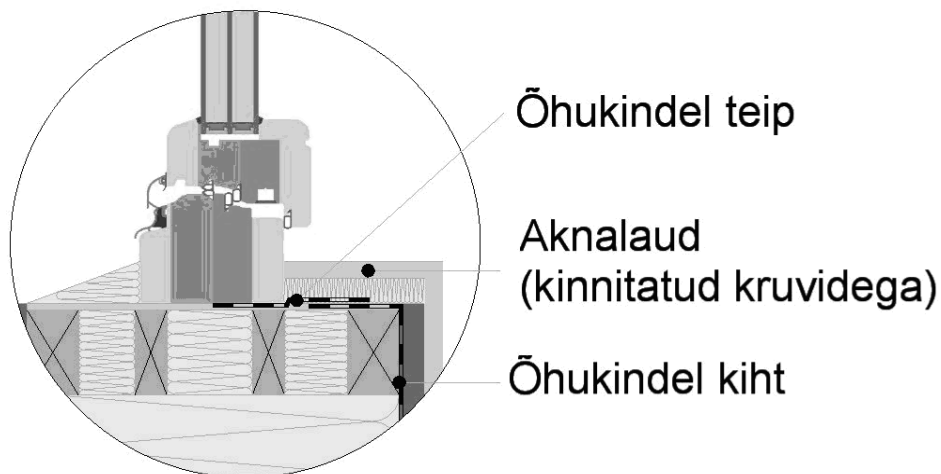
- Aken on paigaldatud soojustuse keskele
- Lengi soojustus läheb katkematult üle välisseina soojustuseks
- Leng kaetakse väljastpoolt lisasojustusega

$$\Psi_{\text{Installation}} = 0,010 \text{ W/(mK)}$$

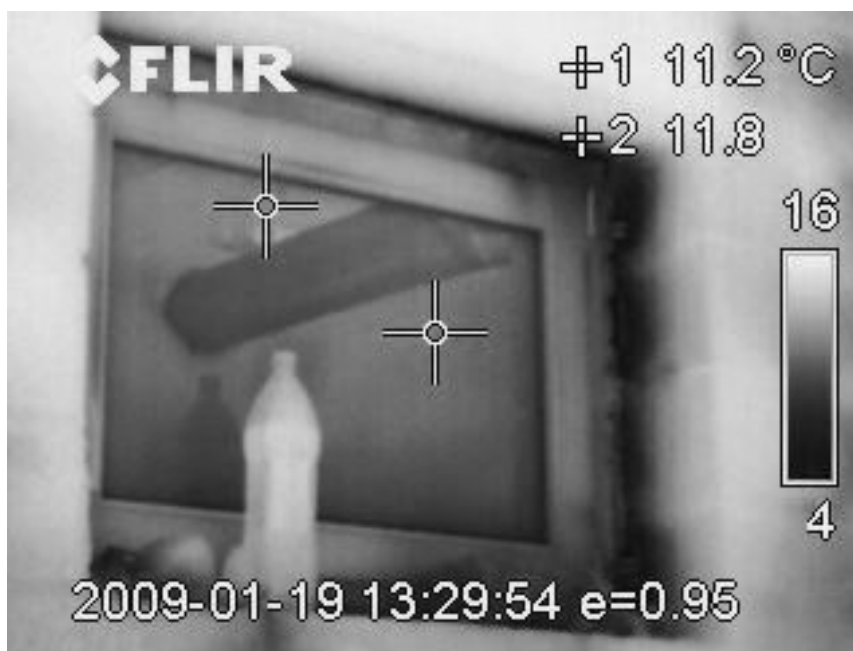
$$U_{\text{w,eff}} = 0,798 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$



Joonis 63. Näide akna soodsast paigaldusest. Sellisel paigaldusel ilmenevatest geomeetrilistest ja konstruktiivsetest külmasildadest tingitud täiendav soojavoog seinakinnituse jooksva meetri kohta on 0,010 W/(mK) ehk enam kui 4 korda väiksem kui eelnevas näites. Kogu akna summaarne efektiivne soojajuhtivustegur $U_{\text{w,eff}}$ on antud suurusega akna puhul 0,798 W/(m²K) ehk ca 0,1 W/(m²K) võrra parem eelnevas näites toodud identsest aknast.



Joonis 64. Näide akna õhupidava paigalduse joonisest. Aknalengi seinakinnituse sõimlahenduse õhupidavuse saavutamise detailne joonis (koos õhupidavate kihtide paiknemise kirjeldusega) peab kõikide akende jaoks sisalduma hoone projektdokumentatsioonis. Vastavaid tüüpsõlmede jooniseid võib leida kataloogidest või õhupidavuse saavutamiseks vajalike toodete müügile spetsialiseerunud ettevõtete infomaterjalidest.



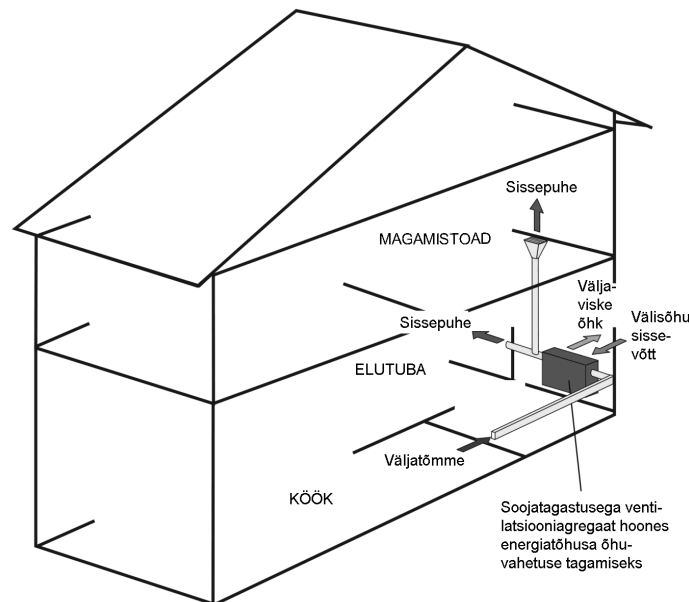
Joonis 65. Näide infiltratsiooni õhuvooludest ning nende mõjust aknapaalede temperatuurile olukorras kus akna seinakinnitusel ei ole korralikku õhupidavust saavutatud. Joonisel on kujutatud akent ja selle seesmisi palesid kujutatavat termopilti, toatemperatuurist oluliselt madalama temperatuuriga infiltratsiooni õhuvoolude mõju on aknapaalel selgelt näha.

Akna $U \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ saavutamise põhimõtted:

- sobiv klaaspakett
- sobiv servalahendus
- sobivad raamid
- külmasillavaba paigaldus
- õhupidav paigaldus

Ventilatsioon

Energiatõhususe saavutamise põhiliseks eelduseks on kõrge soojustagastuse efektiivsusega ventilatsioonisüsteemi kasutamine. See on möödapääsmatu ka kaas-aegses mõttes mugavuse saavutamiseks.



Joonis 66. Näide eluhoone ventilatsiooni põhimõtteskeemist. Värske õhu sissepuhe toimub magamistubadesse ja elutuppa, kasutatud õhu väljatõmme niisketest ruumidest ja köögist. Sissepuhke- ja väljatõmbe õhuhulgad on tasakaalus (Paul Wärmerückgewinnung GmbH).

Ventilatsioonisüsteemi soojustagastuse efektiivsust mõjutavad peale agregadi:

- soojast piirdest väljas paiknevate sissepuhke- ja väljatõmbetorude pikkused
- sooja piirde sees paiknevate väljaviske- ja välisõhu sissevõtutorude pikkused
- torude isolatsioon

Passiivmajade projekteerimiseks kasutatavas PHPP tarkvaras kasutatakse arvutuste tegemisel ventilatsiooniagregadi mõõdetud hetkelist soojustagastuse efektiivsust.

Effective Heat Recovery Efficiency of the Ventilation System with Heat Recovery

<input checked="" type="checkbox"/>	Central unit within the thermal envelope.
<input type="checkbox"/>	Central unit outside of the thermal envelope.

Efficiency of Heat Recovery	η_{HR}	0,92	thermos 200 DC - Paul
Transmittance Ambient Air Duct	W/(mK)	0,209	Calculation see Secondary Calculation
Length Ambient Air Duct	m	1	
Transmittance Exhaust Air Duct	W/(mK)	0,209	Calculation see Secondary Calculation
Length Exhaust Air Duct	m	1	
Temperature of Mechanical Services Room	°C		
(Enter only if the central unit is outside of the thermal envelope.)			

Room Temperature (°C)	20
Av. Ambient Temp. Heating P. (°C)	-0,5
Av. Ground Temp (°C)	6,7

Effective Heat Recovery Efficiency $\eta_{HR,eff}$ **91,1%**

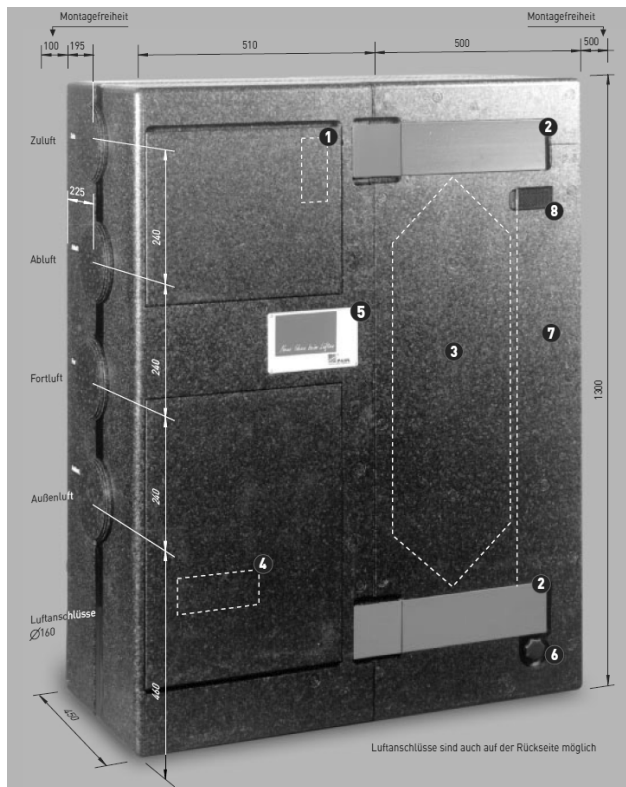
Joonis 67. Näide ventilatsiooni energiatõhususe kirjeldamisest PHPP tarkvaras – kirjeldatud on agregadi paiknemine kas sooja piirde sees või väljas, torustike pikkused ja soojusisolatsioon ning agregadi soojustagastuse efektiivsus. Arvutustulemusena esitakse efektiivne soojustagastuse määr (*effective heat recovery efficiency*), mida kasutatakse edasiseks bilansiartutuseks (konkreetses näites 91,1%).

