



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT

# LIGINULLENERGIA ELUHOONED VÄIKEMAJAD

TALLINN  
Detsember 2017



Euroopa Liit  
Ühtekuuluvusfond



Eesti  
tuleviku heaks

**KRED&X**

<b>1. SISSEJUHATUS.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ENERGIATÕHUSUSE PÕHINÄITAJAD .....</b>	<b>4</b>
2.1. ENERGIATÕHUSUSE DEFINITSIOON .....	4
2.2. ENERGIATÕHUSUSE PÕHIKOMPONENDID .....	6
2.1. ENERGIATÕHUSUSARVU KUJUNEMINE .....	7
<b>3. VÄLISPIIRETE SOOJUSERIKAO ARVUTUS .....</b>	<b>11</b>
3.1. SUMMAARNE SOOJUSKADU .....	11
3.2. PIIRDETARINDI SOOJUSLÄBIVUS $U, W/(m^2 \cdot K)$ .....	13
3.3. PIIRDETARINDITE LIITEKOHTADE JOONSOOJUSLÄBIVUS.....	14
3.4. AVATÄITED.....	15
<b>4. PIIRDETARINDITE VALIK .....</b>	<b>18</b>
4.1. SOOVITUSLIKUD SOOJUSLÄBIVUSED .....	18
4.2. PIIRDETARINDITE NÄITEID .....	20
4.3. VÄLISPIIRETE ÕHUPIDAVUS .....	27
<b>5. SUVISE ÜLEKUUMENEMISE VÄLTIMINE JA PÄEVAVALGUS.....</b>	<b>30</b>
<b>6. TEHNOSÜSTEEMID .....</b>	<b>33</b>
6.1. VENTILATSIOON .....	33
6.2. SOOJUSVARUSTUS JA KÜTE .....	38
6.1. AUTOMAATIKA JA MONITOORING .....	48
<b>7. LOKAALNE TAASTUVENERGIA .....</b>	<b>50</b>
7.1. PÄIKESEENERGIA KASUTAMINE .....	50
<b>8. TARINDITE KULUEFEKTIIVSUS .....</b>	<b>55</b>

# 1. SISSEJUHATUS

Käesolev väikeelamute kavandamise abimaterjal on valminud ühe osana KredExi liginullenergia eluhoonete projektist. Projekti eesmärgiks oli välja töötada liginullenergia eluhoonete tüüplahendusi, mis on vormistatud näidisprojektide ning juhendmaterjalide kujul.

Väikeelamu juhend on abiks põhimõtteliste lahenduste valikul ja eelprojekti koostamisel. Eelprojektiga saab taotleda ehitusluba ning küsida ka töövõtjate hinnapakumisi. Juhend on koostatud põhimõttel "energiatõhusus kõigile", energiatohususega seotud valikuid ja energiaarvutust maksimaalselt lihtsustades tüüpsete lahenduste ning väikeelamu lihtsustatud tõendamismetoodika abil. Hoone energiatohususarvu saab ligikaudselt hinnata käsitsi arvutades, energiamärgise jaoks sisestatakse samad andmed väikeelamu energiatohususarvu lihtsustatud tõendamise kalkulaatorisse. Kõige mahukam arvutusülesanne on hoone välispiirete soojuskadude arvutus, mida on võimalik teha juhendis toodud valemite ning joonsoojuslähivuste tüüpväärtustega, eeldusel, et järgitakse juhendis toodud tüüptarindite põhimõtteid. Energiatohususarvu kalkulaatorisse lisatakse tehnosüsteemide ja lokaalse taastuvenergia süsteemide komponendid, mis on juhendis välja arvutatud tüüpsetele lahendustele või mille arvutamiseks on toodud lihtsad valemid. Kui kasutatakse erilahendusi, siis energiatohususarvu lihtsustatud tõendamise metoodikat ei ole võimalik kasutada ning tuleb sooritada tavapärane energiasimulatsioonarvutus.

Juhendi kasutaja saab ettekujutuse energiatohususe põhimõistetest ning energiatohususarvu kujunemisest. Välispiirete lahendused näitavad, kuidas puit- või kivikonstruktsioonis maju tuleb soojustada ning kuidas hoitakse külmasillad kontrolli all. Ventilatsioonisüsteemi juhised võimaldavad arvutada vajalikud õhuvooluhulgad ja valida õige suurusega ventilatsiooniseadme ja torustiku ning toodud ruumivajadusi arvestades mahutada need hoonesse. Samuti on kirjeldatud olulisemaid soojusallikaid ja küttesüsteeme, et oleks võimalik valida konkreetsele krundile ja hoonesse sobiv lahendus. Energiatohususarvu arvutus näitab mis mahus lokaalse taastuvenergia süsteeme vajatakse. Kompaktse, hästi soojustatud ja efektiivse soojusallikaga hoones on lokaalse taastuvenergia vajadus minimaalne, kuid need süsteemid võimaldavad vajadusel teatud järeleandmisi eelnimetatud tegurites.

Projekti töös on osalenud tellijatena Kalle Kuusk KredEx-ist ja Margus Tali MKM-ist. Näidisprojektid ja juhendmaterjalid on valminud TTÜ Ehituse ja arhitektuuri instituudi liginullenergiahoonete uurimisrühma ning projektis osalenud ehitusettevõtete, arendajate, majatehaste, arhitektide ja eriosade projekteerijate koostöös. Ettevõtetest osalesid projekti töös Andres Jakobi ja Roman Metsaluik, YIT Ehitus, Madis Nurm ja Tiit Kuusik, Merko Ehitus, Raivo Külaots, Matek, Ivar Mardim ja Madis Lobjakas, Timbeco Ehitus, Mihkel Urmet, Tempt OÜ, Aivar Villemson, AAKV/LAAM, Heiki Õitspuu, Energiamaaja, Velle Kadalipp, Arhitektuuribüroo JVR, Kaspar Kruuse ja Anton Andres, KAMP Arhitektid, Tõnu Laigu, QP Arhitektid ja Teet Tark, Hevac. TTÜ-st osalesid Jarek Kurnitski, Endrik Arumägi, Raimo Simson, Targo Kalamees, Francesco de Luca, Hendrik Voll, Andri Jagomägi, Anti Hamburg, Paul Klõšeiko, Laur Vatsfeld, Sander Jakunin ja Henri Sarevet.

Energiatohusat ehitust ja mõnusat sisekliimat!

## 2. ENERGIATÕHUSUSE PÕHINÄITAJAD

### 2.1. ENERGIATÕHUSUSE DEFINITSIOON

Hoone energiatõhususe tase „Liginullenergiahoone“ tähendab, et hoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendusi kasutades tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui 0 kWh/(m<sup>2</sup>·a), kuid mitte suurem kui määruses sätestatud näitaja.

Hoonete energiatõhusust väljendatakse energiatõhususarvuga (ETA), mis kirjeldab hoone summaarset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. Energiatõhususarv on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiatega kaalutud erikasutus. Tarnitud energia all mõistetakse hangitud elektrit, kaugkütet või kütuseid. Erikasutus on aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone köetavate ruumide netopindala kohta [kWh/(m<sup>2</sup>·a)]. Energiatõhususarv arvutatakse hoone sisekliima tagamisega ruumide netopindala kohta (köetav pindala) hoone standardkasutusel.

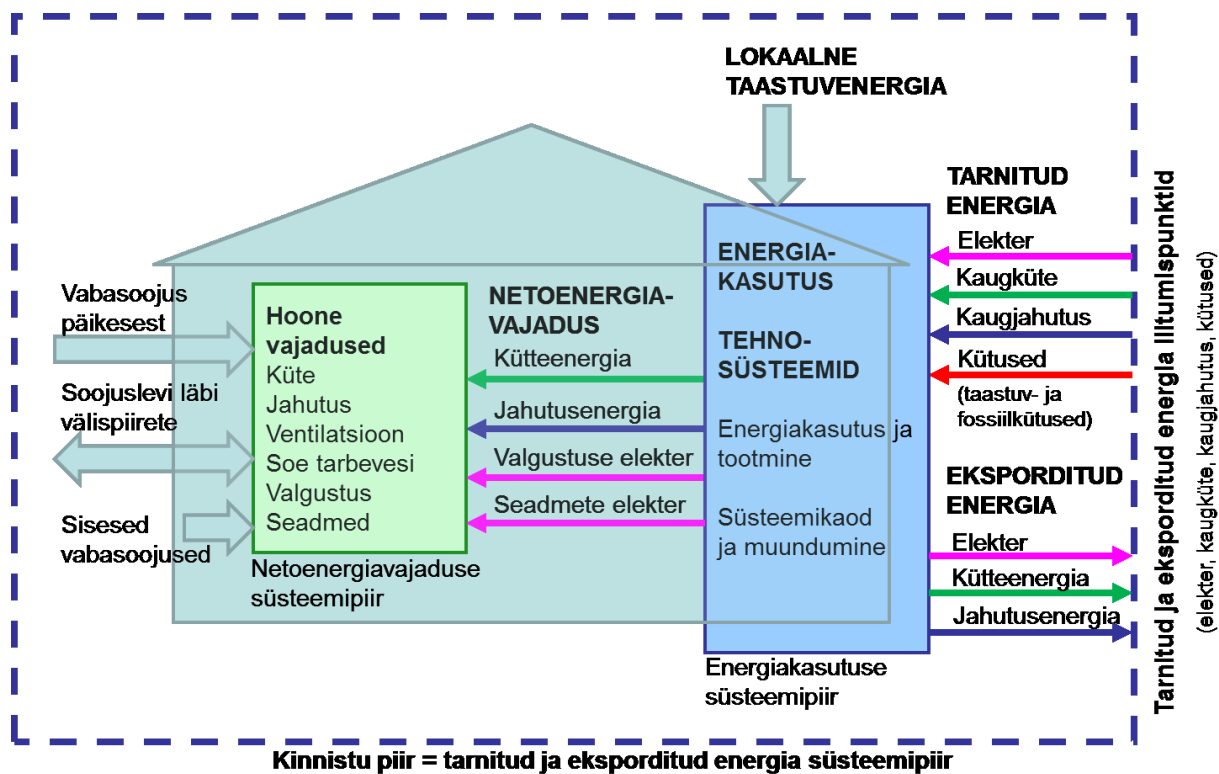
Liginullenergiahoonete energiatõhususarvule on lähtuvalt hoone tüübist kehtestatud oma piirväärtused (MTM nr. 55). Tabel 2.1 on esitatud energiatõhususarvu piirväärtused.

*Tabel 2.1. Energiatõhususarvu piirväärtused*

Hoone kasutusotstarve	Energiatõhususarv kWh/( m <sup>2</sup> ·a)
Väikeelamu kuni 120 m <sup>2</sup>	125*
Väikeelamu 120 kuni 220 m <sup>2</sup>	100*
Väikeelamu üle 220 m <sup>2</sup>	80*

\*kavandatav väärtus energiatõhususe miinimumnõuete määruses

Lokaalse taastuvenergia all mõistetakse päikesest, tuulest või veest toodetud soojust või elektrit. Soojuspumbad, mis samuti kasutavad lokaalset taastuvenergiat, arvutatakse hoone energiakasutuse koosseisu vastavalt soojus- või jahutustegurile. Taastuvkütuseid käsitletakse tarnitud taastuvenergiana.



Joonis 2.1 Energiatõhususe mõisted ja komponendid.

ETA arvutamisel võetakse arvesse kõik hoonesse tarnitud energiad (elekter, kütus, kaugküte, vt Joonis 2.1) ja arvutatakse valemiga (MTM nr. 58):

$$ETA = \frac{\sum_i \text{tarnitud energia} \times \text{kaalumistegur} - \sum_i \text{eksporditud energia} \times \text{kaalumistegur}}{\text{kõetav pindala}}$$

Energiatõhususarvu arvutus on samasugune nagu energiakulude arvutus eurodes, aga selle erinevusega, et energia hinna asemel kasutatakse suhtelisi energiakandjate kaalumistegureid.

*Energiakandjate kaalumistegurid* on tegurid, millega võetakse arvesse tarnitud energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju.

*Primaarenergia* on ühe kilovatt-tunni tarnitud energia tootmiseks vajalik esmane energiahulk taastuvatest ja mittetaastuvatest energiaallikatest, mis sisaldab kõiki energiaallika ammutamise, energia tootmise, ülekande ja jaotamise kadusid.

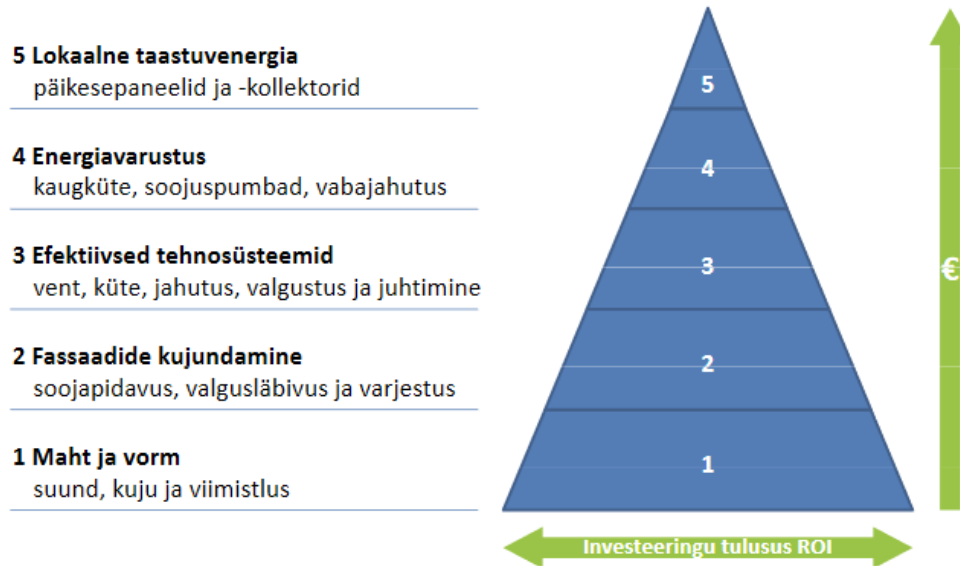
Primaarenergiapõhised energiakandjate kaalumistegurid on järgmised:

- fossiilkütused 1,0;
- kaugküte 0,9;
- taastuvkütused 0,75;
- elekter 2,0.

Näiteks gaasi(fossiilkütus)tegur 1,0 ja elektritegur 2,0 tähendavad, et sama energiatõhususarvu saavutamiseks võib kuluda kaks korda vähem elektrit kui gaasi.

## 2.2. ENERGIATÕHUSUSE PÕHIKOMPONENDID

Energiatõhususe põhinäitajaid on otstarbekas jälgida nii energiabilansi komponentide kui ka projekteerimise protsessis tehtavate valikute osas. Joonis 2.2 on näha hoone kavandamisel ja projekteerimisel tehtavate valikute eelistatavat järjekorda ning mõju energiatõhususele.



Joonis 2.2. Energiatõhususe kavandamine.

Selline lähenemine koos põhiparameetrite kontrollarvude jälgimisega on viis kontrollida ja kavandada hoone energiatõhusust kavandamise ja projekteerimise algaasis kuni esimeste energiasimulatsioonide tegemiseni esikiisvariantidele. Energiasimulatsioonid annavad indikatsiooni energiabilansi erinevatele komponentidele, mis võimaldab edasist täpsemate lahenduste valikut ja väljatöötamist järgmistes tööfaasides. Väikeelamute puhul võib piirduda järgnevalt toodud juhiste järgimisega, kuid kui eesmärgiks on näiteks plussenergiahoone, siis energiasimulatsioonid ja detailsem projekteerimine on vältimatud.

Energiatõhusust mõjutab oluliselt hoone mahuline lahendus ehk hoone kompaktsus ja orientatsioon. Välispiirete pindala, eriti akende suurus, sisekliimaga tagatavate ruumide põranda pindala kohta võib mõjutada hoone energiatõhusust sellisel määral, et ebaõnnestunud lahenduse korral seda järgmistes töötappides mõistlikult korrigeerida ei õnnestu. Lisaks akende valikule tuleb teha ratsionaalne valik ka teiste välispiirete lahenduste osas.

Hoone kompaktsuse, akende suuruse ja ka soojustuse taseme mõju hindamiseks on võimalik kasutada hoone välispiirete soojuserikadu  $H$ , mis esitatakse sisekliimaga tagatavate ruumide netopindala (kõetava pindala) kohta,  $H/A_{kõetav}$ . Välispiirete soojuserikadu  $H$  arvutatakse, summeerides kõikide välispiirete soojuslähivuste ja pindalade korrutised, millele lisatakse piirdetarindite liitekohtade ja soojustuste katkestuste ning infiltratsiooni soojuskaod. Välispiirete, akende ja uste soojuslähivuste määramisel ning akende suuruste valikul on võimalik kaaluda erinevaid lahendusi, jälgides nende mõju soojuserikaole. Toimivateks lahendusteks võib pidada selliseid kombinatsioone, kus hoone erinevate osade soojuslähivuste ja pindalade muutmisel arvutatud soojuserikao väärtus ei ületa soovituslikku piirväärtust.

Lisaks mahule, vormile ja piirdetarindite lahendustele mõjutavad hoone energiatõhusust tehnosüsteemid. Hoone tehnosüsteemid on seotud energiavarustuse lahendustega, mis sõltuvad hoone ühendustest erinevate võrkudega (gaas, kaugküte, elekter jne).

Tehnosüsteemidest on kõige suurem ruumivajadus ventilatsioonisüsteemil. Võimalikult vähese energiakasutusega ventilatsioonisüsteemi rajamine eeldab õigesti valitud ventilatsiooniseadmeid ja -torustikku ning arhitektuurse projekteerimise käigus nende hoolikat hoonesse sobitamist.

Kuna liginullenergiahoones kompenseeritakse optimeeritud energiakasutust taastuvenergia allikatest lokaalse soojuse ja elektri tootmisega, tuleb hoone kavandamisel arvestada ka vastavate soojuse ja elektri tootmise süsteemidega. Taastuvenergia allikatest soojuse ja elektri tootmise lihtsaimad viisid on soojuspumpade, päikesekollektorite (sooja vee tootmiseks) ja päikesepaneelide (toodavad elektrit) kasutamine.

## 2.1. ENERGIATÕHUSUSARVU KUJUNEMINE

Energiatõhususarv (ETA) kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. ETA arvutatakse hoone sisekliima tagamisega ruumide netopindala (kõetav pindala) kohta hoone standardkasutusel. Energiaarvutus tehakse **väikeelamu energiataastuvenergia lihtsustatud tõendamise kalkulaatoriga** või dünaamilise energiasimulatsiooni tarkvaraga. Arvutuses võetakse arvesse hoone kogu energiakasutus, kõik soojuskadud (avatäited, välispiirded, piirdetarindite liitekohad ja soojustuse katkestused, infiltratsioon) ja hoones tekkivad vabasoojused (valgustus, seadmed, inimesed, päike) ning tehnosüsteemides kasutatavad jääsoojused (ventilatsiooni soojustagastus, heitvee soojustagastus).

Hoone standardkasutusest tulenevad energiataastuvenergia komponendid on:

- valgustus,
- seadmed,
- soe tarbevesi.

Hoone arhitektuurist ja piirdetarindite lahendusest tulenevad järgmised energiataastuvenergia komponendid:

- ruumide kütte,
- ruumide jahutus.

Lisaks vajatakse ventilatsiooniõhu soojendamist (ja jahutamist) ning ventilatsioon tekitab ka ventilaatorite elektrikasutuse. Arhitektuurist ja piirdetarindite lahendustest tulenev energiavajadus sõltub hoone soojuskadudest: kompaktsusest, akende osakaalust hoone välispiiretes, soojustusest ja õhupidavusest. Energiakasutust aitavad vähendada efektiivsed tehnosüsteemide lahendused:

- hoone soojusallikas ja kütte lahendus,
- hoone ventilatsioonisüsteem ja ventilatsiooniseadme lahendus,
- sooja tarbevee tootmine,
- taastuvenergia allikast lokaalse soojuse ja elektri tootmise süsteemi valik ja lahendus.

Väikeelamu energiataastuvenergia ETA arvutatakse lähtuvalt hoone energiakasutusest, kasutades järgmist valemit:

$$ETA = Q_{\text{kütte}} \times k + SV + SK + VE + Q_{\text{jah}} - ETA_{\text{taastuv}}$$

$Q_{\text{kütte}}$	hoone kütteenergiakasutus ruumide kütteks, kWh/(m <sup>2</sup> ·a);
$k$	hoone kütte soojusallika energiakandja kaalumistegur, -;
$SV$	hoone standardkasutusest tulenev sooja tarbevee ETA komponent, kWh/(m <sup>2</sup> ·a);
$SK$	hoone standardkasutusest tulenev elektritarbimise ETA komponent, kWh/(m <sup>2</sup> ·a);
$VE$	hoone ventilatsioonist (ventilaatori elektrikasutus ja ventilatsiooniõhu soojendamine) tulenev ETA komponent, kWh/(m <sup>2</sup> ·a);
$Q_{\text{jah}}$	hoone jahutusenergiakasutus ruumide ülekuumenemise vältimiseks, kWh/(m <sup>2</sup> ·a);

$ETA_{\text{taastuv}}$  lokaalsest energiatootmisest sõltuv kompenseeriv ETA komponent.

Vastavalt standardkasutusele arvatatud SK netoenergiavajadus ja ETA komponent (elektri kaalumisteguri 2 korral) on järgmine:

- valgustus – energiakasutus  $7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , vastav  **$ETA \ 14 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$**
- seadmed – energiakasutus  $18 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , vastav  **$ETA \ 36 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$**

Hoone tarbevee soojendamise ETA komponent saadakse vastavalt soojusallikale. Sooja tarbevee standardkasutuse järgne energiakasutus on  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , millele vastav ETA sõltub tehnilisest lahendusest järgmiselt:

- otsene elekterküte (elektriboiler),  **$ETA \ 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$**
- gaasikatel (kasutegur 0,95),  **$ETA \ 26,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$**
- maasoojuspump (soojustegur 2,7),  **$ETA \ 18,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$**
- pelletikatel (kasutegur 0,85),  **$ETA \ 22,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$**

Vastavalt hoone standardkasutusele on valgustuse, seadmete ja tarbevee soojendamise summaarne ETA komponent vahemikus  **$68,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$**  kuni  **$100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$** .

Hoone sisekliima tagamiseks vajaliku õhuvahetuse energiatarve sõltub ventilatsioonisüsteemi tehnilistest lahendustest. Kui arvutuse aluseks võtta korteripõhine mehaaniline soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem, mille õhuvooluhulk on  $0,42 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ , ventilatsiooniseadme SFP =  $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ , soojustagasti temperatuuri suhtarv on 0,8, heitõhu minimaalne temperatuur on  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , sissepuhkeõhku köetakse elektrikalorifeeriga, siis ventilatsioonisüsteemi netoenergiavajadus ja ETA komponent on järgmine:

- ventilaatorite elektritarve – energiakasutus  $5,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,  **$ETA \ 11 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$**
- ventilatsiooniõhu soojendamine elektriga – energiakasutus  $2,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,  **$ETA \ 5,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$** .

Ventilatsiooni summaarne ETA komponent on  **$16,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$** .

Lokaalse taastuvenergiatootmisega on võimalik kompenseerida hoone energiatarvet elektri tootmisega (PV-paneelid) või päikesesoojuse kasutamisega (päikesekollektor vee soojendamiseks). Päikeseenergia kasutamisega kompenseeritav netoenergia ja ETA komponendid on järgmised:

- päikesekollektor sooja tarbevee tootmiseks, mille puhul maksimaalne päikesekollektorist saadav tarbevee soojusenergia on maksimaalselt 50% aastasest sooja tarbevee energiakasutusest, mis vastab energiakasutusele kuni  $25 \times 0,5 = 12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Seega  $ETA_{\text{taastuv}}$  sooja tarbevee kollektoritega:
  - otsene elekterküte –  $ETA_{\text{taastuv}}$  on  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
  - gaasikatel –  $ETA_{\text{taastuv}}$  on  $13,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
  - maasoojuspump –  $ETA_{\text{taastuv}}$  on  $9,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
  - pelletikatel –  $ETA_{\text{taastuv}}$  on  $11,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- PV-paneelid elektritootmiseks. 1 kW nimivõimsusega optimaalselt suunatud ja mõõduka tuulutusega PV-paneeli arvutuslik aastane toodang on  $860 \text{ kWh/aastas}$  (MTM nr. 58 meetoodika järgi).  $ETA_{\text{taastuv}}$  sõltub süsteemi võimsusest ja hoone köetavast pindalast, näiteks 1 kW süsteemi puhul:



- 100 m<sup>2</sup> köetava pindala korral netoenergia 8,6 kWh/(m<sup>2</sup>·a), vastav ETA<sub>taastuv</sub> 17,2 kWh/(m<sup>2</sup>·a)
- 150 m<sup>2</sup> köetava pindala korral netoenergia 5,7 kWh/(m<sup>2</sup>·a), vastav ETA<sub>taastuv</sub> 11,4 kWh/(m<sup>2</sup>·a)
- 200 m<sup>2</sup> köetava pindala korral netoenergia 4,3 kWh/(m<sup>2</sup>·a), vastav ETA<sub>taastuv</sub> 8.6 kWh/(m<sup>2</sup>·a)

Lokaalsest sooja- ja elektritootmisest kompenseeritavaks ETA komponendiks kujuneb:

$$-ETA_{\text{taastuv}} = \text{soojavee ETA} + 2 \cdot \frac{\text{paigaldatavate PV paneelide nimivõimsus} \cdot 860 \text{ kWh/a}}{\text{köetav pindala}}$$

Päikesest PV-paneelidega päikesest elektritootmise korral on kogu toodangu hindamiseks otstarbekas teha täpsemad arvutused, kuna elektritoodang sõltub paneelide tüübist, orientatsioonist, kaldenurgast, hoone asukohast, paneelide varjestusest ja puhtusest. Sama kehtib päikesekollektori kohta, mille puhul on eriti oluline piisav soojuse salvestamise maht.

Näiteks hoone köetav pindala 100 m<sup>2</sup>, soojusallikaga maasoojuspump ja hoonele paigaldatakse PV-paneelid nimivõimsusega 2 kW on ETA't kompenseeriv osa  $9,3 + 2 \cdot (2 \cdot 860 / 100) = 43,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

Järgnevalt toodud ligikaudse esialgse ETA hinnangu näite koostamisel on kasutatud juhendi lisas esitatud väikemajade, väike eramu (~100 m<sup>2</sup>) ja suurem eramu (~200 m<sup>2</sup>), küttekulude arvutamisel saadud hoone soojuserikao ja kütte netoenergiavajaduse seost.

Täpsem väikemajade lihtsustatud ETA kalkulaator esitatakse energiatõhususe arvutamise meetoodika lisadega.

### Energiatõhususarvu ETA arvutusnäide:

Ühekorruselise väikemaja köetav pindala on 100 m<sup>2</sup>, välispiirete soojuserikadu köetava pinna kohta on 0,7 W/K, hoone soojusallikaks on maasoojuspump ja ruume köetakse põrandküttega. Maasoojuspump kasutab soojuse tootmiseks elektrit, seega peab kütte energivajadusele vastava ETA arvutamisel kasutama elektri kaalumistegurit  $k=2$ .

Väikemaja ruumide kütte energiakasutuse  $Q_{\text{küte}}$  võib ligikaudselt arvutada ruumide kütte netoenergiavajaduse ja hoone soojuserikao vahelise seose järgi valemiga:

$$Q_{\text{küte}} = \frac{(105 \times H / A_{\text{köetav}} - 30)}{KS \times KT}$$

H soojuserikadu, W/K (vt. Tabel 3.1);

$A_{\text{köetav}}$  köetavate ruumide netopind, m<sup>2</sup>

KS küttesüsteemi kasutegur (vastavalt soojuse jaotusele ja väljastamisele)

Näiteks: radiaatorküte 0.97, põrandküte 0.85

KT soojusallika kasutegur või soojustegur (vastavalt soojusallikale)

Näiteks: gaasi kondensatsioonkatel 0.95, maasoojuspump 3.6, õhkvesi soojuspump 2.0

Antud näite lähteandmetega:

$$Q_{\text{küte}} = \frac{(105 \times 0,7 - 30)}{0,85 \times 3,6} = 14,2 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$$

$$ETA = 14,2 \times 2 + 50 + 18,6 + 16,2 = 113,2 \text{ kWh}/m^2 \cdot a$$

$$ETA \text{ } 113,2 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a) > 100 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$$

Arvutuse tulemusel saadud  $ETA=113$  on suurem kui tabelis 2.2 toodud liginullenergia hoone nõue  $ETA=100$ . Et täita liginullenergia hoone nõuet, peab hoone varustama kas soojavee kollektoriga või PV-paneelidega, et kompenseerida  $13,2 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$ . Vajalik PV-paneelide võimsus, nende ideaalse tootlikkuse korral on arvutatav eelpool toodu seosest

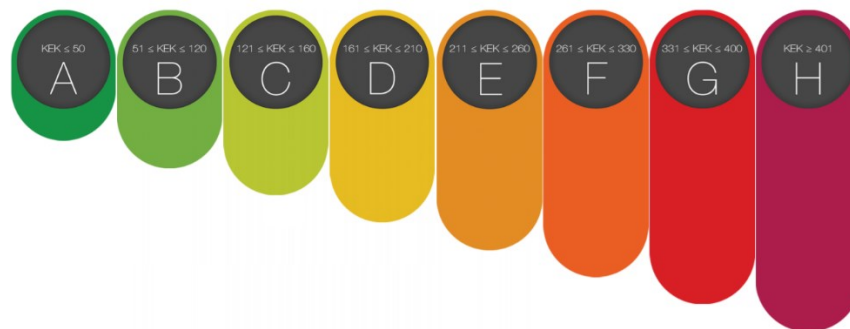
$$-ETA_{\text{taastuv}}' = 2 \cdot \frac{\text{paigaldatavate PV paneelide nimivõimsus} \cdot 860 \text{ kWh/a}}{\text{kõetav pindala}}$$

millest järeldub, et varustades hoone PV-paneelidega nimivõimsusega 1 kW on hoone ligikaudne energiatõhususarv

$$ETA = 14,2 \times 2 + 50 + 18,6 + 16,2 + (-17,2) = 96 \text{ kWh}/m^2 \cdot a$$

$$ETA \text{ } 96 \text{ kWh}/m^2 \cdot a < 100 \text{ kWh}/m^2 \cdot a$$

Arvutusnäites kasutatud  $Q_{\text{küte}}$  ligikaudset valemit ei ole lubatud kasutada energiatõhususe nõuete tõendamiseks ja energiamärgise väljastamiseks, mille jaoks teostatakse samasugune arvutus väikeelamu energiatõhususarvu lihtsustatud tõendamise kalkulaatoriga. Energiaarvutuse põhjal väljastatakse hoonele energiamärgis, joonis 2.3.