Energiaarvutuste jaoks on oluline teada, millise meetodi järgi on väljendatud agregaadi soojustagastuse efektiivsus.

Näide PHI (Passivhaus Institut Darmstadt) meetodist soojustagastuse efektiivsuse kirjeldamiseks (haakub PHPP tarkvaraga):

$$\eta_{WRG,t,eff} = \frac{(T_{AB} - T_{FO}) + \frac{P_{el}}{\dot{m} \cdot c_p}}{(T_{AB} - T_{AU})}$$

T_{AB} – väljatõmbeõhu temp. (°C); T_{AU} – välisõhu temp. (°C); T_{FO} – väljaviskeõhu temp. (°C); P_{el} – ventilaatori elektritarbimine antud õhuhulga juures (W); c_p – õhu soojusmahtuvus [Wh/(kg K)]; \dot{m} – õhu massi vooluhulk (kg/h)



Zertifikat

gültig bis 31.12.2010

Passivhaus geeignete Komponente: Wärmerückgewinnungsgerät

Hersteller: Paul Wärmerückgewinnung GmbH

Produktname: thermos 200 DC

Folgende Kriterien wurden für die Zuerkennung des Zertifikates geprüft:

- Passivhaus-Behaglichkeitskriterium:**
Eine minimale Zulufttemperatur von 16,5°C wird bei -10 °C Außenlufttemperatur erreicht.
Begründung: In Passivhäusern sind keine Heizflächen an Außenbauteilen erforderlich. Um unbehaglichen Kaltluftzufall zu vermeiden, muss die Zulufttemperatur begrenzt werden.
- Effizienz-Kriterium (Wärme):**
Der effektive trockene Wärmebereitstellungsgrad muss mit balancierten Massenströmen bei Außentemperaturen zwischen +5 und 10°C und trockener Abluft (21°C) höher als $\eta_{WRG,t,eff} \geq 75\%$ sein (hier: 92%).
- Effizienz-Kriterium (Strom):**
Die gesamte spezifische elektrische Leistungsaufnahme des Gerätes darf in den für Passivhäuser vorgesehenen Betriebszuständen bei Ausganges-Massenstrom **0,45 W/(m³/h) geförderter Zuluftvolumenstrom** nicht überschreiten (hier 0,36 W/(m³h), Randbed. siehe Anlage).
- Dichtheit und Wärmedämmung:**
Der interne Leckluftstrom und der externe Leckluftstrom dürfen jeweils 3% des Nenn-Abluftstromes nicht übersteigen. (Anforderungen und Nachweise sind der Anlage zu diesem Zertifikat zu entnehmen)
- Abgleich und Regelbarkeit:** (Anforderungen und Nachweise sind der Anlage zu diesem Zertifikat zu entnehmen)
- Schallschutz:**
Schalldruckpegel im Aufstellraum < 35 dB(A) bei äquivalenten Raumabsorptionen von 4 m²; Schalldruckpegel in Wohnräumen unter 25 dB(A), in Funktionsräumen unter 30 dB(A). (Erläuterungen und Nachweise sind der Anlage zu diesem Zertifikat zu entnehmen)
- Raumlufthygiene:**
Außenluftfilter mindestens F7 (evtl. auch extern), Abluftfilter mindestens G4 (Erläuterungen und Nachweise sind der Anlage zu diesem Zertifikat zu entnehmen)
- Frostschutzschaltung:** (Anforderungen und Nachweise sind der Anlage zu diesem Zertifikat zu entnehmen)

Das Zertifikat ist wie folgt zu verwenden:

PASSIV HAUS geeignete KOMponente Dr. Wolfgang Feist	Wärmerückgewinnung: Wärmebereitstellungsgrad (effektiv): 92 % Elektroeffizienz: 0,36 Wh/m³
---	---

Passivhaus Institut
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt

Joonis 68. Näide bilansiarvutusteks kasutatud ventilatsioonigregaadist Thermos 300DC (PAUL Wärmerückgewinnung GmbH). Kõrval PHI sertifikaat. Agregaadid mõõtmed 1300x1010x450; elektrilise eelsoojendusagregaadid mõõtmed 340x300x80; plaatsoojusvaheti materjal plastik; agregaadid kaal ca. 35 kg; soojustagastuse efektiivsus 92% (vastavalt PHI meetodikale); elektrienergiavajadus 0,36 Wh/m³; automaatne soovine välisõhu otsejuhtimine.

Üldised nõuded PHI (Passivhaus Institut) sertifikaadile:

- sissepuhkeõhu temperatuurid püsivalt $\geq 16,5^\circ\text{C}$
- efektiivne soojustagastus $\geq 75\%$ (mõõdetuna vastavalt PHI meetodile)
- elektrienergiavajadus $\leq 0,45 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ iga kuupmeetri õhu kohta
- agregaadid korpuse lekete määr $\leq 3\%$
- seadme soojaisolatsioon peab olema väga hea (50 mm ümberringi)

- lihtne võimalus õhuhulkade tasakaalustamiseks vähemalt kolmel erineval õhuvahetuse kiirusel: baasvariant 70%–80%, standardõhuvaetus 100% ja kõrgendatud õhuvaetus 130%.
- sobiv filtrikvaliteet (värske õhk minimaalselt F7 ja kasut. õhk F4)
- lihtne külmakaitse lülitamise võimalus ilma tasakaalu rikkumata
 - välisõhu eelsoojendus
 - välisõhu eelsoojenduse töö tõrgete puhul agregaaadi õhuhulkade automaatne vähendamine
- müratase agregaaadi ruumis <35 dB (A); eluruumis <25 dB(A)

Tõhusa ventilatsiooni põhimõtted:

- **torustik: lühike ja suure läbimõõduga**
- **külmad torustikud väljas... soojad torustikud sees**
- **sobiv torumaterjal: sile sisepind, õhupidav**
- **külmad torustikud sees? – soojustus!**
- **soojad torustikud väljas? – soojustus!**
- **sobiv soojustagastus $\geq 75\%$**
- **õhupidavad läbiviigud**
- **õhu väljalaskekohad: tasakaalustus? lõhnad?**
- **mürakaitse**
- **seadistusplaan**

Suveltemperatuuride kontroll

Energiatõhususe ja mugavuse saavutamiseks on eesmärk kasutada maksimaalselt passiivse jahutuse põhimõtteid. See tähendab, et suveperioodil tagatakse hoone mugav sisetemperatuur ilma külmaseadet (õhukonditsioneer) kasutamata.

Passiivne jahutus:

- päikesekaitse sirmid, žalusiid, välised rulood, isevarjutav hoone geomeetria jm statsionaarsed lahendused, mis blokeerivad suveperioodil päikese otsekiirguse aknapinnale ja läbi akna siseruumidesse,
- termiline mass (suure soojusmahtuvusega materjalid vaheseintes ja vahelagedes),
- loomulik ventilatsioon (õine tuulutamine) ruumides tekkinud palavuse välja juhtimiseks.

Päikesekaitse:

- eesmärk on vähendada suveperioodil ruumide soojuskoormust ja/või
- vähendada päikesevalgusest tingitud liigseid kontraste ja valgustingimuste räägust töötasapindadel.

Välised rulood, sirmid, žalusiid jms lahendused on efektiivemad kui seesmised rulood või ribi- ja ribakardinad, kuna nad ei lase päikesekiirgusel läbi akna ruumi sisse tungida. Seesmised lahendused on efektiivsed vaid valgustingimuste kontrollimisel.

Päikesekaitselahenduste kavandamisel tuleb tähele panna, et lisaks päikese otsekiirgusele varjavad sellised lahendused ka hajuskiirgust, mis on oluline loomulike

valgustingimuste kujunemisel. Kui klaaspindade varjutamisel kasutatakse statsionaarseid varjusid, mis varjavad suure osa taevalaotusest, siis on loomuliku valguse tasemed ruumis ka selle võrra madalamad. Seetõttu võimaldab liigutatavate või eemaldatavate päikesekaitselahenduste (nt välised rulood) rakendamine suuremat paindlikkust erinevates olukordades.

Päikese kõrgusnurk on oluline parameeter päikesekaitselahenduse tüübi valikul (horisontaalsed sirmid või vertikaalne vari). Kõrge, keskpäevase päikese korral on efektiivsemad horisontaalsed lahendused, hommikuse ja pärastlõunase madala päikese korral on üldjuhul efektiivsemad vertikaalsed lahendused. Päikese kõrgusnurgast sõltub ka ribide ja lamellide kaldenurk, omavaheline kaugus, isevarjutava fassaadi erinevate osade geomeetrilised omadused jne.