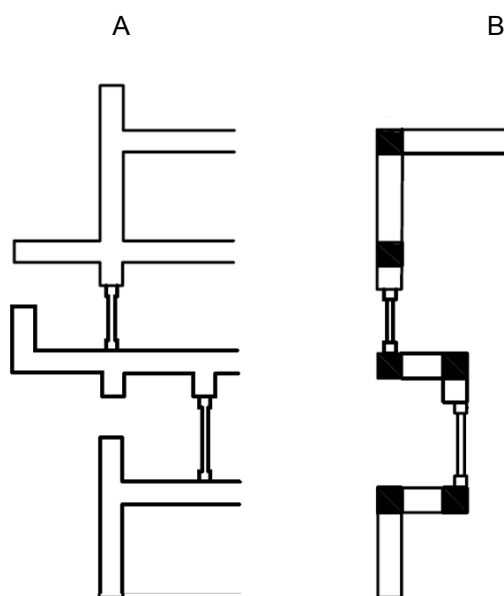


Joonis 2.3 Energiamärgise klass „A“ vastab liginullenergiahoone energiatõhususarvu nõudele.

### 3. VÄLISPIIRETE SOOJUSERIKAO ARVUTUS

#### 3.1. SUMMAARNE SOOJUSKADU

Hoone välispiirete summaarne soojuskadu arvutatakse piirdetarindite soojuslähivuste, tarindite liitekohtade joonsoojuslähivuste, lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude punktsoojuslähivuste ning õhuleketest tuleneva soojuskadude summamana. Soojuskadude arvutused läbi piirdetarindite tehakse sisemõõtudega, millele lisatakse tarindite liitekohtade ja läbiviikude ning õhuleketest tulenevad soojuskao lisakomponendid. Joonis 3.1 on esitatud mustaga märgitud alad, mis sisemõõtudega arvutades jäävad arvestamata (nt. välisnurkade ja vahelagede kohal) ning nende soojuskadu võetakse arvesse liitekohaga joonsoojuslähivusega.



Joonis 3.1. Hoonepiirete soojuskadude arvutus EVS-EN 13789 baasil:

A: Lõige hoonest; B: Soojuskadude arvutuseks võetakse hoone üksikuteks tasapinnalisteks osadeks (valge ala) ja nendevahelisteks liitekohtadeks (must ala). Soojuskadude arvutamisel arvestatakse välispiirete pindalad, mõõtes pikkuse, laiuse ja kõrguse hoone või ruumi piirdetarindi sisepinnast.

Kuna ka hoone energiatõhususarv esitatakse sisekliimaga tagatavate ruumide (kõetava pindala) kohta, siis on ka hoone piirdetarindite soojuskadu otstarbekas esitada kõetava pindala kohta. Hoone piirdetarindite soojuserikadu kõetava pindala kohta  $H/A_{kõetav}$ , W/(m<sup>2</sup>·K) saab arvutada valemi abil ning tulemused on praktiline esitada tabeli kujul (vt. Tabel 3.1):

$$\sum H / A_{kõetav} = \frac{\sum U_i \cdot A_i + \sum \Psi_j \cdot l_j + \sum \chi_{\rho} \cdot n_{\rho} + \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_{inf}}{A_{kõetav}}, \text{ W/(K} \cdot \text{m}^2)$$

$U_i$	tarindi soojuslähivus, W/(m <sup>2</sup> ·K);
$A_i$	piirdetarindi pindala, m <sup>2</sup> ;
$\Psi_j$	piirdetarindite liitekohaga joonsoojuslähivus, W/(m·K);
$l_j$	piirdetarindite liitekohaga pikkus, m;
$\chi_{\rho}$	lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude punktsoojuslähivus, W/K;
$n_{\rho}$	lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude arv, tk;

$$\dot{V}_{inf} \text{ infiltratsiooni õhuvooluhulk } \dot{V} = \frac{q_{E50} \cdot A_{välispiirded}}{3600 \cdot x}, \text{ m}^3/\text{s}$$

$q_{E50}$ : õhulekkearv,  $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ,

$A_{välispiirded}$ : siseruumi väliskeskkonnast eraldavate piirdetarindite (põrand, katus, seinad, aknad, ukсед jne) pindala,  $\text{m}^2$ .

$x$ : hoone kõrgust arvestav kordaja

1-korruseline hoone  $x = 35$ ;

2-korruseline hoone  $x = 24$ ;

3–5-korruseline hoone  $x = 20$ ;

$\rho_a$  õhu tihedus,  $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$ ;

$c_a$  õhu erisoojus,  $1005 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;

$A_{kõetav}$  sisekliimaga tagatavate ruumide netopindala,  $\text{m}^2$ .

Nõuetekohase õhupidavuse korral  $q_{E50}$  õhulekkearvuna kasutatakse tavaliselt väärtust  $1,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ . Õhulekkearvu valikut, nõudeid ning mõõtmist ja tõendamist on käsitletud peatükis 4.3.

Tabel 3.1 Hoone soojuserikao arvutus ja soojuserikao sõltuvus välispiirete soojuslähivusest, liitekohtadest ja õhulekkeest

Soojuslähivuskaod läbi piirdetarindite				Soojuslähivuskaod läbi liitekohtade ja läbiviikude						Soojuslähivuskaod läbi õhulekete	
Piirdetarind	$U_i$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	$A_i$ m <sup>2</sup>	$H_{juhtivus}$ W/K	Liitekoht	$\Psi_j$ W/m·K	$l_j$ m	$\chi_p$ W/K	$n_p$ tk	$H_{liitekoht}$ W/K	Omadus	Suurus
Välissein 1				Välisseinte välisnurk						Õhulekkearv $q_{E50}$ , $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$	
Välissein 2				Välisseinte sisenurk						$A_{välispiirded}$ , $\text{m}^2$	
Katus 1				Katuslagi/välissein						Maapealsete korruste arv	
Katus 2				Pööningu põrand/välissein						$\dot{V}_{inf}$ , $\text{m}^3/\text{s}$	
Põrand 1				Põrand/välissein							
Põrand 2				Rõdu/välissein							
Aken 1				Katuslagi/vahesein							
Aken 2				Põrand/vahesein							
Aken 3				Aken/sein alt							
Uks 1				Aken/sein külgedelt ja pealt							
Uks 2				Uks/sein							
				Rõdu konsool							
				Korsten							
				Post-vundament							

jne			jne		
Kokku:	$H_{\text{soojusl\u00e4bivus}}, W/K$	...	$H_{\text{liitekoht}}, W/K$	...	$H_{\text{\u00f6huleke}}, W/K$
Kokku:	$A_{\text{v\u00e4lispirded}}, m^2$	...			
V\u00e4lispirete summaarne soojuserikadu				$\Sigma H$	$W/K$
Hoone k\u00f6etav pindala				$A_{\text{k\u00f6etav}}$	$m^2$
V\u00e4lispirete summaarne soojuserikadu k\u00f6etava pindala kohta				$\Sigma H / A_{\text{k\u00f6etav}}$	$W/(m^2 \cdot K)$
Taotluslik maksimaalne v\u00e4lispirete summaarne soojuserikadu				$\Sigma H / A_{\text{k\u00f6etav}}$	$W/(m^2 \cdot K)$

### 3.2. PIIRDETARINDI SOOJUSL\u00c4BIVUS $U, W/(m^2 \cdot K)$

Soojuslikult homogeenise materjalikihi arvutuslik soojustakistus  $R, (m^2 \cdot K)/W$ , sõltub materjalikihi paksusest ja soojuseri juhtivusest ning arvutatakse valemiga:

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

kus:

$d$  materjalikihi paksus, m (paksus  $d$  v\u00f6ib erineda nimipaksusest, n\u00e4iteks kui kokku surutav materjal on kokkusurutud seisus, on  $d$  v\u00e4iksem kui nimipaksus v\u00f6i vajadusel v\u00f6ib  $d$  v\u00e4rtuse v\u00f4tta arvestades materjali paksuse tolerantsiga, n\u00e4iteks kui see on negatiivne).

$\lambda_U$  arvutuslik soojuseri juhtivus, mida kasutatakse piirdetarindite soojusl\u00e4bivuse arvutuses.  $\lambda_U$  saadakse tootja poolt deklareeritud soojuseri juhtivusest  $\lambda_D$  millele lisatakse vajadusel ekspluatatsioonitingimustest tingitud parandused.

Piirdetarindite pindade soojustakistus sõltub temperatuurist (\u00f6hu ja \u00fcmbritsevate pindade temperatuurist), pinna omadustest, geomeetriast, suunatusest, \u00f6hu liikumise kiirusest. Piirde soojusl\u00e4bivuse arvutamisel kasutatakse pindade soojustakistuse arvutussuuri (Tabel 3.2). Horisontaalse soojusvoo suund v\u00f6ib erineda horisontaalst kuni  $\pm 30^\circ$ .

Tabel 3.2. Piirde pindade keskmised soojustakistused piirdetarindi soojusl\u00e4bivuse arvutamisel

	Soojusvoo suund		
	\u00dcles (lagi)	Horisontaalne (sein) *	Alla (p\u00f6rand)
$R_{si}, (m^2 \cdot K)/W$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}, (m^2 \cdot K)/W$	0,04	0,04	0,04

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus  $R_{tot}, (m^2 \cdot K)/W$ , arvutatakse valemiga:

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

kus:

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

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

$R_{se}$  piirde v\u00e4lispinna soojustakistus,  $(m^2 \cdot K)/W$ .

Piirde soojuslähivus  $U$ ,  $W/(m^2 \cdot K)$ , arvutatakse järgneva valemiga (tulemus ümardatakse kahe kohani pärast koma):

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

Tavaliselt ei koosne ükski piirdetarind täiesti homogeenestest materjalikihtidest. Erinevate kihtide vahel on alati sidemed, näiteks puitkarkass-seina soojustusekihis on kandepostid, katuslaes sarikad jne. Mittehomogeensed materjalikihid võtta arvesse kasutades redutseeritud kogusoojustakistust:

$$U_c = \frac{1}{R_t} \times \eta, (m^2 \cdot K)/W$$

kus:

- |        |  |
|--------|--|
| $R_t$  | piirdetarindi kogusoojustakistus soojustuse lõikes, $(m^2 \cdot K)/W$ ;  |
| $\eta$ | soojustuskihi kasutegur, mis võtab arvesse soojustuskihi mittehomogeensuse ja soojuslähivuse parandustegurid, -. |

Soojustuskihi kasutegureid on toodud järgnevates piirdetarindite näidetes. Muude piirdetarindite lahenduste puhul tuleb teostada detailsem arvutus, mis on kirjeldatud Korterelamute juhendis.

### 3.3. PIIRDETARINDITE LIITEKOHTADE JOONSOOJUSLÄBIVUS

Külmasillad on kohad piirdetarindis, kus soojusjuhtivus on lokaalselt suurem ümbritseva tarindi soojusjuhtivusest. Külmasillad võivad olla geomeetriselised (näiteks välisseina välisnurk, põranda ja välisseina liitumine, välisseina ja akna liitekoht jne) või põhjustatud ehituskonstruktiiivsest lahendusest (näiteks tarindite liitekohad, soojustusest lähiviigud jne). Külmasillad suurendavad soojuskadusid ning nende mõju kasvab hästi soojustatud hoonete puhul. Hoolika projekteerimisega on võimalik nende mõju oluliselt vähendada. Projekteerimise käigus tuleb pöörata erilist tähelepanu järgmistele kriitilisematele kohtadele:

- välisseina nurgad;
- katuse ja välisseina liitekohad;
- põranda ja välisseina liitekoht (eriti probleemne on maani ulatuva akna korral);
- akna ja ukse seinakinnitus;
- rõdu ja varikatuse kinnitus välisseinale;
- soojustuse katkestused.

Külmasillade joonsoojuslähivuste ligikaudsed väärtused on toodud järgnevas tabelis. Erinevate tarindite väärtused on leitavad Liginullenergia eluhoonete külmasillakataloogist või tootjate kodulehekülgedelt. Kui kavandatakse lahendusi, mille kohta andmed puuduvad, on vaja teostada arvutus, mis on kirjeldatud Korterelamute juhendis.

Tabel 3.3. Tarindi liitekoha ja soojustuse katkestuse ligikaudsed joonsoojusläbivused

	Joonsoojusläbivus, W/(m K)
Välissein-välissein	
Puitsõrestiksein	0.06
Väikeplokkein	0.06
Katuslagi-välissein	
Puitsõrestiksein ja pööninguga katus	0.06
Puitsõrestiksein ja katuslagi	0.06
Väikeplokkein ja katuslagi ilma parapetita	0.07
Väikeplokkein ja katuslagi parapetiga	0.11
Väikeplokkein ja katuslaes keramsiitsoojustus	0.13
Põrand-välissein	
Plaatvundament ja puitsõrestiksein	0.24
Lintvundament ja puitsõrestiksein	0.14
Väikeplokkein ja lintvundament taldmikualuse soojustusega	0.18
Alt tuulutatud põrand ja puitsõrestiksein	0.11
Alt tuulutatud põrand ja väikeplokkein	0.17
Akna kinnitus	
Akna perimeeter, aken soojustuskihis	0.05
Katusekuppelaken ja katuslagi	0.18

### 3.4. AVATÄITED

**Akende klaasiosa peab liginullenergiahoonetes sisaldama vähemalt kolmekordset klaaspaketti, mille mõlemas inertgaasiga (tavaliselt argoon, 18 – 20 mm) täidetud vahes on klaasi pinnal pehme selektiivkiht. Välimise klaasi välispinnal kasutatakse kõva selektiivkihti, et vältida veeauru kondenseerumist hea soojapidavusega akende välispinnale ja tagada akna läbipaistvus.**

Akna ja ukse kogusoojusläbivus moodustub klaasiosa ja raamiosa soojusläbivusest ning tootja andmeid kasutades tuleb veenduda, mis väärtustega opereeritakse. Kuna raami- ja lengisosa protsentuaalne osakaal sõltub akna suurusest ja jaotusest, võivad akende kogusoojusläbivused küllaltki oluliselt erineda. Akna summaarne soojusläbivus  $U_a$ , W/(m<sup>2</sup>·K), arvutatakse valemiga:

$$U_a = \frac{U_k A_k + U_r A_r + U_p A_p + \Psi_k I_k}{A_k + A_r},$$

- $U_k$  klaasiosa soojusläbivus, W/(m<sup>2</sup>·K);
- $A_k$  klaasiosa pindala, m<sup>2</sup>;
- $U_r$  lengi- ja raamiosa soojusläbivus, W/(m<sup>2</sup>·K);
- $A_r$  lengi- ja raamiosa pindala, m<sup>2</sup>;
- $U_p$  täitepaneeli soojusläbivus, W/(m<sup>2</sup>·K);

$A_p$	täitepaneeli pindala, m <sup>2</sup> ;
$\Psi_k$	klaasiserva (aknalengi perimeetril) joonkülmasilla soojuslähivus, W/(m·K);
$l_k$	klaasiserva perimeetri pikkus, m.

Klaasiosa soojuslähivust  $U_g$  mõjutavad omadused:

- klaaside arv paketiis – mida rohkem klaase ja klaaside vahelkambreid, seda väiksem on soojuslähivus, kuid seda väiksem on ka valgus- ja soojuskiirguse läbilaskvus. Klaasi paksus ei mõjuta klaasiosa soojuslähivust nii palju, et seda on vaja eraldi arvestada. Küll aga mõjutab klaasi paksus klaasiosa valguskiirguse läbilaskvust;
- klaasi pinnaomadused (selektiivklaas, päikesekaitseklau) – klaasi pind kaetakse õhukese metallkihiga, mis vähendab tema pinnaemissioonitegurit  $\epsilon$  ja sellega väheneb soojuslevi kiirguse teel ühelt klaasipinnalt teisele. Klaasi emissioonitegur  $\epsilon_g \approx 0,8-0,9$  väheneb sõltuvalt kasutatavast selektiivkihiist  $\epsilon \approx 0,2$  (nn kõva selektiiv) kuni  $\epsilon \approx 0,03-0,05$  (nn pehme selektiiv).
- klaasidevahelise gaasi omadused (õhk, argoon, krüptoon) – vääriskaasidel nagu argoon ( $\lambda \approx 0,018$  W/(m·K)), krüptoon ( $\lambda \approx 0,009$  W/(m·K)) või ksenoon ( $\lambda \approx 0,006$  W/(m·K)) on väiksem soojuserijuhtivus kui õhul ( $\lambda \approx 0,026$  W/(m·K)). Seetõttu saab nende kasutamisega õhu asemel vähendada klaaspaketi soojuslähivust. Tavapärane on argooni kasutamine klaaspaketiis ja efektiivsemate klaaspakettide saavutamiseks krüptooni kasutamine. Aja jooksul gaas difundeerub klaaside vahelt välja ja asendub õhuga. Üldjuhul võib arvestada gaasi vähenemist 1% aastas.

Näiteks kolme klaasiga klaaspaketiis, milles on sisemine ja välimine klaas selektiivklaas ning klaaside vahel on 15–18mm argoontäidet on klaaspaketi soojuslähivuseks  $U_g = 0,6$  W/(m<sup>2</sup>K). Kui aga klaaspakettide vaheline mõõt väheneb 10 + 10 mm-le, siis suureneb klaaspaketi soojuslähivus 33%  $U_g = 0,8$  W/(m<sup>2</sup>K)

Klaasiosa soojuslähivuse  $U_g$  ja raamiosa soojuslähivuse  $U_f$  määramisel lähtutakse tootja andmetest. Klaasiosa soojuslähivuse tüüpilised suurused on:

- 3 klaasiga klaaspakett + Ar + 2x low- $\epsilon$   $U_g = 0,6 - 0,7$  W/(m<sup>2</sup>K);
- 3 klaasiga klaaspakett + Kr + 2x low- $\epsilon$ :  $U_g = 0,5$  W/(m<sup>2</sup>K);

Raamiosa soojuslähivust mõjutab:

- raami materjal;
- raami geomeetria (eelkõige aknalengi ja raami laius risti seinaga);
- raamis olevate metalltugevduste olemasolu;
- raami täiendav soojustamine või soojuskatkestuste olemasolu.

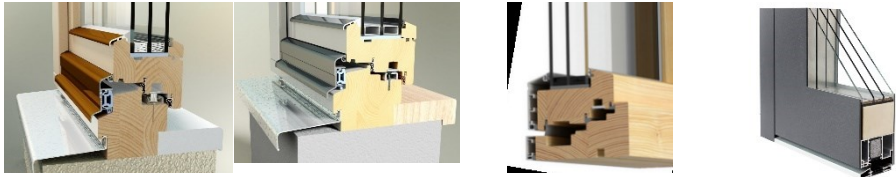
Raamiosa tavapäraseid väärtused on:

- $U_f = 1,0 \dots 1,2$  W/(m<sup>2</sup>K): paremad soojuskatkestuseta puit- ja plastraamid
- $U_f = 0,6 \dots 0,8$  W/(m<sup>2</sup>K): parimad soojuskatkestusega puit- ja plastraamid

Täpsemate andmete puudumisel võetakse klaasiserva joonkülmasillaks plast- ja puitaknal 0,06 W/(m·K) ning soojuskatkestusega metallprofiilil 0,08 W/(m·K).



Tabel 3.4 Kolme ja nelja klaasiga klaaspaketiga (millest kaks/kolm on selektiivklaasid  $\varepsilon \approx 0,025$ ) akna soojuslähivus erinevate akna ja raami osakaalude korral

Raami ja lengi laius	~80mm	~90mm	~120mm	~150mm
Raami ja lengi soojuslähivus $U_f$	Ülemine, keskmine ja küljed 1,2 W/(m <sup>2</sup> ·K), All: 1,4 W/(m <sup>2</sup> ·K)	Ülemine, keskmine ja küljed 1,1 W/(m <sup>2</sup> ·K), All: 1,2 W/(m <sup>2</sup> ·K)	Ülemine, keskmine ja küljed 0,86 W/(m <sup>2</sup> ·K), All: 0,83 W/(m <sup>2</sup> ·K)	Ülemine, keskmine ja küljed 0,64 W/(m <sup>2</sup> ·K), All: 0,72 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Klaaspaketi paksus ja soojuslähivus	d~40mm $U_g = 0,63$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	d~50mm $U_g = 0,56$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	d~50mm $U_g = 0,56$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	d~70mm $U_g = 0,36$ W/(m <sup>2</sup> ·K)
Klaaspaketi servaliistu soojuslähivus	$\Psi_g = 0,06$ W/(m·K)	$\Psi_g = 0,06$ W/(m·K)	$\Psi_g = 0,02$ W/(m·K)	$\Psi_g = 0,02$ W/(m·K)
				
Raami ja lengi osakaal akna kogupindalast	Akna soojuslähivus $U_w$ , W/(m <sup>2</sup> ·K)			
30%	0,92	0,85	0,68	0,55
40%	1,04	0,97	0,74	0,62
50%	1,17	1,09	0,79	0,68
60%	1,28	1,20	0,85	0,75

## 4. PIIRDETARINDITE VALIK

### 4.1. SOOVITUSLIKUD SOOJUSLÄBIVUSED

Hoone energiatõhususe nõue kehtib energiatõhusarvule ehk summaarsele kaalutud energiakasutusele. Seetõttu võib valida iga hoone puhul kõige sobivamad välispiirete ja muud lahendused ning otsesid nõudeid välispiirete soojuslääbivusele ei ole. Samas ei ole energiatõhususarvu nõuet võimalik saavutada ilma välispiirete hea soojapidavuseta. Järgnevalt toodud soovitused lähtuvad majanduslikuks otstarbekusest ehk energiatõhususe saavutamisest võimalikult kulutõhusal viisil.

Liginullenergia väikeelamu piirdetarindite soovituslikud soojuslääbivused:

- välissein  $U = 0,12-0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- aken  $U_w = 0,8-0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- katuslagi  $U = 0,07-0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- põrand pinnasel ja alt tuulutatav  $U = 0,10-0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .
- põrand välisõhu kohal  $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- külmasildade osakaal kogusoojuskaost 10 %

Eeltoodud väärtused on tavaliselt otstarbekad kasutada kui kütte soojusallikas on õhk-vesi soojuspump, pelleti- või gaasikatel. Maasoojuspumba kui kõige efektiivsema soojusallika puhul võib soojuslääbivuste väärtusi kasvatada 0,02 ühiku võrra.

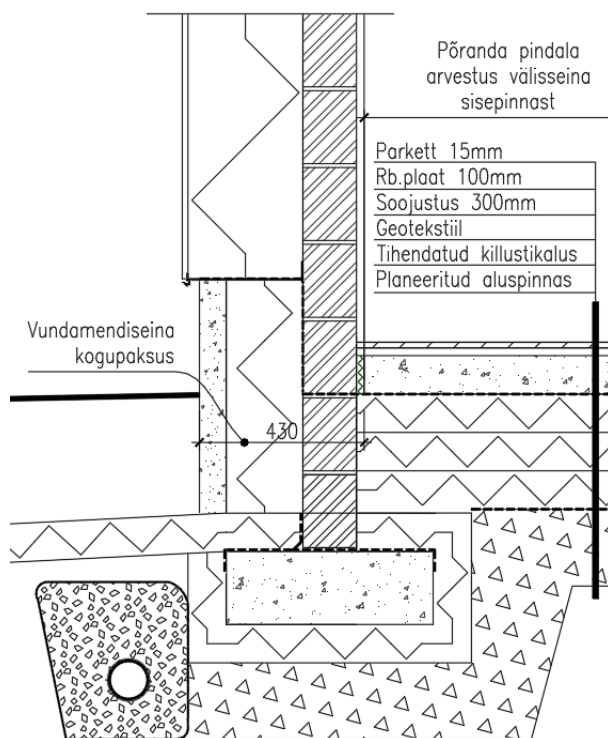
Soojuslääbivuste valik sõltub ka hoone kompaktsusest, klaaspindade suuruselt, seina paksusest ning mitmetest tellija eelistustest. Kui vajatakse paremat soojapidavust näiteks halva kompaktsusega hoone puhul, siis tavaliselt on tehniliselt kõige lihtsam ja soodsam parandada akende soojuslääbivust. Soovitatav suhteliselt kõrge  $U_w = 0,9$  väärtus lähtub praegusest turuolukorrast, kus avatäitjate tootjatel on raskusi pakkumaks kolmekordse klaaspaketiga saavutatavaid paremaid väärtusi 0,8 või 0,7  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , mis eeldavad soojapidavama lengi- ja raamiprofiilide kasutamist. Kuna aken on 6-7 korda kehvema soojapidavusega kui välissein, siis võib ka neljakordse klaaspaketiga akende kasutamine anda olulise efekti soojuskadude vähendamisel.

Juhul kui eesmärgiks on ehitada parima võimaliku energiatõhususega maja, ehk plussenergiahoone, on otstarbekas kasutada oluliselt paremat soojustust. Parimate võimalike lahenduste soovituslikud soojuslääbivused on:

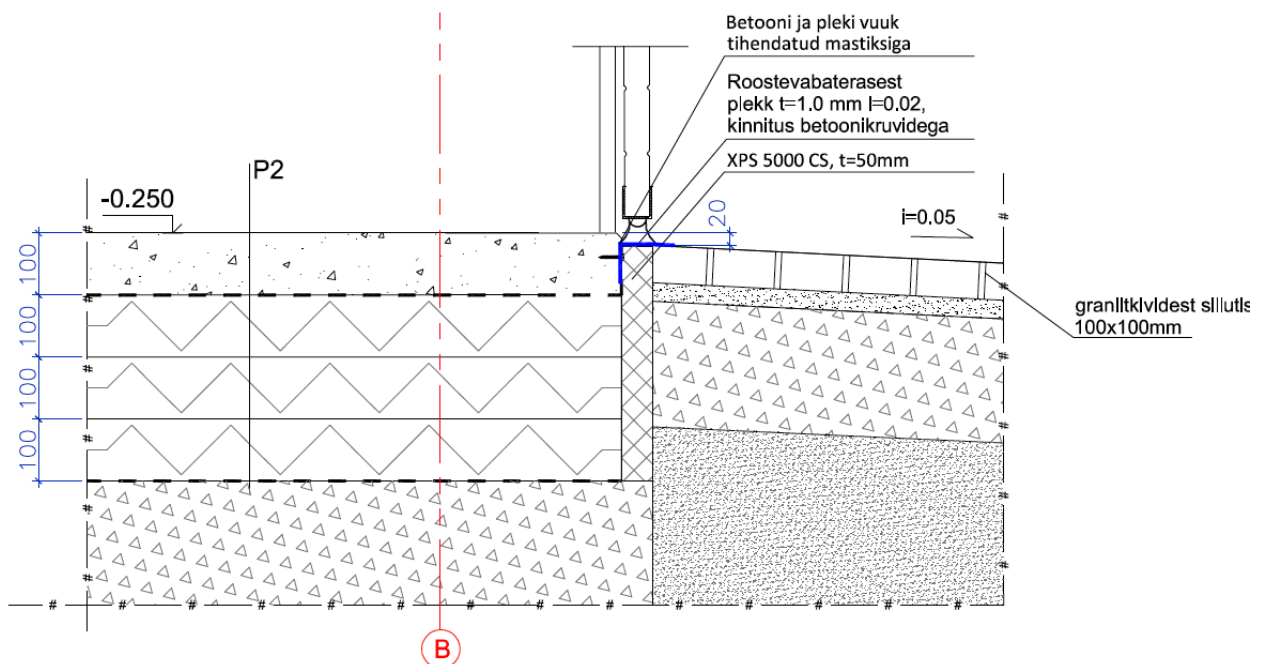
- välissein  $U = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- aken  $U_w = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- katuslagi  $U = 0,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- põrand  $U = 0,07 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- külmasildade osakaal kogusoojuskaost 10 %

Piirdetarindite valikul tuleb pöörata suurt tähelepanu piirete liitekohtadele ehk sõlmedetailidele, et vältida suuri soojuskadusid läbi külmasildade. Kui seda ei tehta, võib läbi külmasildade minna heale projekteerimistavale vastava arvestusliku 10% asemel lausa pool välispiirete soojuskadudest.

Probleemi ennetamiseks on soovitatav tutvuda külmasillakataloogis ning tootjate kodulehtedel toodud läbiarvutatud lahendustega. Väikeelamute puhul on kõige keerulisem vältida külmasilla teket läbi kandva seina ja vundamendi, kuna kandekonstruktsioon peab koormuse pinnasele kandma. Üldise põhimõttena on soovitatav külmasilla katkestamiseks paigaldada kõva soojustusplaat vundamentitaldmiku alla (Joonis 3.3), mis nõuab konstruktori arvutust kandevõime kontrollimiseks. Teine keeruline koht on köetava garaaži või garaažiukse töötoa betoonpõranda külmakatkestus, mis peab kannatama autoratta koormust. Samuti on garaažiuste lengid ilma soojustuseta (plekist) ning need tuleb paigaldada koos soojustuslahendusega. Üks võimalik garaažipõranda külmakatkestuse lahendus on toodud joonisel 3.5, muud garaažiukse sõlmed on toodud väikeelamu näidisprojekti.



Joonis 4.1 Põhimõtteline lahendus kandva seina ja vundamentitaldmiku läbi tekkiva külmasilla katkestamiseks taldmiku alla paigaldatava kõva soojustusega.