- **Passiivse päikesekaitse saab lõunafassaadil lahendada efektiivselt horisontaalse sirmiga.**
- **Ida- ja läänesuunal (madal päike) horisontaalne sirm tüüpiliselt lahendust ei paku (võimalus on nt vertikaalne)**
- **Kõikides ilmakaartes saab lihtsa lahendusena kasutada väliseid rulooide.**

Päikesekaitselahenduste dimensioneerimisel on vaja arvestada:

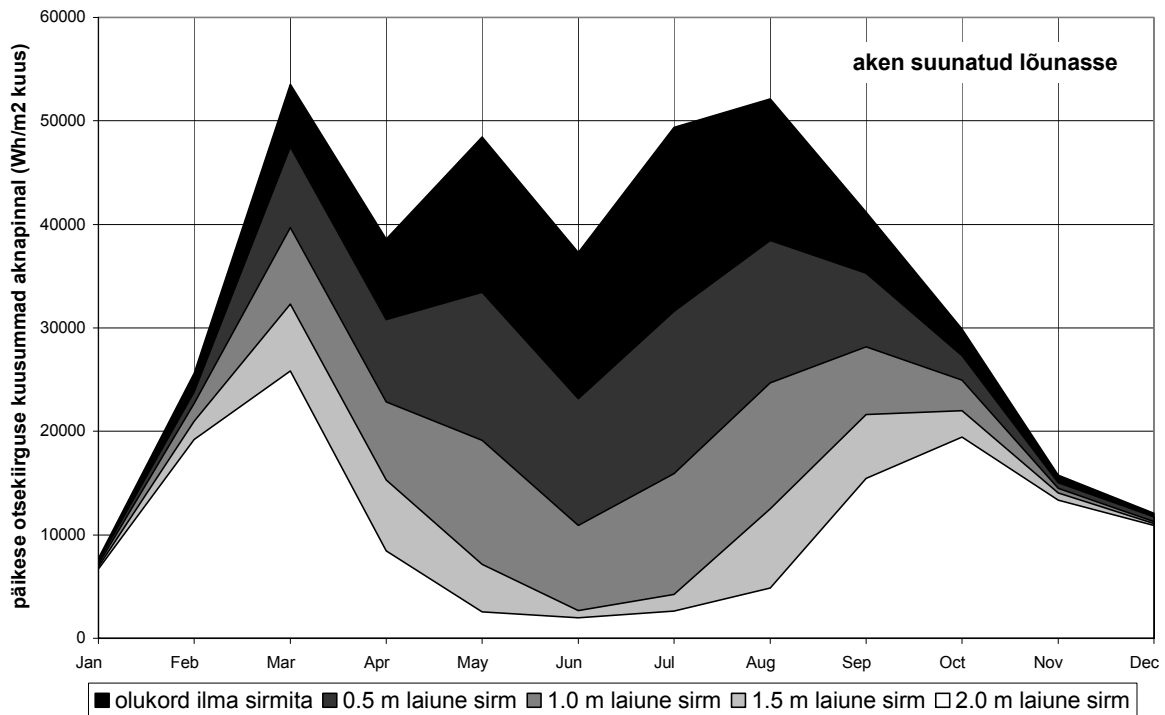
- Iga akna orientatsiooni ning sellega seotud päikese kõrgusnurkasid kuude lõikes.
- Mõju talvistele päikesekiirguse hulkadele akna pinnal.
- Mõju loomuliku valguse tasemetele.
- Ruumide ülekuumenemise tõenäosust riski ja selle ajalist ulatust. Perioodi pikkus, mille jooksul liigne akendest sisenev päikesekiirgus võib kaasa tuua palavuse sõltub oluliselt ruumi suurusest, inimeste ja seadmete soojaeraldusest, ventilatsiooni õhuvooluhulkadest jne.
- Klaaspaketi optilisi omadusi ning päikesefaktorit (g-väärtust).

Tavapäraste akende korral võib kasutada lihtsustatud meetodeid päikesekaitselahenduste dimensioneerimiseks ja suvise jahutusvajaduse kontrolliks ja vähendamiseks. Ka PHPP2007 tarkvaras sisalduvad töölehed jahutuskooormuse ning palavusriski prognoosimiseks. Suuremate klaasfassaadide esinemisel on sõltuvalt ruumiplaneeringust üldjuhul vajalik detailsem analüüs.

Detailseks analüüsiks kasutatakse dünaamilise simulatsiooni vahendeid. Sõltuvalt analüüsi detailsusest uuritakse päikesekaitselahenduste mõju päikese otsekiirguse hulkade vähenemisele klaaspindadel või detailsemal juhul ruumiõhu temperatuurile ja jahutusvajadusele. Detailne analüüs:

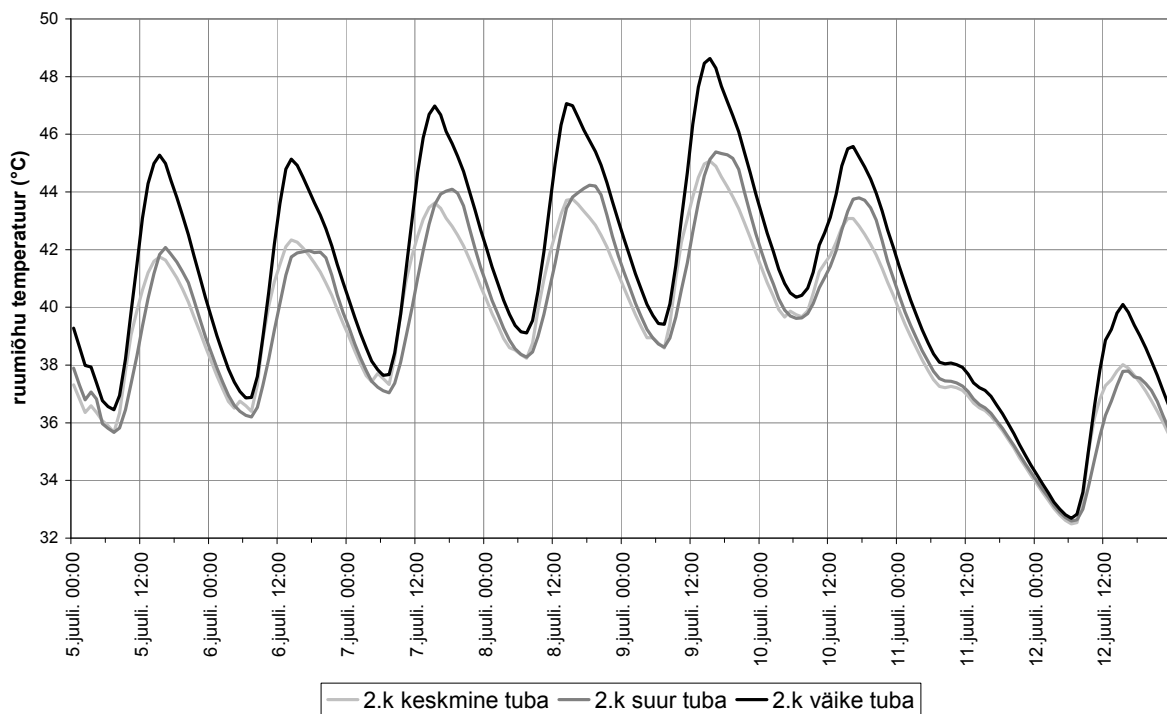
- võtab arvesse päikese otsekiirguse intensiivsuse ning selle varieerumise aasta ja päeva kestel.
- võimaldab hinnata eri kuju ja kaldega geomeetriliste varjude mõju.
- annab võimaluse hinnata päikesekaitselahenduste mõju dünaamikat väga tiheda ajasammuga.

Alljärgnevalt on toodud näitena akna kohal asuva horisontaalse sirmi mõju detailne analüüs päikese otsekiirguse vähenemisele akna pinnal. Varieeritud on sirmi laiust. Sirm ulatub aknapinnast 0,5 m, 1 m, 1,5 m ja 2 m kaugusele.

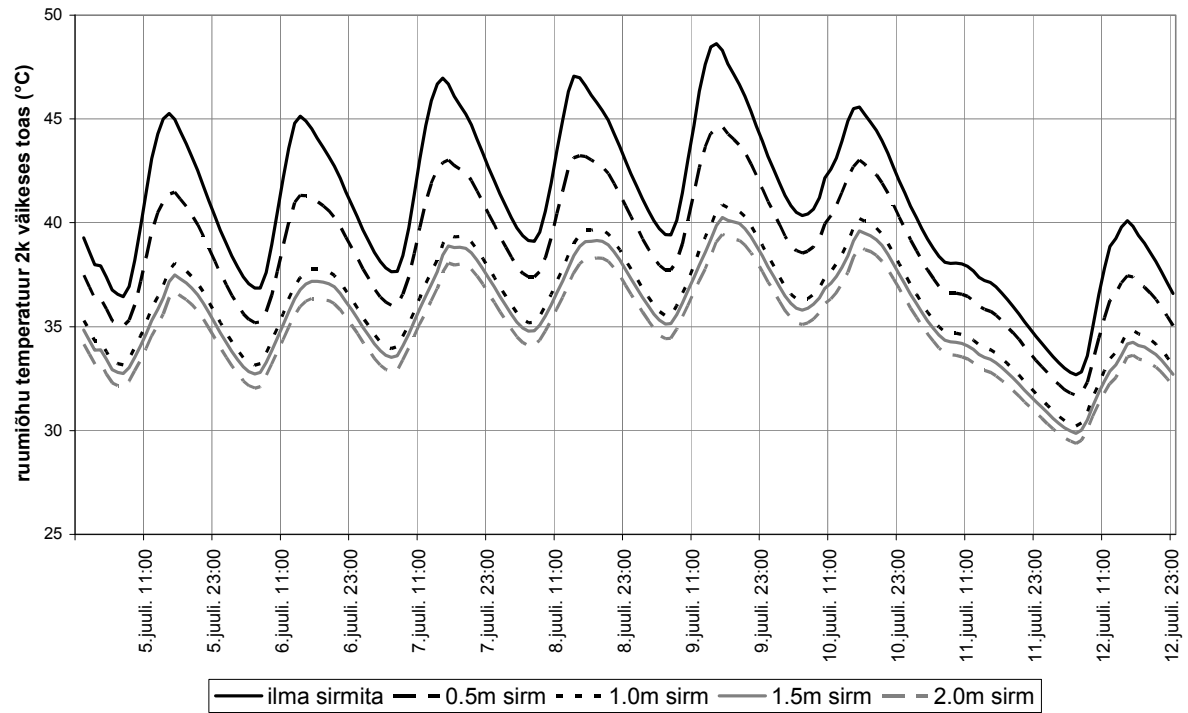


Joonis 69. Horisontaalse päikesekaitse sirmi kauguse mõju päikese otsekiirguse hulga le akna pinnal kuude lõikes. Aken suunatud lõunasse.

Alljärgnevalt on detailse analüüsi näitena esitatud ka dünaamilise hoonesimulatsiooni käigus prognoositud ruumiõhu temperatuurid erineva suurusega ruumides suveolukorras ning horisontaalse sirmi mõju ruumiõhu temperatuuri vähenemisele.



Joonis 70. Ruumiõhu temperatuurid suvenädalal, esialgne sirmideta olukord.



Joonis 71. Sirmi mõju sisetemperatuurile suvises nädalas.



Joonis 72. Suvise päikesekaitse lahenduse näide.

Valgustatus loomuliku valgusega

Kvaliteetne ruum eeldab piisavaid ja kvaliteetseid valgustingimusi. Planeerides hoonesiseruumide jaoks häid valgustingimusi on tarvis arvesse võtta erinevaid tegureid ja tingimusi, et suurendada hoonesse jõudvat päevavalguse hulka, kuid samas vähendada päikesekiirgusest tingitud ruumide ülekuumenemist ning jahutusvajadust.

Päevavalguse e taevavalguse (*skylight*) all mõistetakse hajualgust, mis lähtub atmosfäärist või peegeldub hoonesse seda ümbritsevatelt pindadelt. Päevavalguse intensiivsus on seotud taeva heledusega ning varieerub sõltuvalt kellaajast, pilvisusest ning aastaajast.

Päikesekiirguse e päikesevalguse (*sunlight*) all mõistetakse päikeselt lähtuvat otsekiirgust, mis on päevavalgusest oluliselt heledam. Kuna päikese asend taevast muutub oluliselt sõltuvalt kella ja aastaajast ning kiirguse intensiivsus ja hulk mingis punktis on tugevalt mõjutatud pilvedest, puudest, hoonetest ning teistest ümberkaudsetest objektidest, siis ei ole see valgustingimuste tagamisel usaldusväärne allikas.

Lisamiinuseks on päikesekiirguse suur heledus, mis tekitab ruumides visuaalselt ebamugavaid kontraste ja peegeldusi ning võib mõjuda pimestavalt. Otse ruumidesse jõudev päikesekiirgus toob kaasa ka õhutemperatuuri tõusu siseruumides. Kui talveperioodil on see tervitatav, siis suvekuudel toob see kaasa olulise jahutusvajaduse ning seega ka energiakulu.

Seega eeldab loomulike valgustingimuste optimeerimine nii erinevate klaasitüüpide kui varjutavate ja hajutavate detailide läbimõeldud kasutamist, et hoida päikese otsekiirgust väljas ning lasta hajualgust võimalikult sügavale ruumidesse tungida. Olulisimaks faktoriks päevavalguse kavandamisel on seejuures ikkagi igale erijuhule sobiv avade hulk, suurus ja konfiguratsioon.

Päevavalgustegur

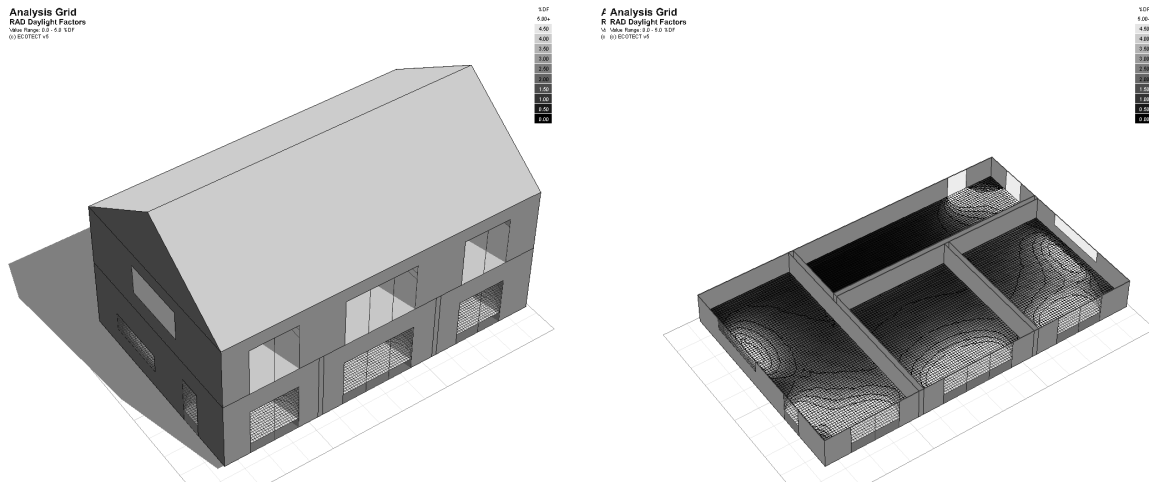
Kõige levinum viis loomulike valgustingimuste piisavust hinnata on päevavalgusteguri (*daylight factor*) analüüs. Päevavalgustegur on suurus, mis näitab protsentuaalselt siseruumi valitud punktis (ruumi võrdluspunkt) valitseva päevavalguse intensiivsuse ja väliskeskkonna päevavalguse intensiivsuse suhet lauspilves ilma korral.

Päevavalgusteguri arvutamisel lähtutakse ISO tehnilise komitee CIE (*International Commission on Illumination*) poolt koostatud standardiga ISO 15469:2004 kirjeldatud taeva matemaatilisest lauspilvisuse mudelist (*CIE overcast sky model*), mis iseloomustab taeva heleduse jaotumist lauspilves taevalaotusel (toodud järgneval joonisel).



Joonis 73. Standardiseeritud taeva lauspilvisuse mudel (*CIE overcast sky*) võrreldes paari teistsuguse standardiseeritud taeva heledusjaotuse mudeliga.

Selle mudeli puhul ei oma päikese asend taeva heleduste jaotumisele mõju ja taeva heledus on taevalaotuses jaotunud sümmeetriliselt seniidi suhtes vähenedes horisondile lähenedes. Seetõttu on päevavalgustegur ajas muutumatu suurus, mis iseloomustab hoone, selle akende ja hoonet ümbritsevate objektide geomeetria ja paiknemise koosmõjul hoones tekkivaid valgustingimusi lauspilvisuse korral. Taeva lauspilvisuse mudeli põhjal arvatud prognoos on reaalsete valgustingimustega võrreldes konservatiivsem.



Joonis 74. Arvutatud päevavalgustegurite väärtused töötasapinnal visualiseerituna hoone 3D mudelil.

Päevavalgusteguri soovituslikud sihtväärtused

Et päevavalgustegur on väljendatud protsentides väliskeskonna valgustatusest ning viimane on ajas muutuv suurus, siis üheselt tõmmatud piire päevavalgusteguri nõutavatele väärtustele on raske seada. Hinnanguna on ruumi keskmise päevavalgusteguri (DF) osas siiski kokku lepitud (EVS 894) teatud kvaliteedivahemikud:

- **DF > 5%** iseloomustab suhteliselt hästi valgustatud ruumi. Kunstvalgust ei ole päevasel ajal enamasti vaja kasutada.
- **DF vahemikus 2% ... 5%** iseloomustab keskmiselt valgustatud ruume. Üldine valgustatuse tase ruumis peaks päevasel ajal olema piisav (loomulik valgus on peamine valgusallikas), kuid tööpindadel on vajalik kunstvalguse kasutamine.
- **DF < 2%** iseloomustab halvasti valgustatud ruume. Neis ruumides on kunstvalgustus peamine valgusallikas.

Olulised aspektid:

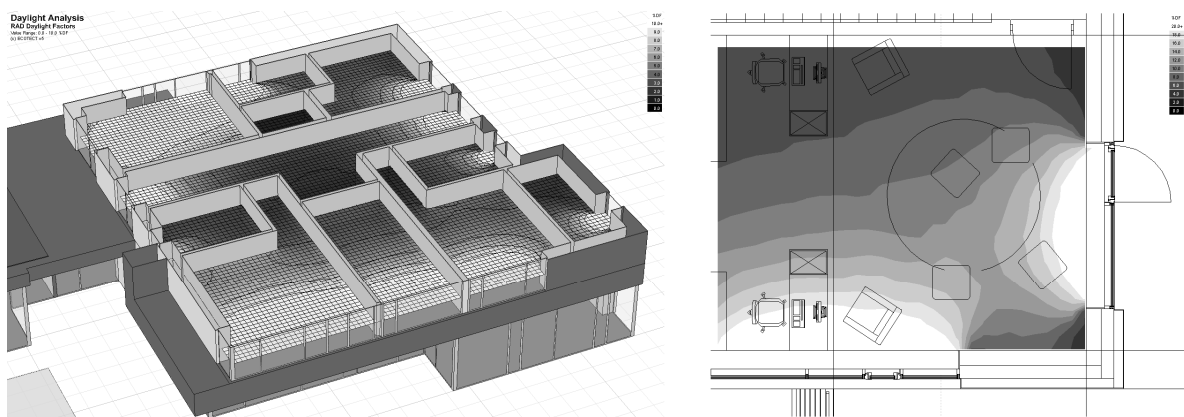
- Loomulike valgustingimuste optimeerimisega tuleb tegeleda projekteerimise algfaasis kuivõrd loomulike valgustingimuste puudumist on võimatu projekti lõppfaasis tehniliste lahendustega kompenseerida.
- Loomulike valgustingimuste parendamisel tuleb paralleelselt analüüsida tehtavate projekteerimisotsuste mõju jahutusvajadusele.
- Lisaks kogu ruumi keskmise päevavalgusteguri arvutamisele tuleb arvesse võtta ka valgustingimuste jaotuse ühtlus läbi erinevate ruumipunktide. Valgustingimuste ühtlusteguri (minimaalse päevavalgusteguri suhe keskmisse päevavalgustegurisse) väärtus peaks jääma vahemikku 0,3 ... 0,5.
- Horisontaalsed klaaspinnad (katuseaknad, valgusšahtid) annavad sama pinna juures rohkem valgust.
- Valgustatus väheneb kauguse suurenemisega vaadeldava punkti ja akna vahel. Ühtlaste valgustingimuste tagamiseks kogu ruumi ulatuses ei tohi ruumi sügavus ületada akna kahekordset kõrgust.
- Kõrged vertikaalsed avad juhivad valgust sügavamale ruumi kui laiad horisontaalsed avad.

- Päevavalguse paremaks hajutamiseks ja peegeldamiseks ruumi sügavusse peaks materjalide peegeldustegurid olema lagede puhul 80%, seinade puhul 50–70% ja põrandate puhul 20–40%.