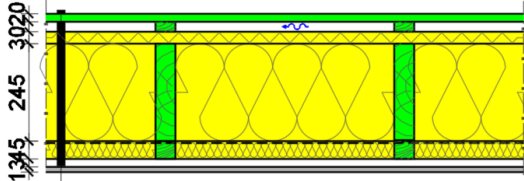
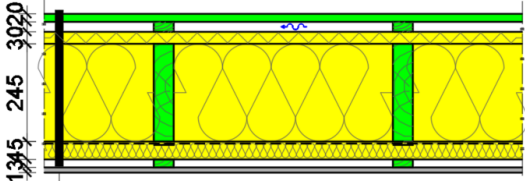
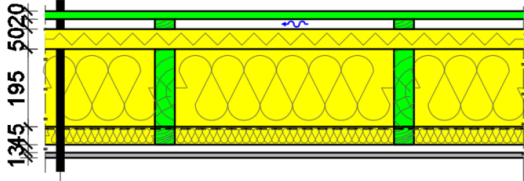
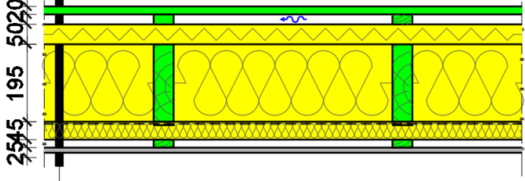
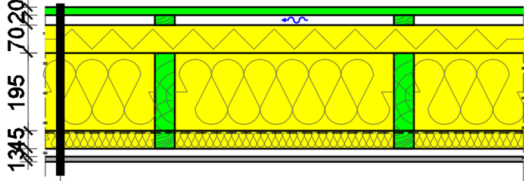
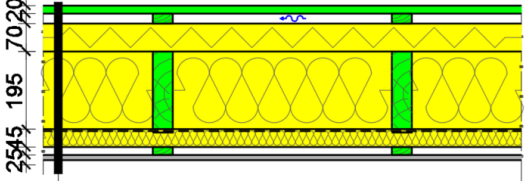
Joonis 4.2 Väikeelamu keerulisemaid detaile külmasildade vältimisel – garaažipõranda sõlm.

## 4.2. PIIRDETARINDITE NÄITEID

Liginullenergia väikeelamu on võimalik ehitada kõikide üldkasutatavate konstruktiivsete lahendustega. Hea soojapidavus tähendab paksemaid soojustuskihte ning välisseinte paksus võib muutuda kriitiliseks – tavaliselt üle 60 cm paksusi seinasid ei soovitata päevalguse ja ruumikasutuse efektiivsuse kaalutlustel. See loob eelise õhukeste kandvate osadega seintele või sõrestikseinale kus kandev puit- või teraskarkass on soojustuse sees. Samuti on võimalik kasutada efektiivsemaid soojustusmaterjale, mille puhul piisab sama soojuslähivuse juures väiksemast soojustuskihi paksusest. Paksem soojustus ülipopulaarsel väikeplokkseinale, kus soojustus kaetakse väljast õhekrohviga tähendab krohvile raskemaid töötingimusi – paks soojustus on ebakindel krohvialus ning pea olematu soojusvoog läbi seina ei hoia krohvi kuivana. Seega mõjutab parem soojustamine ka tarindite vastupidavust ning pikaajalisust. Kõige pikaajalisemad ja hooldusvabamad fassaadimaterjalid on telliskivi, betoon ning krohv kivialusel, kusjuures krohvitud sein väärib kaitsmist räästaga. Puitvoodrite vastupidavust parandatakse paksema laudise, vastupidavama puiduliigi ning loomulikkude vananemist võimaldava pinnaviimistlusega, mis ei ole sõltuvuses soojustuse tasemest. Samuti on võimalik mitmesuguste fassaadiplaatide kasutamine, mille ilmastikukindlust soojustamise tase ei mõjuta.

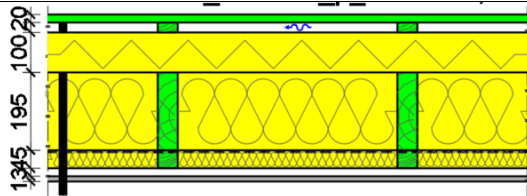
Järgnevatel tabelitel on esitatud valik liginullenergiamajadesse sobilike piirdetarindite näiteid. Tabelis toodud soojustuskihi kasutegur võimaldab soojuslähivuse lihtsal viisil ümber arvutada erinevale soojustuskihi paksusele peatükis 3.2 esitatud valemitega.

Tabel 4.1. Välisseinade näited.

Välisseinad																																	
 <table border="1"> <tr><td>Voodrilaud peensaetud</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuulutuslatt 20x45</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuuletõkkeplaat min.vill (<math>\lambda \leq 0,032</math> W/(mK)) (teibitud liited)</td><td>30mm</td></tr> <tr><td>Karkass 245x45 s. <math>\geq 400</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 250mm</td><td>245mm</td></tr> <tr><td>Öhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm</td><td></td></tr> <tr><td>Karkass 45x45 s. <math>\geq 400</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 50mm</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 20x45mm</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table> <p><math>U_c = 0,154</math> W/(m<sup>2</sup>·K); <math>\eta = 0,68</math></p>	Voodrilaud peensaetud	20mm	Tuulutuslatt 20x45	20mm	Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032$ W/(mK)) (teibitud liited)	30mm	Karkass 245x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 250mm	245mm	Öhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm		Karkass 45x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm	Installatsioonilatt 20x45mm	20mm	Kipsplaat	13mm	 <table border="1"> <tr><td>Voodrilaud peensaetud</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuulutuslatt 20x45</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuuletõkkeplaat min.vill (<math>\lambda \leq 0,032</math> W/(mK)) (teibitud liited)</td><td>30mm</td></tr> <tr><td>Karkass 245x45 s. <math>\geq 400</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 250mm</td><td>245mm</td></tr> <tr><td>Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm</td><td></td></tr> <tr><td>Karkass 45x45 s. <math>\geq 600</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 50mm</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 20x45mm</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table> <p><math>U_c = 0,147</math> W/(m<sup>2</sup>·K); <math>\eta = 0,71</math></p>	Voodrilaud peensaetud	20mm	Tuulutuslatt 20x45	20mm	Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032$ W/(mK)) (teibitud liited)	30mm	Karkass 245x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 250mm	245mm	Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm		Karkass 45x45 s. $\geq 600$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm	Installatsioonilatt 20x45mm	20mm	Kipsplaat	13mm
Voodrilaud peensaetud	20mm																																
Tuulutuslatt 20x45	20mm																																
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032$ W/(mK)) (teibitud liited)	30mm																																
Karkass 245x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 250mm	245mm																																
Öhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm																																	
Karkass 45x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm																																
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm																																
Kipsplaat	13mm																																
Voodrilaud peensaetud	20mm																																
Tuulutuslatt 20x45	20mm																																
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032$ W/(mK)) (teibitud liited)	30mm																																
Karkass 245x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 250mm	245mm																																
Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm																																	
Karkass 45x45 s. $\geq 600$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm																																
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm																																
Kipsplaat	13mm																																
 <table border="1"> <tr><td>Voodrilaud peensaetud</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuulutuslatt 20x45</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuuletõkkeplaat min.vill (<math>\lambda \leq 0,032</math> W/(mK)) (teibitud liited)</td><td>50mm</td></tr> <tr><td>Karkass 195x45 s. <math>\geq 400</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 200mm</td><td>195mm</td></tr> <tr><td>Öhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm</td><td></td></tr> <tr><td>Karkass 45x45 s. <math>\geq 400</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 50mm</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 20x45mm</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table> <p><math>U_c = 0,154</math> W/(m<sup>2</sup>·K); <math>\eta = 0,74</math></p>	Voodrilaud peensaetud	20mm	Tuulutuslatt 20x45	20mm	Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032$ W/(mK)) (teibitud liited)	50mm	Karkass 195x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 200mm	195mm	Öhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm		Karkass 45x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm	Installatsioonilatt 20x45mm	20mm	Kipsplaat	13mm	 <table border="1"> <tr><td>Voodrilaud peensaetud</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuulutuslatt 20x45</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuuletõkkeplaat min.vill (<math>\lambda \leq 0,032</math> W/(mK)) (teibitud liited)</td><td>50mm</td></tr> <tr><td>Karkass 195x45 s. <math>\geq 400</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 200mm</td><td>195mm</td></tr> <tr><td>Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm</td><td></td></tr> <tr><td>Karkass 45x45 s. <math>\geq 600</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 50mm</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 20x45mm</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table> <p><math>U_c = 0,148</math> W/(m<sup>2</sup>·K); <math>\eta = 0,77</math></p>	Voodrilaud peensaetud	20mm	Tuulutuslatt 20x45	20mm	Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032$ W/(mK)) (teibitud liited)	50mm	Karkass 195x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 200mm	195mm	Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm		Karkass 45x45 s. $\geq 600$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm	Installatsioonilatt 20x45mm	20mm	Kipsplaat	13mm
Voodrilaud peensaetud	20mm																																
Tuulutuslatt 20x45	20mm																																
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032$ W/(mK)) (teibitud liited)	50mm																																
Karkass 195x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 200mm	195mm																																
Öhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm																																	
Karkass 45x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm																																
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm																																
Kipsplaat	13mm																																
Voodrilaud peensaetud	20mm																																
Tuulutuslatt 20x45	20mm																																
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032$ W/(mK)) (teibitud liited)	50mm																																
Karkass 195x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 200mm	195mm																																
Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm																																	
Karkass 45x45 s. $\geq 600$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm																																
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm																																
Kipsplaat	13mm																																
 <table border="1"> <tr><td>Voodrilaud peensaetud</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuulutuslatt 20x45</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuuletõkkeplaat min.vill (<math>\lambda \leq 0,031</math> W/(mK)) (teibitud liited)</td><td>70mm</td></tr> <tr><td>Karkass 195x45 s. <math>\geq 400</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 200mm</td><td>195mm</td></tr> <tr><td>Öhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm</td><td></td></tr> <tr><td>Karkass 45x45 s. <math>\geq 400</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 50mm</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 20x45mm</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table>	Voodrilaud peensaetud	20mm	Tuulutuslatt 20x45	20mm	Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,031$ W/(mK)) (teibitud liited)	70mm	Karkass 195x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 200mm	195mm	Öhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm		Karkass 45x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm	Installatsioonilatt 20x45mm	20mm	Kipsplaat	13mm	 <table border="1"> <tr><td>Voodrilaud peensaetud</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuulutuslatt 20x45</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Tuuletõkkeplaat min.vill (<math>\lambda \leq 0,031</math> W/(mK)) (teibitud liited)</td><td>70mm</td></tr> <tr><td>Karkass 195x45 s. <math>\geq 400</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 200mm</td><td>195mm</td></tr> <tr><td>Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm</td><td></td></tr> <tr><td>Karkass 45x45 s. <math>\geq 600</math>mm + min.vill (<math>\lambda \leq 0,034</math>-35W/(mK)) 50mm</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 20x45mm</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table>	Voodrilaud peensaetud	20mm	Tuulutuslatt 20x45	20mm	Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,031$ W/(mK)) (teibitud liited)	70mm	Karkass 195x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 200mm	195mm	Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm		Karkass 45x45 s. $\geq 600$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm	Installatsioonilatt 20x45mm	20mm	Kipsplaat	13mm
Voodrilaud peensaetud	20mm																																
Tuulutuslatt 20x45	20mm																																
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,031$ W/(mK)) (teibitud liited)	70mm																																
Karkass 195x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 200mm	195mm																																
Öhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm																																	
Karkass 45x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm																																
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm																																
Kipsplaat	13mm																																
Voodrilaud peensaetud	20mm																																
Tuulutuslatt 20x45	20mm																																
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,031$ W/(mK)) (teibitud liited)	70mm																																
Karkass 195x45 s. $\geq 400$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 200mm	195mm																																
Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm																																	
Karkass 45x45 s. $\geq 600$ mm + min.vill ( $\lambda \leq 0,034$ -35W/(mK)) 50mm	45mm																																
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm																																
Kipsplaat	13mm																																

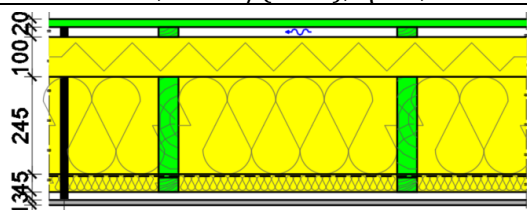
### Välisseinad

$$U_c = 0,139 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,76$$



Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutuslatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,031 \text{ W}/(\text{mK})$ ) (teibitud liited)	100mm
Karkass 195x45 s. $\geq 400\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{mK})$ ) 200mm	195mm
Õhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm	
Karkass 45x45 s. $\geq 400\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{mK})$ ) 50mm	45mm
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm
Kipsplaat	13mm

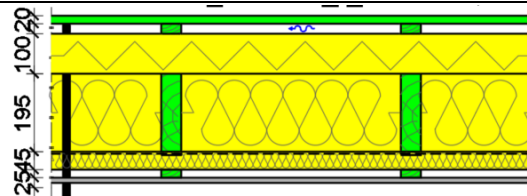
$$U_c = 0,124 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,78$$



Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutuslatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,031 \text{ W}/(\text{mK})$ ) (teibitud liited)	100mm
Karkass 245x45 s. $\geq 400\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{mK})$ ) 250mm	245mm
Õhu- ja aurutõkkekile (liitekoht karkassi vahel) 0,2mm	
Karkass 45x45 s. $\geq 400\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{mK})$ ) 50mm	45mm
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm
Kipsplaat	13mm

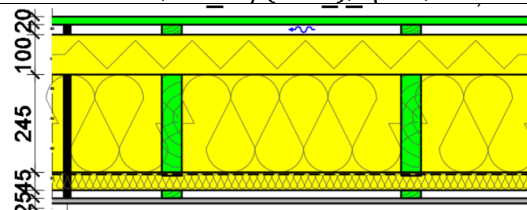
$$U_c = 0,114 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,74$$

$$U_c = 0,135 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,78$$



Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutuslatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,031 \text{ W}/(\text{mK})$ ) (teibitud liited)	100mm
Karkass 195x45 s. $\geq 400\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{mK})$ ) 200mm	195mm
Õhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm	
Karkass 45x45 s. $\geq 600\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{mK})$ ) 50mm	45mm
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm
Kipsplaat	13mm

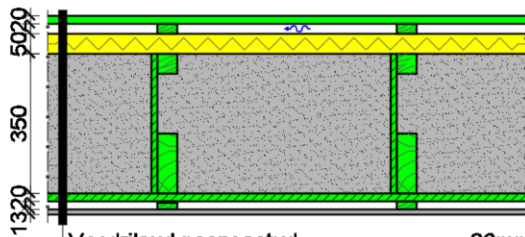
$$U_c = 0,121 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,80$$



Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutuslatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,031 \text{ W}/(\text{mK})$ ) (teibitud liited)	100mm
Karkass 245x45 s. $\geq 400\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{mK})$ ) 250mm	245mm
Õhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud) 0,2mm	
Karkass 45x45 s. $\geq 600\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{mK})$ ) 50mm	45mm
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm
Kipsplaat	13mm

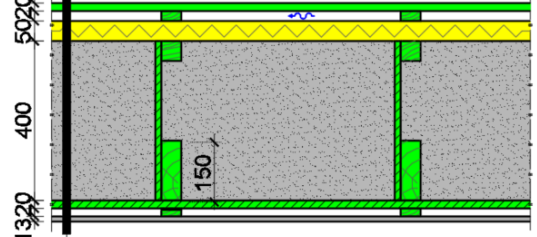
$$U_c = 0,112 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,76$$