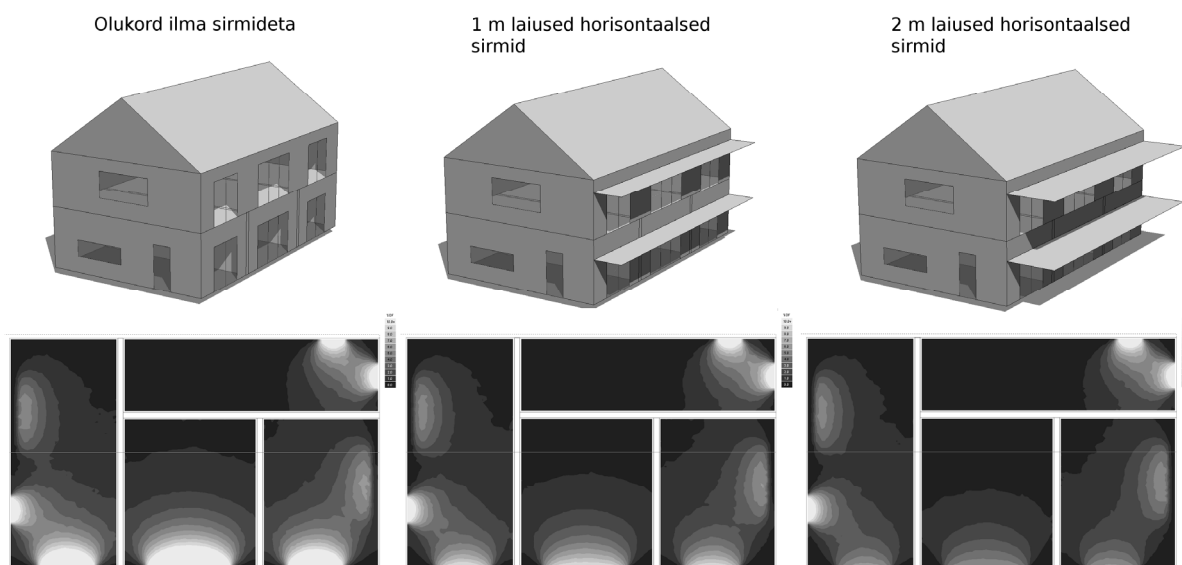
Oluline on mõista, et päevavalgustegur ei arvesta päikese otsekiirguse ning hoone orientatsiooniga, mistõttu päevavalgusteguril põhinev analüüs ei võimalda päikese otsekiirguse peegeldamise ja hajutamise seotud tehniliste lahenduste mõju arvesse võtta. Selleks on vajalik detailsem analüüs (nt ilmastikul põhinev modelleerimine), mis võtab arvesse päikese asukoha taevavõlvil ning standardsest taeva heleduse jaotusest erineva taeva heleduse jaotuse mudeli.

Võimalused loomulike valgustingimuste analüüsiks:

- Päevavalgusteguri väärtuste jaotuse määramine uuritava ruumi töötasapinnal, kasutades sobivat arvutustarkvara, mis võimaldab kirjeldada ruumi ja seda ümbritsevate objektide geometriat kolmemõõtmelise massiivina.
- Analüüsitava ruumide fotorealistlik simulatsioon
- Ilmastikul põhinev päevavalguse modelleerimine nagu **kasuliku päevavalguse valgustiheduse** (*useful daylight illuminances*) ja **päevavalguse autonoomia** (*daylight autonomy*) analüüs erinevatel tasapindadel.



Joonis 75. Näide päevavalgusteguri väärtuste jaotuse analüüsi tulemustest 3D-mudelil ning analüüsitava ruumi plaanil.



Joonis 76. Horisontaalsete päikesekaitsesirmide mõju loomulikele valgustingimustele.

Soojuslik päikeseküttesüsteem

Soojusliku päikeseküttesüsteemiga (*solar thermal system*) saab katta osa hoone:

- sooja tarbevee energiavajadusest,
- ruumide kütte energiavajadusest.

See ei ole passiivmajakriteeriumi täitmiseks tingimata vajalik. Küll aga vähendab edasiselt hoone primaarenergiavajadust (fossiilse energia tarbimist ja CO₂ emissioone).

Süsteemi dimensioneerimiseks ja tootlikkuse hindamiseks kasutatakse dünaamilise simulatsiooni tarkvara (nt Polysun, T-Sol).

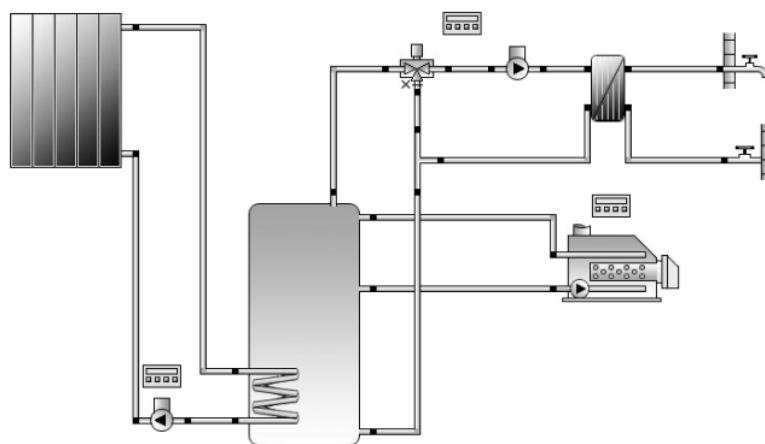
Süsteem, mis katab üksnes **sooja tarbevee** energiavajadust, dimensioneeritakse tüüpiliselt katma ca 60% aastast vajadusest (ca 90% suveperioodil).

Süsteem, mis katab osa **ka ruumide** energiavajadust, arvestab hoone energia-klassiga. Passiivmajastandardi puhul katab kollektoritega kogutud päikeseenergia tüüpiliselt nt ca 50% ruumide küttevajadusest, energiatõhusa hoone (*low-energy house*) puhul aga 20–30% (halbema energiasandardiga hoone puhul loomulikult veel vähem). Kollektorvälja ei saa dimensioneerida ülemäära suureks, kuna tekib suvise energia ületootmise probleem – kui energiat ei ole suvisel perioodil kuhugi suunata (bassein, kaugküttevõrk) võib kollektorsüsteemis tekkida seisak ja kogu süsteemi efektiivsus langeb.

Iga keerukama süsteemi puhul on oluline leida optimaalne kollektorvälja – akupaagi suhe. Seejuures on oluline täpselt kirjeldada päevane, nädalane ja aastane tarbimisprofiil. Tootlikkust mõjutavad ka komponentide tehnoloogia tase (eelkõige akupaakide salvestustehnoloogia – kihtlaadimisega või mitte). Tüüpiliselt on tootlikkuse arvutustarkvarasse võimalik sisestada kõikide enamlevinud kaubamärkide komponendid.

Näide

Pere-elamu, 4-inimest (eespool kirjeldatud näidismaja).

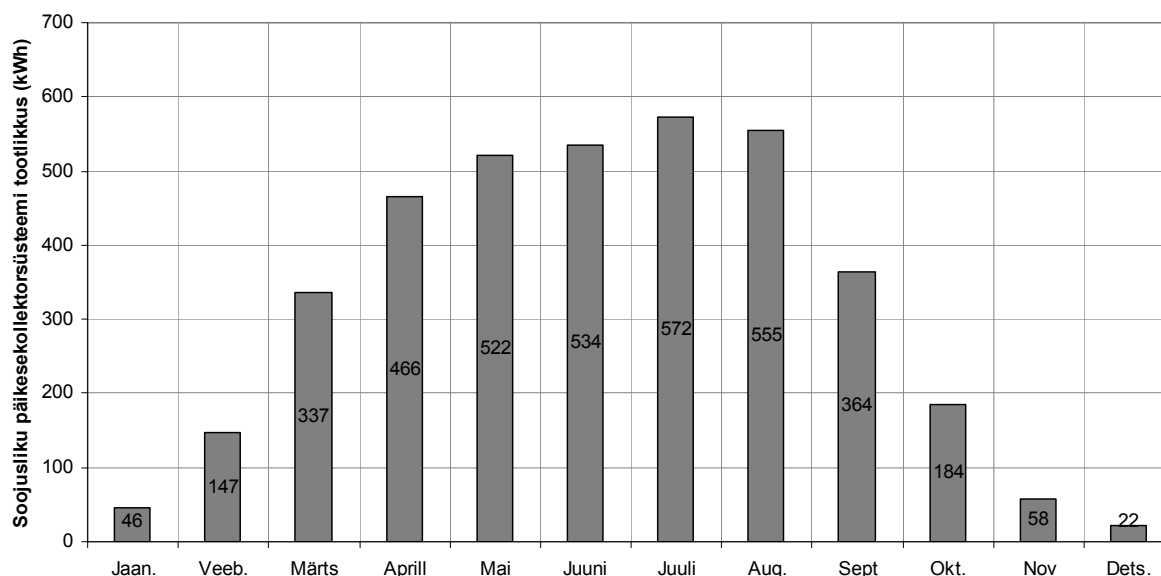


Joonis 77. Näitena arvatud soojusliku päikeseküttesüsteemi põhimõtteskeem. Läbi akupaagi sisese torusoojusvaheti energiasalvestus, lisakütteallikas, plaatsoojusvaheti sooja tarbevee tootmiseks, süsteemi kontrollid (Arvutus: Polysun 2010).

Tabel 13. Soojusliku päikeseküttesüsteemi tootlikkuse arvutamise eeldusandmed, mis peavad olema pakkumiste võrdlemise võimaldamiseks alati avaldatud:

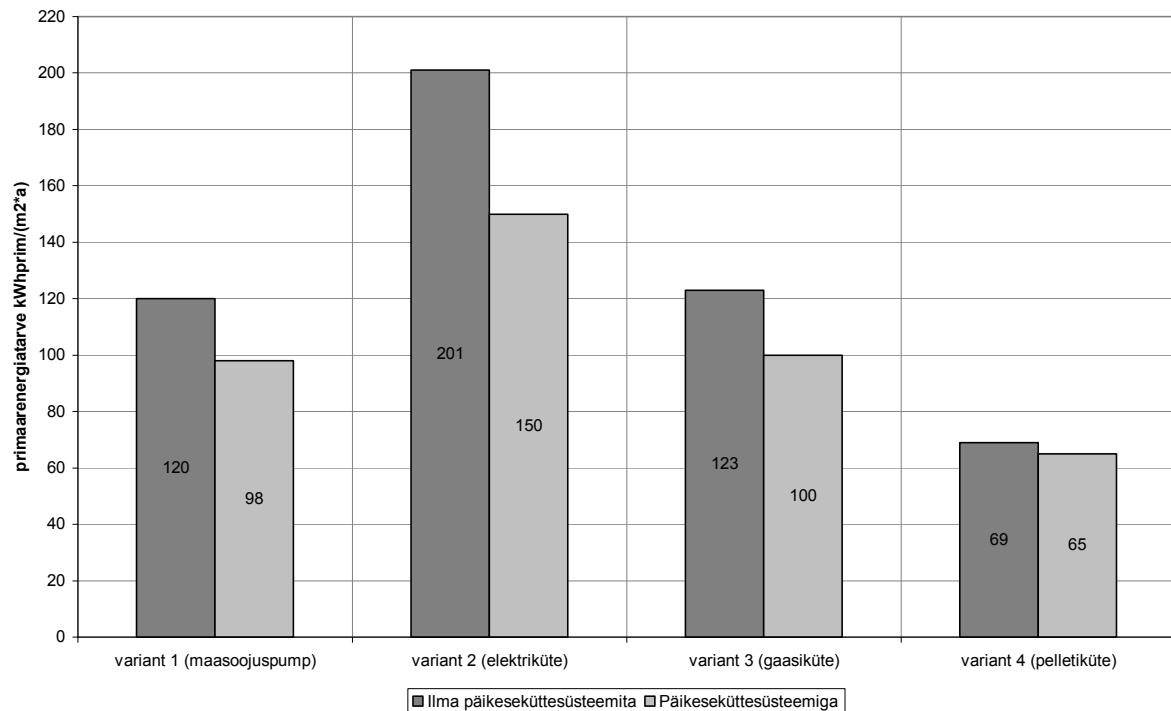
Sooja tarbevee keskmine päevane tarbimine	200 l/päevas
Sooja tarbevee temperatuur	60°C
Sooja tarbevee tarbimise nominaalne vooluhulk	360 liitrit/h
Sooja tarbevee tarbimisprofiil	Standardne eramu tarbimisprofiil päeva ja nädala lõikes
Soojuslike päikesekollektorite tüüp	Plaatkollektor
Soojuslike päikesekollektorite brutopind	10,3 m ²
Soojuslike päikesekollektorite efektiivne absorbeeriv pind	8,85 m ²
Soojuslike päikesekollektorite suund	Lõuna
Soojuslike päikesekollektorite tõusunurk	55 deg.
Kollektorite ja akupagi vahelise toru pikkus väliskeskkonnas	10 m
Väliskeskkonnas oleva toru soojustuse paksus	15 mm
Akumulatsioonipaagi maht	500 liitrit
Kollektoritest energia salvestamise soojusvaheti tüüp (toru-; plaatsoojusvaheti)	Torusoojusvaheti
Kihtlaadimine jah/ei	ei
Sooja tarbevee tootmiseks kasutatav soojusvaheti tüüp	Plaatsoojusvaheti
Soojusvaheti tootlikkus	<35 l/min
Arvutusteks kasutatud tarkvara (T*Sol; Polysun; PHPP jne)	Polysun
Arvutusteks kasutatud asukoha kliimaandmestik	Metetest "Tallinn"

Süsteemi arvutuslik tootlikkus



Joonis 78. Näitena arvatud soojusliku päikeseküttesüsteemi tootlikkus (kWh) Eesti kliimas. Arvutused on teostatud dünaamilise soojuslike kollektorsüsteemide simulatsiooni tarkvaraga Polysun4, kasutades eelnevalt kirjeldatud detaileid lähteandmeid. Aastane summaarne panus sooja tarbevee energiavajaduse katmiseks soojusliku päikeseküttesüsteemi poolt on **3806 kWh**. Aasta keskmisena on kaetud **57%** sooja tarbevee energiavajadusest.

Soojusliku päikeseküttesüsteemi poolt toodetud energia mõjutab oluliselt hoone primaarenergiavajadust.



Joonis 79. Näitena kirjeldatud hoone primaarenergiatarbimise alanemine erinevate küteliikide korral võrreldes algsega (tumedam tulp) kasutades sooja tarbevee tootmiseks kirjeldatud soojustikku päikeseküttesüsteemi. Pumpade elektrikulu on võetud arvesse maja ülelektri tarbimise juures.

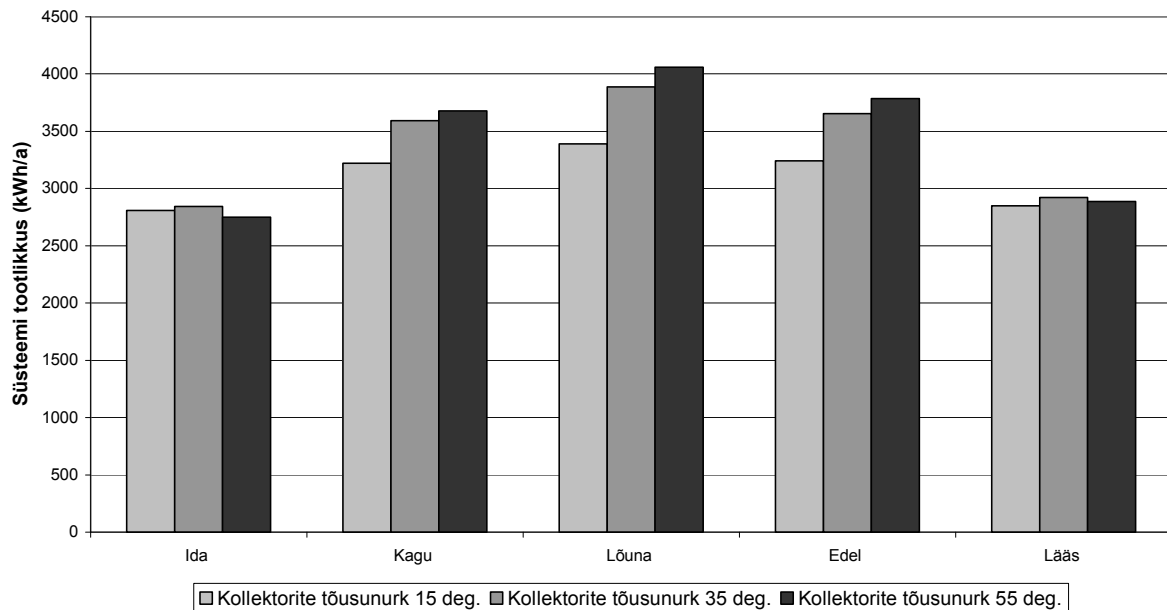
Toodud variantidest vastavad passiivmaja kriteeriumitele nüüd variant 1 (maasoojus-pump), variant 3 (gaasiküte) ja variant 4 (pelletiküte). Ainsana ületab hoone primaar-energiatarbimine 120 kWh piiri variant 2 (elektriküte).

Kollektorvälja paigutuse kavandamine

Kollektorvälja paigutamisel on vajalik tagada:

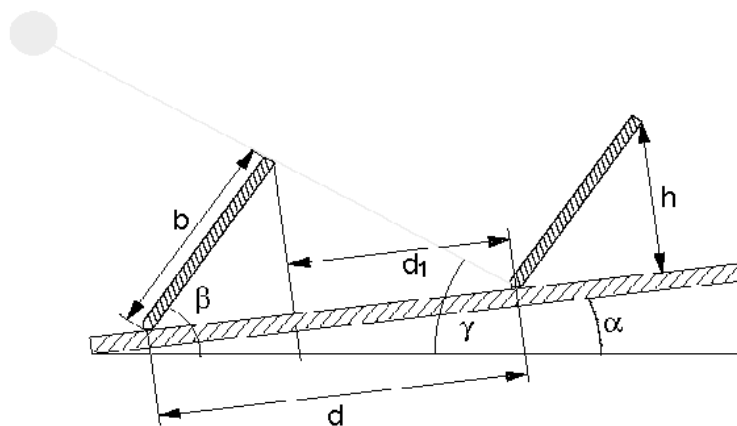
- kollektorite optimaalne kaldenurk (55° talvise päikese püüdmiseks, ainult suvise tootlikkuse tagamiseks ca 35°)
- kollektorite varjutatuse adekvaatne hindamine
- suund lõunakaarde
- ühendustorude korralik soojustus selleks sobiva materjaliga (plaatkollektorite ja vaakumkollektorite maksimumtemperatuur väga erinev)
- ühendustorude minimaalne võimalik pikkus väliskeskkonnas

Kollektorite tõusunurga ja orientatsiooni mõju päikeseküttesüsteemi (10 m² kollektoreid, 500 l akupaak) tootlikkusele



Joonis 80. Kollektorite kaldenurga mõju süsteemi tootlikkusele erinevate ilmakaarte korral.

Kui soovitakse kollektoreid paigutada kahte eraldiseisvasse gruppi ida-lääne suunaliselt (*split*-süsteem) tuleb arvestada süsteemi tootlikkuse ca 20% vähenemisega (Polysun4). Loomulikult sõltub see konkreetse süsteemi mahulisest lahendusest ja tarbimisprofiilist.



Joonis 81. Kollektoriridade paiknemise puhul on vaja varjutamise vältimiseks jälgida järgmisi muutujaid: b – kollektori serva pikkus; d – kollektoriridade omavaheline kaugus; h – kollektori serva kõrgus paigalduspinnast; d_1 – eelmise rea kollektori tagumise serva kaugus järgmise rea kollektori esimesest servast; α – paigalduspinna kalle võrreldes horisontaalpinnaga; β – kollektori tõusunurk horisontaalpinnast (T^*Sol).

Süsteemi käivitamine

Oluline on seadistada soojuskandja (nt glükool) vooluhulgad läbi kollektorvälja (tüüpiliselt vahemikus 20–35 l/(m²*h)).

Paigaldatud väliste toruühenduste soojustus peab vastu pidama 150°C kuumusele.

Päikeseküttesüsteemi kollektoriringi soojuskandjaga (glükooliga) täitmisel on vaja jälgida, et süsteemist oleks eraldatud kogu torudes ja kollektorites olev õhk. Süsteemi töötades peaks see väljenduma pumpade vaikses töös. Õhk vähendab oluliselt süsteemi efektiivsust. Kollektoriringi normaalne tööõhk on 2,5–3,5 bar.

Tagasiside toimimisest: seire

Põhjalikum seire korraldatakse tüüpiliselt eksperimentaalobjektidel.

Andmed võimaldavad võrrelda arvutuslikke väärtusi tegelikega (vajadusel täpsustada arvutusmudeli sisendeid ja meetodeid).

Seire ei ole tingimata kõikide kõrge energiatõhususega hoonete juures kohustuslik.

Alljärgnevalt Valga passiivmajakomponentidega rekonstrueeritud lasteaia seire näide.



Joonis 82. Valgas passiivmaja komponentidega rekonstrueeritud lasteaed, valminud 2009 septembris.

Sisekliima

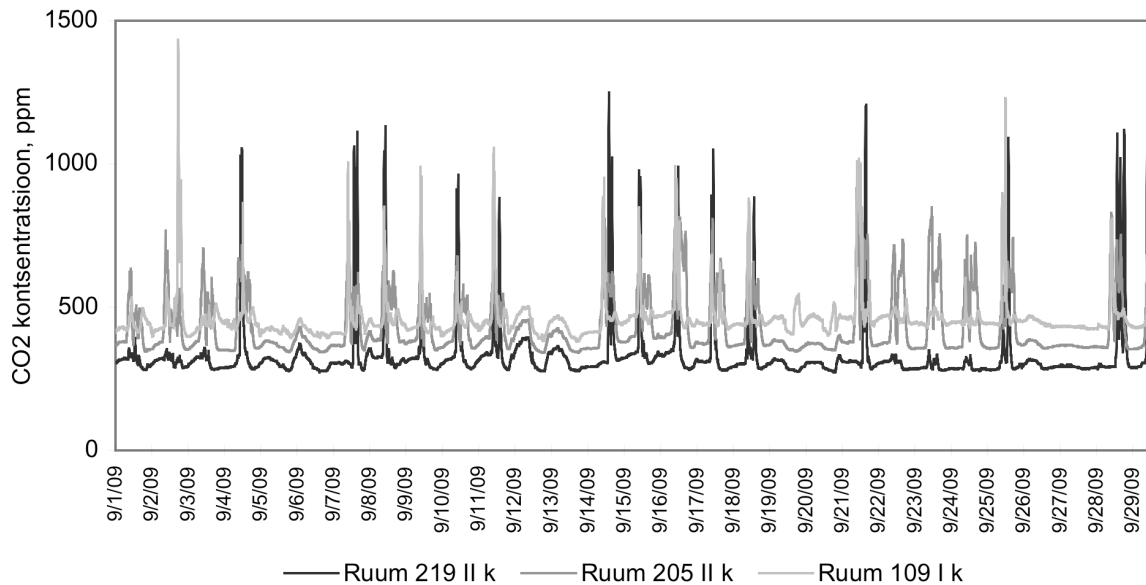
Mõõdetavad parameetrid:

- õhutemperatuur
- õhuniiskus, % r.h. (Comet T3118 sensor)
- CO₂ kontsentratsioon (Delta OHM HD37BTV)

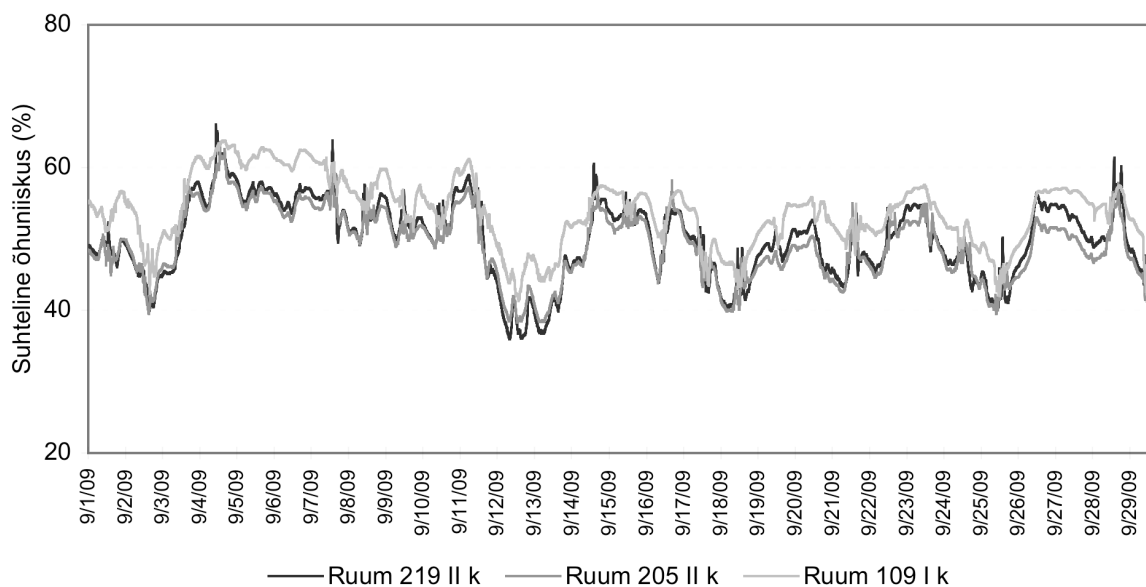
Mõõtepunktid:

- rühmade ühiskasutuses olevas muusikaruumis (ruum 109)
- rühmade ühiskasutuses olevas spordisaalis (ruum 219)
- ühes rühmaruumis, mis asub lasteaia lõunapoolses osas (ruum 205)

Kõigis seiratavates ruumides asuvad õhutemperatuuri, suhtelise õhuniiskuse andurid (Comet T3118 sensor) ning CO₂ kontsentratsiooni andurid (Delta OHM HD37BTV), mille info salvestatakse intervalliga 5 minutit kesksesse andmehõivemoodulisse (Comet MS5+).



Joonis 83. Mõõdetud ruumiõhu CO² sisalduse väärtused (Valga passiivmajakomponentidega rekonstrueeritud lasteaed, september 2009).



Joonis 84. Mõõdetud ruumiõhu suhtelise õhuniiskuse väärtused (Valga passiivmajakomponentidega rekonstrueeritud lasteaed, september 2009).

Paralleelne välisõhu parameetrite seire

- õhutemperatuur (Comet T3110 sensor)
- suhteline õhuniiskus (Comet T3110 sensor)

Keskne dataloger: Delta OHM HD37BTV.

Automaatne andmeedastus üle Interneti.

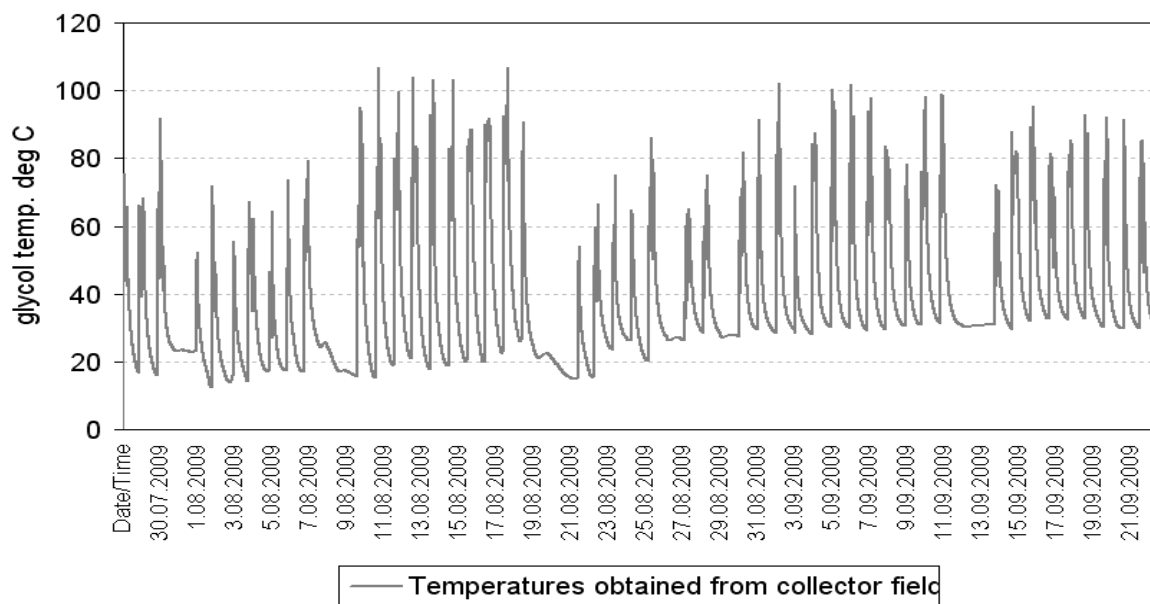
Päikeseküttesüsteem

Süsteemi seire on korraldatud andmelogi RESOL DL2 abil, mis on ühendatud päikeseküttesüsteemi kontrolleri SKSC3 külge.

Logger salvestab kõiki parameetreid mida süsteemi kontrolleri SKSC 3 kontrollib:

- 6 sensori temperatuure
 - akupaagi temperatuuri kahes kihis
 - kollektori temperatuuri
 - tagasivoolu glükooli temperatuuri
 - akupaaki laetava kuuma vee temperatuuri
 - akupaagist kihtlaadimismoodulisse tuleva külma vee temperatuuri
- pumpade ja ventiilide staatust
 - kihtlaadimispump
 - kihtlaadimise 3-tee ventiil
 - kollektoriringi glükooli pump

Kollektorvälja kõrvale on paigaldatud päikesekiirguse andur, mille andmeid salvestab andmeloger. Salvestatud andmed saab üle Interneti alla laadida. Andmeloger võimaldab süsteemi kontrolleri suhelda ja süsteemi parameetreid vajadusel muuta.



Joonis 85. Mõõdetud päikesekollektoritest tuleva glükooli temperatuur (tunni täpsusega) juuli-sept 2009 (Valga passiivmajakomponentidega rekonstrueeritud lasteaed).

Allikad

- Duffie, J., Beckman, W.** 2006. Solar Engineering of Thermal Processes. **Establishment of a Co-operation Network of Passive House Promoters (PASS-NET)**. International Passivhaus Database. 1. Period of documentation 2007–2009. 20,000 Passivhaus projects in Europe. With the support of Intelligent Energy Europe. Ing. G. Lang. May 2009 Wien.
- Feist, W., Pfluger, R., Kaufmann, B., Schnieders, J., Kah, O.** 2007. Passive House Planning Package 2007, Requirements for Quality Approved Passive Houses.
- Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., Haas, A.** 2005. Re-inventing air heating: convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and Buildings* 37, 1186–1203.
- IBO – Austrian Institute for Healthy and Ecological Building.** Details for Passive Houses. A catalogue of ecologically rated construction. Wien. 2008.
- Kalamees, T. and Kurnitski, J.** 2006. Estonian test reference year for energy calculations. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering* 12 (1): 40–58.
- Protokollband Nr 18.** Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser. Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäuser. Passivhaus Institut, Darmstadt. 2008.
- Protokollband Nr 8.** Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser. Materialwahl, Ökologie und Raumlufthygiene. Passivhaus Institut, Darmstadt. 1997.
- Schieders, J., Hermelink, A.** 2004. CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. *Energy Policy* 34, 151–171.