## Välisseinad



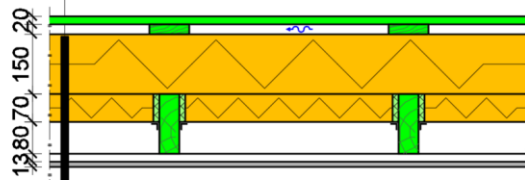
Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutusalatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032 \text{ W/(mK)}$ ) (teibitud liited)	50mm
Liitpost 150x45 + 45x45mms. $\geq 400\text{mm}$ + tselluvill ( $\lambda \geq 0,040\text{-}45\text{W/(mK)}$ ) 350mm	350mm
Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat (teibitud liited)	20mm
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm
Kipsplaat	13mm

$$U_c = 0,149 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}; \eta = 0,68$$



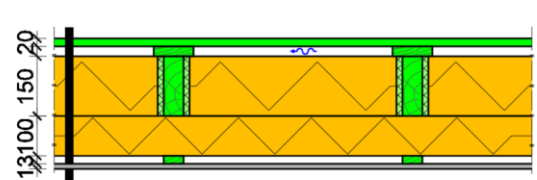
Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutusalatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032 \text{ W/(mK)}$ ) (teibitud liited)	50mm
Liitpost 150x45 + 45x45mms. $\geq 400\text{mm}$ + tselluvill ( $\lambda \geq 0,040\text{-}45\text{W/(mK)}$ ) 400mm	400mm
Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat (teibitud liited)	20mm
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm
Kipsplaat	13mm

$$U_c = 0,138 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}; \eta = 0,70$$



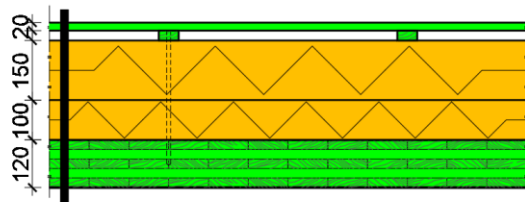
Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutusalatt 20x45	20mm
PIR/PUR ( $\lambda \geq 0,022\text{-}25\text{W/(mK)}$ )	150mm
Karkass 150x50 s. $\geq 400\text{mm}$ + PIR/PUR ( $\lambda \geq 0,022\text{-}25\text{W/(mK)}$ )	70mm
Karkassivahe	80mm
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm
Kipsplaat	13mm

$$U_c = 0,118 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}; \eta = 0,92$$



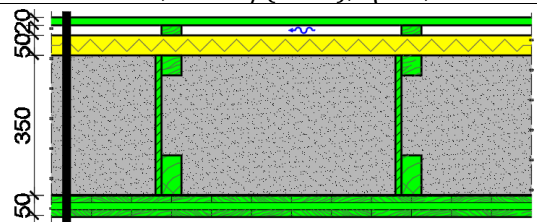
Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutusalatt 20x45	20mm
Karkass 150x50 s. $\geq 400\text{mm}$ + PIR/PUR ( $\lambda \geq 0,022\text{-}25\text{W/(mK)}$ )	150mm
PIR/PUR ( $\lambda \geq 0,022\text{-}25\text{W/(mK)}$ )	100mm
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm
Kipsplaat	13mm

$$U_c = 0,115 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}; \eta = 0,84$$



Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutusalatt 20x45	20mm
PIR/PUR ( $\lambda \geq 0,022\text{-}25\text{W/(mK)}$ ) 100+150mm	250mm
Ristkihtpuitpaneel	120mm

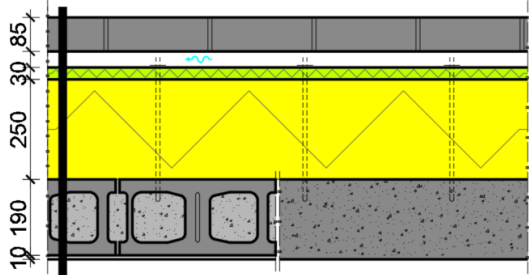
$$U_c = 0,093 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}; \eta = 0,97$$



Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutusalatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032 \text{ W/(mK)}$ ) (teibitud liited)	50mm
Liitpost 150x45 + 45x45mms. $\geq 400\text{mm}$ + tselluvill ( $\lambda \geq 0,040\text{-}45\text{W/(mK)}$ ) 350mm	350mm
Ristkihtpuitpaneel (teibitud liited)	50mm

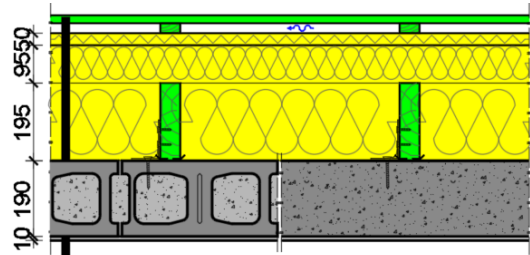
$$U_c = 0,149 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}; \eta = 0,68$$

## Välisseinad



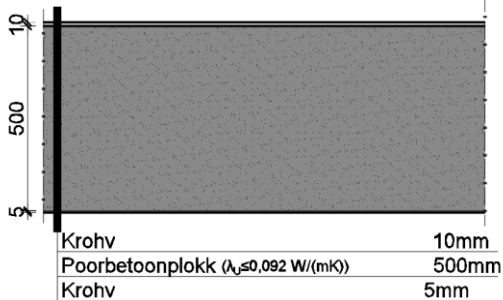
Tellisvooder	85mm
Tuulutusvahe	40mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) (teibitud liited)	30mm
Soojustusvill ( $\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , koormustaluvus $\geq 50 \text{ kPa}$ )	250mm
Betoonsein või täisbetoneeritud ja krohvitud väikeplokid	200mm

$$U_c = 0,125 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}); \eta = 0,95$$



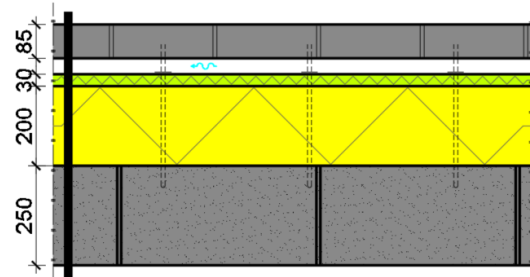
Fassaadiplaat / laudvooder	
Tuulutuslatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat ISOVER RKL-31 FACADE	50mm
Puitroovid 95x45 s. $\leq 600\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,037\text{-}40; 0,034\text{-}45\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )	50mm 95mm
Puitpostid 195x45 s. $\leq 600\text{mm}$ + min.vill ( $\lambda \leq 0,037\text{-}40; 0,034\text{-}45\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )	195mm
Betoonsein või täisbetoneeritud ja krohvitud väikeplokid	200mm

$$U_c = 0,138 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}); \eta = 0,77$$



Krohv	10mm
Poorbetoonplakk ( $\lambda_c \leq 0,092 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )	500mm
Krohv	5mm

$$U_c = 0,177 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}); \eta = 1,0$$



Tellisvooder	85mm
Tuulutusvahe	40mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ( $\lambda \leq 0,032 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) (teibitud liited)	30mm
Soojustusvill ( $\lambda_c \leq 0,034\text{-}35\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , koormustaluvus $\geq 50 \text{ kPa}$ )	300mm
Poorbetoonplakk müüritis (450kg, 3MPa, $\lambda_c \leq 0,012\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , $\lambda_c \leq 0,013\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )	250mm
Krohv	5mm

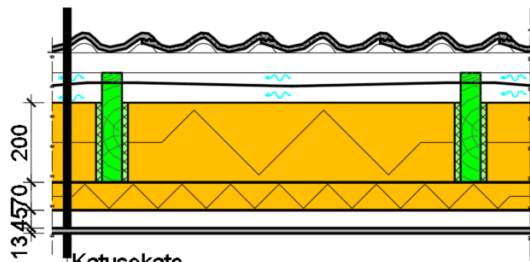
$$U_c = 0,1117 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}); \eta = 0,797$$



Tabel 4.2. Katuste ja katuslagede näited.

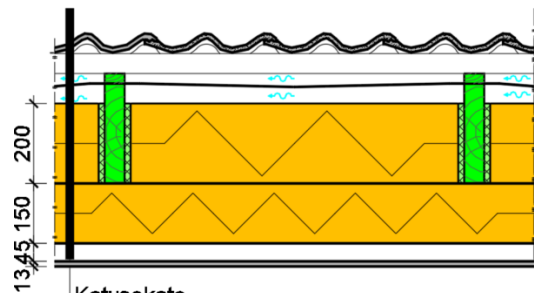
Katus, katuslagi																																																	
$U_c = 0,114 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,85$																																																	
<p><b>Katusekate</b></p> <table border="1"> <tr><td>Alusroovid 50x50mm</td><td></td></tr> <tr><td>Tuulutusliist 25x50mm</td><td></td></tr> <tr><td>Aluskate</td><td></td></tr> <tr><td>Fermi ül.vöö/sarikas</td><td></td></tr> <tr><td>Tuulutatav katusaelune</td><td></td></tr> <tr><td>Fermi al.vöö/laetala 150x45 mm s. ≥900mm + puistevill (λ≤0,037-45W/(mK) 40kg/m²)</td><td></td></tr> <tr><td>servapiirkonnast tuuletõke</td><td>400mm</td></tr> <tr><td>Aurutõke</td><td></td></tr> <tr><td>Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 45x45mm</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table> <p><math>U_c = 0,082 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,80</math></p>	Alusroovid 50x50mm		Tuulutusliist 25x50mm		Aluskate		Fermi ül.vöö/sarikas		Tuulutatav katusaelune		Fermi al.vöö/laetala 150x45 mm s. ≥900mm + puistevill (λ≤0,037-45W/(mK) 40kg/m²)		servapiirkonnast tuuletõke	400mm	Aurutõke		Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat	20mm	Installatsioonilatt 45x45mm	45mm	Kipsplaat	13mm	<p><b>Katusekate</b></p> <table border="1"> <tr><td>Alusroovid 50x50mm</td><td></td></tr> <tr><td>Tuulutusliist 25x50mm</td><td></td></tr> <tr><td>Aluskate</td><td></td></tr> <tr><td>Fermi ül.vöö/sarikas</td><td></td></tr> <tr><td>Tuulutatav katusaelune</td><td></td></tr> <tr><td>Fermi al.vöö/laetala 150x45 mm s. ≥900mm + puistevill (λ≤0,037-45W/(mK) 40kg/m²)</td><td></td></tr> <tr><td>servapiirkonnast tuuletõke</td><td>600mm</td></tr> <tr><td>Aurutõke</td><td></td></tr> <tr><td>Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 45x45mm</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table> <p><math>U_c = 0,114 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,85</math></p>	Alusroovid 50x50mm		Tuulutusliist 25x50mm		Aluskate		Fermi ül.vöö/sarikas		Tuulutatav katusaelune		Fermi al.vöö/laetala 150x45 mm s. ≥900mm + puistevill (λ≤0,037-45W/(mK) 40kg/m²)		servapiirkonnast tuuletõke	600mm	Aurutõke		Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat	20mm	Installatsioonilatt 45x45mm	45mm	Kipsplaat	13mm				
Alusroovid 50x50mm																																																	
Tuulutusliist 25x50mm																																																	
Aluskate																																																	
Fermi ül.vöö/sarikas																																																	
Tuulutatav katusaelune																																																	
Fermi al.vöö/laetala 150x45 mm s. ≥900mm + puistevill (λ≤0,037-45W/(mK) 40kg/m²)																																																	
servapiirkonnast tuuletõke	400mm																																																
Aurutõke																																																	
Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat	20mm																																																
Installatsioonilatt 45x45mm	45mm																																																
Kipsplaat	13mm																																																
Alusroovid 50x50mm																																																	
Tuulutusliist 25x50mm																																																	
Aluskate																																																	
Fermi ül.vöö/sarikas																																																	
Tuulutatav katusaelune																																																	
Fermi al.vöö/laetala 150x45 mm s. ≥900mm + puistevill (λ≤0,037-45W/(mK) 40kg/m²)																																																	
servapiirkonnast tuuletõke	600mm																																																
Aurutõke																																																	
Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat	20mm																																																
Installatsioonilatt 45x45mm	45mm																																																
Kipsplaat	13mm																																																
<p><b>Katusekate</b></p> <table border="1"> <tr><td>Roovid 50x50mm</td><td></td></tr> <tr><td>Vaheliist 20x50mm / tuulutusvahe</td><td></td></tr> <tr><td>Aluskate</td><td></td></tr> <tr><td>Vaheliist 50x50mm / tuulutusvahe</td><td></td></tr> <tr><td>Tuuletõkkeplaat min.vill (λ≤0,032 W/(mK))</td><td>13mm</td></tr> <tr><td>Sarikad 250x50 s. ≥900mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 250mm)</td><td>250mm</td></tr> <tr><td>Õhutõkkemenbraan kahe soojustuse vahel</td><td></td></tr> <tr><td>Roovid 150x50 s. ≥600mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 150mm)</td><td>150mm</td></tr> <tr><td>Õhu- ja aurutõke (liide kvaliteetbitud)</td><td>0,2mm</td></tr> <tr><td>Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 45x45mm ≥400mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 50mm)</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table> <p><math>U_c = 0,123 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,68</math></p>	Roovid 50x50mm		Vaheliist 20x50mm / tuulutusvahe		Aluskate		Vaheliist 50x50mm / tuulutusvahe		Tuuletõkkeplaat min.vill (λ≤0,032 W/(mK))	13mm	Sarikad 250x50 s. ≥900mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 250mm)	250mm	Õhutõkkemenbraan kahe soojustuse vahel		Roovid 150x50 s. ≥600mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 150mm)	150mm	Õhu- ja aurutõke (liide kvaliteetbitud)	0,2mm	Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat	20mm	Installatsioonilatt 45x45mm ≥400mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 50mm)	45mm	Kipsplaat	13mm	<p><b>Katusekate</b></p> <table border="1"> <tr><td>Roovid 50x50mm</td><td></td></tr> <tr><td>Vaheliist 20x50mm / tuulutusvahe</td><td></td></tr> <tr><td>Aluskate</td><td></td></tr> <tr><td>Vaheliist 50x50mm / tuulutusvahe</td><td></td></tr> <tr><td>Tuuletõkkeplaat min.vill (λ≤0,031 W/(mK)) (teibitud liited)</td><td>30mm</td></tr> <tr><td>Sarikad 250x50 s. ≥900mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 250mm)</td><td>250mm</td></tr> <tr><td>Õhutõkkemenbraan kahe soojustuse vahel</td><td></td></tr> <tr><td>Roovid 250x50 s. ≥600mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 250mm)</td><td>250mm</td></tr> <tr><td>Õhu- ja aurutõke (liide kvaliteetbitud)</td><td>0,2mm</td></tr> <tr><td>Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat</td><td>20mm</td></tr> <tr><td>Installatsioonilatt 45x45mm ≥400mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 50mm)</td><td>45mm</td></tr> <tr><td>Kipsplaat</td><td>13mm</td></tr> </table> <p><math>U_c = 0,097 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,67</math></p>	Roovid 50x50mm		Vaheliist 20x50mm / tuulutusvahe		Aluskate		Vaheliist 50x50mm / tuulutusvahe		Tuuletõkkeplaat min.vill (λ≤0,031 W/(mK)) (teibitud liited)	30mm	Sarikad 250x50 s. ≥900mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 250mm)	250mm	Õhutõkkemenbraan kahe soojustuse vahel		Roovid 250x50 s. ≥600mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 250mm)	250mm	Õhu- ja aurutõke (liide kvaliteetbitud)	0,2mm	Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat	20mm	Installatsioonilatt 45x45mm ≥400mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 50mm)	45mm	Kipsplaat	13mm
Roovid 50x50mm																																																	
Vaheliist 20x50mm / tuulutusvahe																																																	
Aluskate																																																	
Vaheliist 50x50mm / tuulutusvahe																																																	
Tuuletõkkeplaat min.vill (λ≤0,032 W/(mK))	13mm																																																
Sarikad 250x50 s. ≥900mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 250mm)	250mm																																																
Õhutõkkemenbraan kahe soojustuse vahel																																																	
Roovid 150x50 s. ≥600mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 150mm)	150mm																																																
Õhu- ja aurutõke (liide kvaliteetbitud)	0,2mm																																																
Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat	20mm																																																
Installatsioonilatt 45x45mm ≥400mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 50mm)	45mm																																																
Kipsplaat	13mm																																																
Roovid 50x50mm																																																	
Vaheliist 20x50mm / tuulutusvahe																																																	
Aluskate																																																	
Vaheliist 50x50mm / tuulutusvahe																																																	
Tuuletõkkeplaat min.vill (λ≤0,031 W/(mK)) (teibitud liited)	30mm																																																
Sarikad 250x50 s. ≥900mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 250mm)	250mm																																																
Õhutõkkemenbraan kahe soojustuse vahel																																																	
Roovid 250x50 s. ≥600mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 250mm)	250mm																																																
Õhu- ja aurutõke (liide kvaliteetbitud)	0,2mm																																																
Sulundservaga õhutihe puitlaastplaat	20mm																																																
Installatsioonilatt 45x45mm ≥400mm + min.vill (λ≤0,033-35 W/(mK) 50mm)	45mm																																																
Kipsplaat	13mm																																																