Lisad

Lisa 1

Ehitamisest tulenev mõju keskkonnale, tüüpilised indikaatorid

Informatsioon materjalide mõju kohta võib sisaldada parameetreid:

- globaalse soojenemise potentsiaal (GWP – *Global Warming Potential*)
- hapestumispotentsiaal (AP – *Acidification potential*)
- Primaarenergiasisaldus; taastuv (PEI e) ja mittetaastuv (PEI ne) – (*Primärenergie inhalt, nicht-erneubare, erneubare*)
- Fotooksüdantide moodustumine (POCP – *formation of photooxidants*)
- Eutrofeerumispotentsiaal (EP – *euthropication potential*)
- Ökoloogiline indeks $OI3_{Kon}$, arvutustulemus (*ecological index*)

PEI e, PEI ne

Primaarenergiasisaldus – energia mis on kasutatud materjali / komponendi / teenuse tootmiseks.

See on saadud arvestades mõlemat, nii taastuvast kui taastumatust allikast pärinevat energiat.

Primaarne mittetaastuva energia sisaldus – PEI ne – summeerib kõik mittetaastuva energia allikad, mida on (näiteks toote tootmiseks) kasutatud.

Primaarne taastuva energia sisaldus – PEI e – summeerib kõik taastuva energia allikad, mida on kasutatud.

GWP

Hõlmab olulisemad kliimasoojenemist mõjutavate ainete emissiooni; väljendatakse suhtes süsinikdioksiidi (CO_2) emissiooni (ekvivalendina).

AP

Hapestumine toimub peamiselt lämmastikoksiidide (NO_x) ja vääveldioksiidi reageerimisel teiste õhus olevate komponentidega, nt hüdroksüüluga. AP on mõõt, mis näitab, kui suur on kalduvus, et komponent hapestub. Näidatakse tavaliselt seostatuna vääveldioksiidiga.

POCP

Fotooksüdandid on reaktiivsete gaaside segu, mis on tervisele kahjulikud; toodavad fotokeemilise reaktsiooni tulemusena nt osooni.

EP

Näitab, mil määral toote lämmastiku ja fosforisisaldus põhjustab biomassi kasvu.

Ökoloogiline indeks ehitustegevuse kirjeldamiseks

Näide: eco-index 3 ($OI3_{Kon}$)

Indeks, mis on mõeldud hoonete kvantitatiivseks ökoloogiliseks hindamiseks. Arvutatakse parameetritest PEI_{ne} , GWP ja AP. Enamiku toodete puhul varieerub väärtus –30 kuni 120 punkti. Mida kõrgem on indeksi väärtus seda suurem on ökoloogiline mõju. Ökoloogiliselt optimeeritud ehitusmaterjalid ja -komponendid võivad saada negatiivseid väärtusi, kui need on erakordselt tõhusad.

Lisa 2

Ruumi õhu ja sisekliima kvaliteet, SBM-2008 (Standard of building biology testing methods) väljavõte

Mõõtmistulemuste hindamine:

- A sobiv sisekliima, tänapäevastes keskkonnatingimustes parim tulemus
- B ettevaatusabinõuna (eriti, kui on tegemist allergikute või tundlike inimestega) on soovitatav kõrvalekaldega tegeleda.
- C tulemused ei ole vastuvõetavad ja probleem tuleb lahendada, kuna teadaolevate teaduslike uuringute tulemuste põhjal on sellistes vahemikes näitajad tervisele kahjulikud.
- D näitajad nõuavad probleemi kõrvaldamist, kuna rahvusvaheliste direktiivide ja soovitude kohaselt on tegemist kas ülempiirmäära või isegi selle ületamisega.

A. Väljad, lained, kiirgus

Vahelduvvool, elektriväljad (*Low Frequency, ELF/VLF*)

Allikad: vahelduvvoolu pingele elektriseadeldistes, kaablites, seadmetes, pistikupesades, seintel, põrandates, kõrgepinge- ja teistes elektriliinides jne

	A	B	C	D
Väljatugevus volti meetrites V/m	< 1	1–5	5–50	> 50

Vahelduvvool, magnetväljad (*Low Frequency, ELF/VLF*)

Allikad: vahelduvvool elektripaigaldistes, kaablid, seadmed, trafod, mootorid, juhtmed, elektriliinid, raudteed jne

	A	B	C	D
Vootihedus nanoteslades, nT	< 20	20–100	100–500	> 500
milligaussides mG	< 0.2	0.2–1	1–5	> 5

Raadiosagedusel kiirgus (*High Frequency, Electromagnetic Waves*)

Allikad: mobiiltelefonid, saatjad, TV/raadio, radarid, juhtmevabad telefonid jne

	A	B	C	D
Energiaihedus mikrovatti ruutmeetri kohta, $\mu\text{W}/\text{m}^2$	< 0.1	0.1–10	10–1000	> 1000

Elektrostaatilised väljad (*Electrostatics*)

Allikad: sünteetilised vaibad, kardinaad ja tekstiilid, vinüültapeet, lakk, laminaat, pehmed mänguloomad, teleri või arvuti ekraanid jne

	A	B	C	D
Pinna pinge / lahenduse kestus volti sekundites, V/s	< 100V / < 10s	100–500V / 10–30s	500–2000V / 30–60s	> 2000V / > 60s

Radioaktiivsus (*Gamma Radiation, Radon*)

Allikad: ehitusmaterjalid, kivid, sillutus, prügi, seadmed, ventilatsioon, kiirgus geoloogilistest allikatest, asukoht, keskkond jne

	A	B	C	D
Radoon, bekrelli kuupmeetri kohta, Bq/m^3	< 30	30–60	60–200	> 200

B. Toksilised ained siseruumides, reostusained, sisekliima

Formaldehüüd jt toksilised gaasid

Allikad: lakid, liimid, saepuruplaadid, puidutooted, mööbel, seadmed, küte, gaasilekked, põlemine, heitgaasid, keskkond jne

	A	B	C	D
Formaldahüüd, mikrogrammi kuupmeetri kohta õhus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 20	20–50	50–100	> 100

Lenduvad orgaanilised ühendid (*Volatile Organic Compounds – VOC*)

Allikad: värvid, lakid, sideained, sünteetika, ehitusmaterjalid, saepuruplaadid, mööbel, puhastusvahendid jne

	A	B	C	D
VOC, mikrogrammi kuupmeetri kohta õhus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 100	100–300	300–1000	> 1000

Pestitsiidid jt pool-lenduvad orgaanilised ühendid (*Semi-Volatile Organic Compounds – SVOV*)

Allikad: puidu, naha ja vaipkatete kaitsevahendid, lakid, plastik, katematerjalid, kahjuritõrjevahendid jne

	A	B	C	D
Pestitsiidid nagu PCP, lindaan, permetriin, kloropüriifoss, DDT, diklofluaniid, õhus ng/m^3	< 5	5–25	25–100	> 100
puidus, materjalides mg/kg	< 1	1–10	25–100	> 100
nahaga kokkupuutuvatel materjalidel mg/kg	< 0.5	0.5–2	2–10	> 10

Raskemetallid jt sarnased toksilised ained

Allikad: puidukaitsevahendid, ehitusmaterjalid, PVC, värvid, lakid, torud, tööstus, toksilised jäätmed, keskkond jne

Osakesed ja kiud

Allikad: tolm, suits, tahm, ehitusmaterjalid, keskkond jne.

Siseruumide mikroosakeste, tolmu ja kiudude kontsentratsioon peaks olema madalam saastamata välisõhu kontsentratsioonist.

Sisekliima (suhteline õhuniiskus, süsinikdioksiid, õhuioonid)

Mõjutavad tegurid: niiskuskahjustused, ehitusmaterjalid, ventilatsioon, küte, mööbel, välja hingatav õhk, staatiline elekter, kiirgus, tolm, keskkond jne

	A	B	C	D
Suhteline õhuniiskus protsentides, % r.h.	40–60	< 40 / > 60	< 30 / > 70	< 20 / > 80
Süsinikdioksiid, osakest miljoni kohta, ppm	< 600	600–1000	1000–1500	> 1500
Õhuioonid, $1/\text{cm}^3$	> 500	200–500	100–200	< 100

C. Seened, bakterid, allergeenid

Seened ja nende spoorid

Allikad: niiskuse kahjustused, külmasillad, ehitusdefektid, ehitusmaterjalid, kliimaseadmed, keskkond jne.

Erinevate diagnostiliste meetodite kombinatsioonid, mis arvestavad erinevate olukordade spetsiifikat, võimaldavad identifitseerida seente tekkimise allikad näiteks mikroskoobi, toksikoloogiliste analüüside või siseruumi kliima ja niiskuse mõõtmiste abil nii õhust,

pindadelt, tolmust kui vedelikest. Seente üldarv siseõhus ei tohiks olla kõrgem kui välisõhus või mõnes muus saastamata õhuga hoone siseruumis. Seente tüübid peaksid kõigis neis olema sarnased.

Potentsiaalset seene olemasolu peab kindlasti uurima järgmistel juhtudel: nähtav hallitus (mida suuremal alal, seda kriitilisem), külmasillad, pidev kõrge õhuniiskus, niiskuse kahjustused ehitisel, ebameeldiv lõhn, terviseprobleemid jne.

Pärmiseened

Allikad: niisked alad, hügieeniprobleemid, toidu hoiustamise kohad, prügi, veepuhastusseadmed, torustikud jne.

Pärmiseened (eriti haigusttekitavad) ei tohiks sattuda siseõhku, vannituppa, kööki, toidu hoiustamise kohtadesse.

Bakterid

Allikad: niiskusest kahjustatud kohad, reovee kahjustused, hügieeniprobleemid, toidu hoiustamise kohad, veepuhastussüsteemid, torustik jne.

Bakterite nagu ka seente hulk siseruumide õhus peaks olema sama või väiksem kui välisõhus või mõnes muus saastamata õhuga hoone siseruumis. Bakterite olemasolu peaks uurima kõrge niiskuse, veekahjustuste, hügieeniprobleemide või ebameeldiva lõhna korral toas. Seened ja bakterid eksisteerivad tihti koos, mistõttu on enamasti võimalik kummagi uurimisel avastada ka teine.

PassiveHouse OÜ
Tartu Ülikooli spin-off ettevõte
www.passiivmaja.ee
tel. 737 4812

- PHPP tarkvara müük ja koolitus
- Certified European Passive House Designer (CEPH) kursus
(www.passivhausplaner.eu)
- Tõhusa energiakasutusega hoonete projekteerimise nõustamine