## Katus, katuslagi



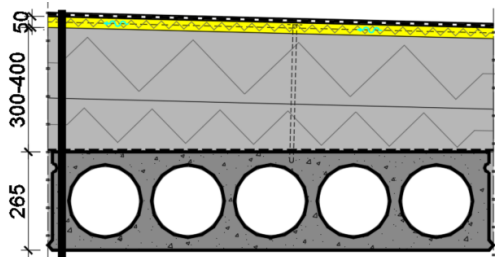
Katusekate	
Roovid 50x50mm	
Roovid 20x50mm / tuulutusvahe	
Aluskate	
Roovid 50x50mm / tuulutusvahe	
Sarikas 250x50 mm s. ≥600mm +	
PIR/PUR ( $\lambda \leq 0,022-25W/(mK)$ )	200mm
PIR/PUR ( $\lambda \leq 0,022-25W/(mK)$ )	70mm
Installatsioonilatt 45x45mm	45mm
Kipsplaad	13mm

$$U_c = 0,110 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,82$$



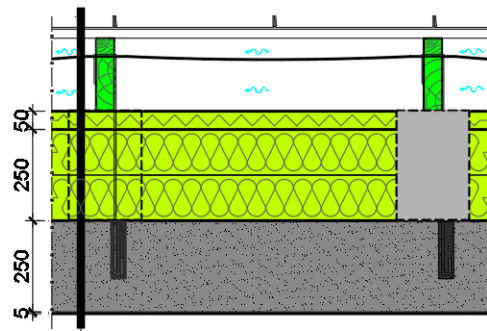
Katusekate	
Roovid 50x50mm	
Roovid 20x50mm / tuulutusvahe	
Aluskate	
Roovid 50x50mm / tuulutusvahe	
Sarikas 250x50 mm s. ≥600mm +	
PIR/PUR ( $\lambda \leq 0,022-25W/(mK)$ )	200mm
PIR/PUR ( $\lambda \leq 0,022-25W/(mK)$ )	150mm
Installatsioonilatt 45x45mm	45mm
Kipsplaad	13mm

$$U_c = 0,082 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,85$$



2xSBS kummituumen rullkate	
Katuse pealiskate ( $\lambda 0,037-40 \text{ W}/(\text{mK})$ , sulundserv, difusiooniavad)	
30mm	
Soojustus vahetolüstüreen ( $\lambda 0,032-33 \text{ W}/(\text{mK})$ ) kahes kihis, alumine kiht on kaldu lõigatud 300-400mm	
Õhu- ja aurutõkke bituumen rullkate (ka ajutine, ehitusaegne vihmakaitse)	
Raudbetoon õõnespaneel või monoliitne raudbetoon	
Siseviimistlus	

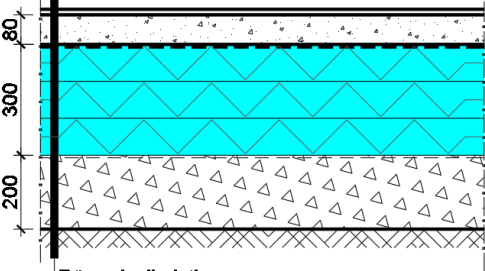
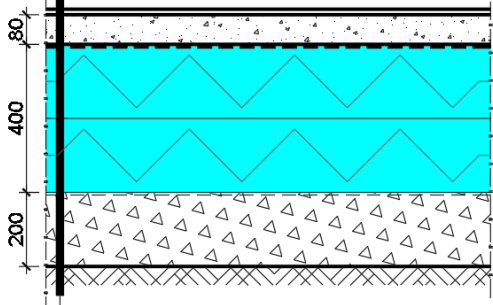
$$U_c = 0,092 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,91$$



Katusekate	
Roovid 25x100mm	
Vahelst 50x50mm / tuulutusvahe	
Aluskate	
Sarikas 50x150mm / tuulutusvahe	
ISOVER RKL-31 FACADE	50mm
Poorbetoon klotsid 20x20cm + min.vill ( $\lambda \leq 0,037-40 \text{ W}/(\text{mK})$ )	250mm
Õhu- ja aurutõke (ilide kvaliteetibitud)	0,2mm
Poorbetoon laepaneel	250mm
Krohv	5mm

$$U_c = 0,138 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,71$$

Tabel 4.3. Põrandate näited.

Põrand pinnasel	
 <p> <b>Põrandaviimistlus</b>                      Lihvitud raudbetoonplaat                      XPSpolüstüreen (<math>\lambda 0,037-40; 0,032-33</math> W/(mK)) 300mm                      Geotekstiil (või kile)                      Tihendatud killustikalus                      pinnaseniiskuse tõusu vältimiseks <math>\geq 200</math>mm                      Planeeritud aluspinnas kaldega hoone alt välja                 </p> <p> <math>\lambda \leq 0,033</math> W/(mK) <math>\Rightarrow U_c = 0,118</math> W/(m<sup>2</sup>·K)  <math>\lambda \leq 0,040</math> W/(mK) <math>\Rightarrow U_c = 0,102</math> W/(m<sup>2</sup>·K)                 </p>	 <p> <b>Põrandaviimistlus</b>                      Lihvitud raudbetoonplaat                      XPSpolüstüreen (<math>\lambda 0,037-40; 0,032-33</math> W/(mK)) 400mm                      Geotekstiil (või kile)                      Tihendatud killustikalus                      pinnaseniiskuse tõusu vältimiseks <math>\geq 200</math>mm                      Planeeritud aluspinnas kaldega hoone alt välja                 </p> <p> <math>\lambda \leq 0,033</math> W/(mK) <math>\Rightarrow U_c = 0,105</math> W/(m<sup>2</sup>·K)  <math>\lambda \leq 0,040</math> W/(mK) <math>\Rightarrow U_c = 0,117</math> W/(m<sup>2</sup>·K)                 </p>

### 4.3. VÄLISPIIRETE ÕHUPIDAVUS

Hea õhupidavus on vältimatult vajalik energiatõhususe, mugava sisekliima ja niiskusturvalise tarindite toimivuse saavutamiseks. Välispiirete õhupidavust iseloomustab õhulekkearv  $q_{E50}$  [m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>)]. See näitab õhuvooluhulka (m<sup>3</sup>/h), mis läbib 1 m<sup>2</sup> suuruse pindalaga piiret 50 Pa õhurõhkude erinevuse korral. Valmis hoones mõõdetakse kogu hoone õhuleke ja väljendatakse see keskmise väärtusena välispiirde ruutmeetri kohta.

**Hoone õhulekkearvu nõue on  $q_{E50} \leq 1,0$  m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>) (MTM nr. 55), kuid energiaarvutustes on soovitatav kasutada üldjuhul varuga väärtust 1,5 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>). Õhulekkearvu väärtus tõendatakse mõõtmisega enne siseviimistlustööde alustamist ning vajadusel piirdetarindeid tihendatakse kuni projekteeritud väärtuse saavutamiseni.**

Juhul kui kasutatavad välispiirete lahendused ei võimalda mingil põhjusel saavutada head õhupidavust, siis kasutatakse nende hoonekonstruktsioonide puhul varem praktikas korduvalt saavutatud õhulekkearvu väärtust. Muid lahendusi energiatõhususe parandades on liginullenergia energiatõhususe saavutamine võimalik ka õhulekkearvu väärtustega  $q_{E50}=2$  või 3 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>), kuid tuleb arvestada, et sellised lahendused ei ole kulutõhusad.

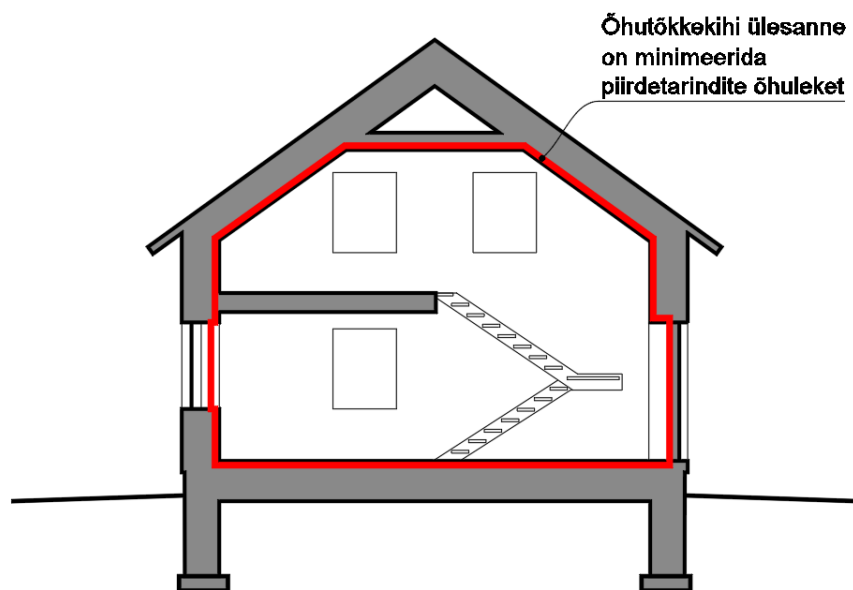
Piirdetarindis, milles on palju ebatihedusi, võib niiskuse konvektsioon kanda edasi niiskuse tunduvalt suuremaid koguseid, kui niiskuse difusioon seda suudab. Niiskuskonvektsiooni riski vältimiseks tuleb tarindi kriitilised sõlmed (näiteks sein ja vundamendi ning põranda ühendus, sein ja katuse ühendus, auru- või õhutõkke jätkukohad ja läbiviigud; vahelae ja välisseina liitekohad jne.) lahendada võimalikult õhupidavatena. Kuigi hoonepiire võib olla projekteeritud

niiskustehniliselt turvaliselt toimivaks veeauru difusiooni suhtes, võib niiskuse konvektsioon põhjustada lubamatult kõrgeid niiskustasemeid.

Kogu hoone õhupidavust mõjutavad kokkuvõttes kõikide piirete, liitekohtade, akende ja uste jne. õhupidavused. Tuleb teadvustada, et ka üksikud õhulekkekohad võivad põhjustada probleeme hoone kasutajate jaoks (tuuletõmbus, radoon) või piirde enese jaoks (niiskuse kondenseerumine piirde sisse). Õhupidavuse tagamine nõuab lõpuni läbimõeldud ja kompleksseid lahendusi. Piirdetailid tuleb projekteerimise käigus hoolikalt läbi mõelda, õhutõke peab olema korralikult paigaldatud ja liitekohad nõutavalt tehtud. Hoone piirdetarindite õhuleke sõltub kasutatavast ehitusmaterjalist, ehitustehnoloogiast ja tööde kvaliteedist (projekteerimine, ehitamine, järelevalve).

Õhupidavusele tuleb pöörata tähelepanu juba projekteerimise algstaadiumis. Piirdetarindite õhuleket mõjutavad nii põhimõttelised otsused (peamised tarinditüübid, õhutõkkesüsteemi valik, valitud süsteemi lihtsus ja töökindlus, riskantsete lahenduste vältimine) kui ka detailsed lahendused (õhutõkkekahi esitus ja jätkuvus tarindidetailide ja sõlmede joonistel, piisavalt suure mõõtkavaga detailide ja sõlmede joonised). Järgnevad meetodid aitavad vähendada piirdetarindite õhuleket projekteerimisjärgus.

- Piirdetarindite õhulekke määravad detailid. Sirge sein või katus või pörand üldiselt ei leki, lekkekohad on liitekohtades ja läbiviikudes, st et sõlmlahendused on olulised ja need tuleb ehitusprojektis detailselt esitada.
- Sõlmlahendustest olulisemgi on õhupidavuse tagamise kontseptsiooni valik. Vältida tuleb riskantseid ja keerukaid lahendusi, eelistades teostuselt ja toimivuselt selgeid, lihtsaid ja töökindlaid lahendusi.
- Tuleb määrata õhutõke igas tarinditüübis, s.o tarindikiht, mis tagab õhupidavuse, ja jälgida, et õhutõkked oleksid jätkuvad üle kogu hoone. Kasutada tuleb nn pideva joone meetodit, millega saab näidata õhutõkke asukohta ja jätkuvust tarindites.



- On oluline, et õhutõkkeks projekteeritakse ainult üks õhutihe kiht. Kaks "peaaegu" õhutihedat kihti ei taga piirdetarindi õhupidavust. Kaks õhutihedat kihti vähendavad õhuleket, kuna õhurõhuerinevus üle õhutõkke on poole väiksem.

- Eelistatavim asukoht hoonepiirete õhupidavust tagavale õhutõkkekihile on sisepinna lähedal 20–50 mm soojustuse sees või sisepinnas. Piirde seespoolsetes kihtides takistab õhutõke kõige paremini niiske siseõhu konvektsiooni piirdesse.
- Piirete ja liitekohtade projekteerimisel ning ehitamisel tuleb arvestada ka nende soojus- ja niiskustehnilise toimivusega. Õhutõkke soojustuse sisepinnas paiknemist toetab asjaolu, et õhutihedad materjalid on üldjuhul ka suurema aurutakistusega. Suure aurutakistusega materjali ei või paigaldada soojustusest väljapoole. Kui õhutõke paikneb soojustuse sisekihtides, on mõistlik kombineerida õhu- ja aurutõke üheks materjalikihiks. Ka hoonepiirde kande- või soojustuskiht võib olla õhutõkkeks. Selliseks materjaliks võivad olla näiteks raudbetoonpaneel või ristkihtpuitpaneel.
- Müüritis tuleb kindlasti krohvida. Krohvida tuleb kindlasti ka akna- ja ukse paled kuni avatäite teljeni. Nii saab akna teipida krohvile ja õhutõkke jätkuvus on tagatud. Aknaava tuleb laduda krohvi ja akna tihenduse võrra 4 – 5 cm laiem kui on avatäite mõõt.
- Õhutõkkekiht peab olema piisavalt õhutihe, ehitatav, pikaajaliselt vastupidav.
- Vältida tuleb sama hoone juures liiga paljude erinevate tarinditüüpide kasutamist. Tihti tekivad probleemid just tarindite liitekohtade juures, eriti erinevate lahenduste puhul.
- Ehitamise ja tarindikihtide paigaldamise järjekord tuleb läbi mõelda ja detailselt joonistel ning seletuskirjas kirjeldada.
- Minimeerida tuleb õhutõkkest ja soojustusest läbiviike, mis on potentsiaalseks lekkekohaks. Kui läbiviigud on vältimatud, tuleb esitada läbiviigu õhupidavuse tagamise lahendus. Eelistatult tuleb kasutada konkreetseid õhkupidavaid tooteid.
- Hoone piirdetarindid, liitekohad ja õhutõkkest läbiviigud tuleb projekteerida nii, et nende õhupidavus ei halveneks aja jooksul. Varjatud liitekohtade õhupidavuse kestvus vajab erilist hoolt.
- Teipide valikul tuleb arvestada, et liimimisomadused peavad säilima terve hoone kasutusea jooksul: 50–100 aastat. Soojustusest seestpoolt tuleb kasutada aurutihedat teipi ja soojustusest väljaspool võimalikult väikese aurutakistusega teipi. Teip tuleb paigaldada puhtale ehk tolmuwabale pinnale. Vajadusel tuleb aluspind kruntida.
- Piirete ja liitekohtade projekteerimisel ning ehitamisel tuleb arvestada ka akustika ning tuleohutuse kriteeriumitega.

## 5. SUVISE ÜLEKUUMENEMISE VÄLTIMINE JA PÄEVAVALGUS

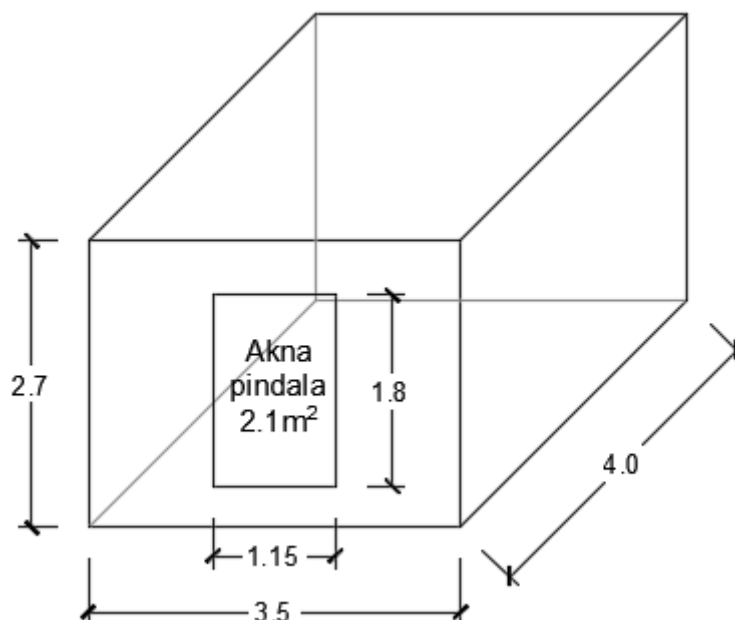
Liginullenergiahooned on õhutihedate, väikese soojusläbivusega välispiiretega ning sageli suurte klaaspindadega, mistõttu on ruumide ülekuumenemine tõusnud üha sagemini esinevaks probleemiks. Liigkõrged sisetemperatuurid esinevad üldjuhul suvel, kuid paljudel juhtudel juba ka kütteperioodil. Traditsioonilised jahutussüsteemid on nii paigalduse kui ka ekspluatatsiooni poolest kulukad ning sageli välistatavad ka energiatõhususe seisukohalt lähtudes, seega on tarvilik projekteerida hoone selliselt, et need üle ei kuumeneks – kasutades eelkõige passiivseid meetmeid. Peamiseks ülekuumenemise põhjuseks on liigse päikesekiirguse sattumine hoonesse. Arhitektuurse lahenduse kavandamisel on äärmiselt oluline leida optimaalsed lahendused klaaspindadele, sh klaaspindade suurused, klaaspakettide omadused ja/või varjestuslahendused, et oleks tagatud nii insolatsioon ja piisav päevavalgus kui ka välditud liigne temperatuuritõus.

Järgnevalt on toodud mõned „rusikareeglid“ ülekuumenemise vältimiseks arhitektuursel projekteerimisel. Lõuna ja lääne suunal (vahemikus kagu-loe) kasutatakse kas allpool kirjeldatud väliseid varjestusi või tagatakse üheaegselt järgnevad akende ja tuulutusakende nõuded:

- tuulutusasendi aktiivpindala osakaal kogu akna pindalast:  $\geq 0.1$
- akende osakaal fassaadi (sein+avatäited) pindalast (WWR):  $\leq 0.4$
- WWR-i ja päikeseläbivusteguri  $g$  korrutis,  $WWR \times g$ :  $\leq 0.2$
- akende pindala suhe ruumi põranda pindalasse:  $\leq 0.15$

Klaaspakettide päikeseläbivustegurit ei ole soovitatav valida alla 0.5, et kasutada vabasoojust päikesest ruumide küttevajaduse vähendamiseks.

Näiteks magamistuba, mille põrandapindala on  $14\text{m}^2$  ( $3.5\text{ m} \times 4\text{ m}$ ), tagab nii lääne kui lõuna poole suunatud aknaga suvise ruumitemperatuuri nõude, kui akna pindala on  $< 2.1\text{ m}^2$  (välisseina mõõtmed  $3.5\text{m} \times 2.7\text{m}$ ) ja on kasutatud varjestamata kirkaste klaasidega klaaspaketti (Joonis 5.1).



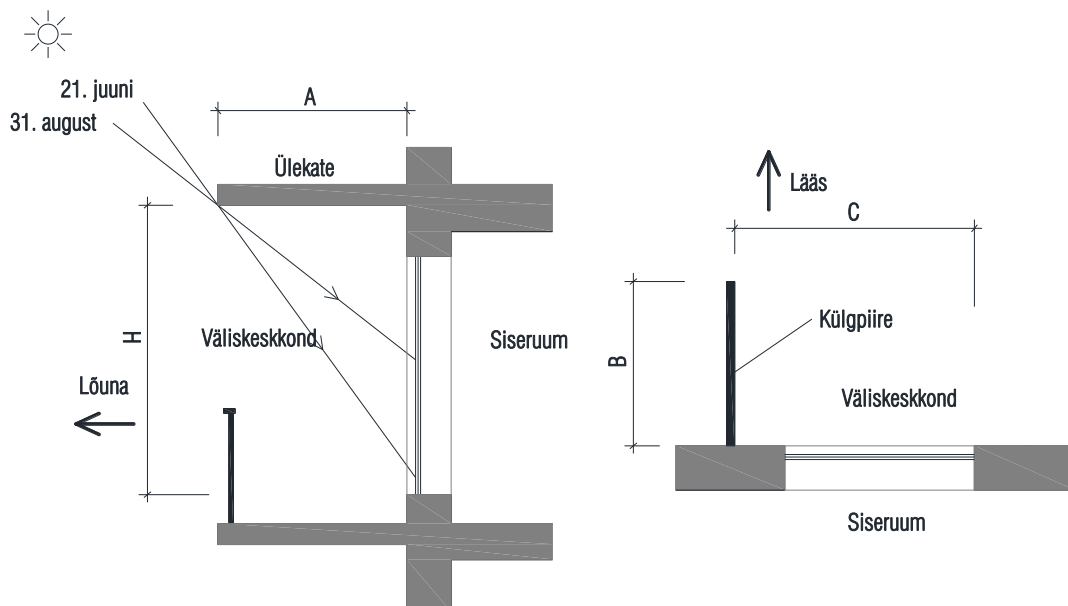
Joonis 5.1. Näide magamistoa suvise ruumitemperatuuri nõude täitmise kohta välise varjestuse puudumisel kirka klaaspaketi ( $g=0.63$ ) korral, eeldusel, et akna tuulutusava aktiivpind on suurem kui 10%:  $WWR = 2.1/(3.5 \times 2.7) = 0.22 \leq 0.4$ ;  $WWR \times g = 0.22 \times 0.63 = 0.14 \leq 0.2$ ;  $WFR = 2.1/(4.0 \times 3.5) = 0.15 \leq 0.15$ .

Võimalik on liigset päikesekiirgust blokeerida ka erinevate varjestuslahendustega, mida tuleb kindlasti kasutada kui eelnevaid rusikareegleid mingil põhjusel ei täideta:

- Lõuna ja lääne suunal:
  - välised ribakardinad (Joonis 5.2)
  - välised markiisid (Joonis 5.2)
- Lõuna suunal:
  - konstruktsiooniline ülekate / rõdu, ( $A/H > 0,7$ , Joonis 5.3, vasakul)
- Lääne suunal:
  - konstruktsiooniline külgnev piire / rõdu ( $B/C > 0,7$ , Joonis 5.3, paremal)

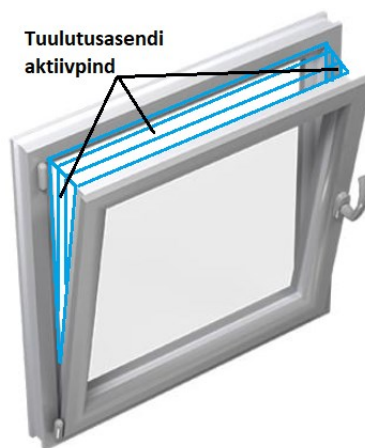


Joonis 5.2. Välise varjestuse näiteid.



Joonis 5.3. Konstruktsioonilised varjestuslahendused: lõuna suunal (vasak) ja lääne suunal (parem).

Juhul, kui eelnevad kriteeriumid ei ole täidetud, on vaja teostada vastavatele eluruumidele suvise ruumitemperatuuri kontrollarvutus dünaamilise simulatsioonitarkvara abil vastavalt EV määrusele „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“. Vastavalt määrusele on võimalik eluhoonetel arvestada avatavate akende tuulutusega (Joonis 5.4).



*Joonis 5.4. Avatava akna tuulutuseasendi aktiivpind*

Täpsemate andmete puudumisel võib arvestada akna tuulutuseasendi aktiivpinna osakaaluks avatavast aknast maksimaalselt 10%. Juhul kui aken koosneb avatavast ja mitteavatavast osast, arvestatakse aktiivpind ainult avatavast akna osast.



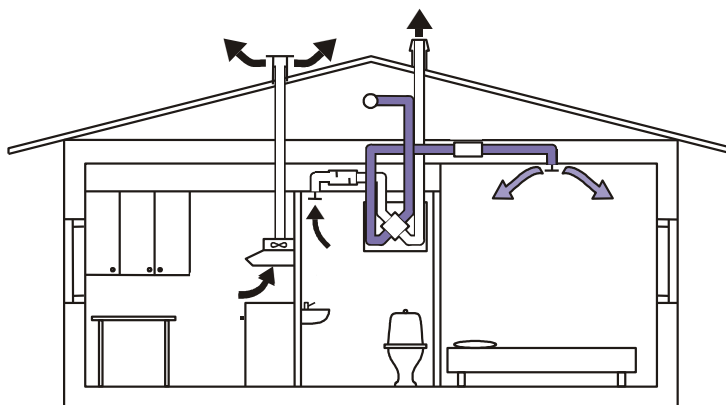
## 6. TEHNOSÜSTEEMID

### 6.1. VENTILATSIOON

Eluruumide hea sisekliima sõltub kõige otsesemalt hoone ventilatsioonist. Õhuvahetus hoones on vajalik nii õhu puhtuse tagamiseks kui ka liigniiskuse välja ventileerimiseks, milleks tuleb hoone kõigis ruumides tagada vajalik õhuvahetus. Sealjuures ei tohi värsket õhu jõad põhjustada inimestele ebamugavust tuuletõmbuse ja ruumi pindade liigse jahutamise näol. Ventilatsioonisüsteemid projekteeritakse lähtuvalt eluhoonetele kehtestatud ventilatsiooninõuetest. Liginullenergiamaajades on vältimatult vajalik soojustagastusega ventilatsioon, mis võimaldab samaaegselt tagada hea sisekliima ja energiatõhususe.

Üldjuhul peab ventilatsioon olema kogu hoone ulatuses tasakaalus, summaarne sissepuhkeõhu vooluhulk peab võrduma summaarse väljatõmbeõhu vooluhulgaga. Lihtsustatult on õhuvahetuse skeem järgmine: sissepuhkeõhk antakse eelsoojendatuna magamis- ja eluruumidesse, kust see siirdõhuna suundub väljatõmbega varustatud ruumidesse. Õhu liikumise suunamiseks magamis- ja eluruumidest väljatõmbega varustatud ruumidesse jäetakse ruumide uste lävepakude konstruktsioonidesse õhupilud (pilu kõrgus  $h \geq 15\text{mm}$ ) või siirdõhurestid vajaliku siirdõhuvoolu kindlustamiseks.

Ventilatsioon peab püsima tasakaalus ka eriolukordades – pliidikubu, kesktolmuimeja kasutamise või kamina kütmise ajal. Õhupidavas liginullergiamajas saab seda teha ainult ventilatsiooniseade lülitusega vastavasse režiimi, nn kaminalüliti, mis suurendab sissepuhet ja vähendab väljatõmmet. Pliidikubu on kõige lihtsam ühendada ventilatsiooniseadmega, milleks rootorsoojustagastiga seadmetel on eraldi väljaviik. Kui pliidikubul on katuseventilaator, siis peab ventilatsiooniseade olema varustatud automaatikaga, mis pliidikubu kasutuse ajal suurendab ventilatsiooniseadme sissepuhet ja vähendab väljatõmmet. Antud lahendus on täpsemalt kirjeldatud väikeelamu näidisprojektides.



Joonis 6.1. Mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi põhimõtteline lahendus.

#### 6.1.1. Õhuvooluhulkade arvutus

Kui puuduvad muud saasteallikad, peab ruumide välisõhu vooluhulk inimese kohta olema vähemalt 7 l/s. Uute väikeelamute projekteerimisel kasutatakse Tabel 6.1 toodud õhuvooluhulkade projekteerimisväärtuseid. Need väärtused lähtuvad keskmisest õhuvahetuskordsusest  $0,6 \text{ h}^{-1}$  ruumis, mis on 2,5 m kõrge ja on arvestatud minimaalselt kahele inimesele tavapärasel magamis- ja elutoas.

Tabel 6.1 Elu- ja abiruumide õhuvooluhulkade projekteerimisväärtused ja õhu liikumiskiirused

Ruumi kasutusotstarve	Õhuvooluhulkade projekteerimisväärtus		Õhu liikumiskiirus	
	Välisõhu vooluhulk, l/s	Väljatõmme, l/s	Kütteperioodil, m/s	Jahutusperioodil, m/s
Elu-, magamistuba, pindala >15m <sup>2</sup>	14		0,13	0,30
Elu-, magamistuba, pindala ≤15m <sup>2</sup>	12		0,13	0,30
Magamistuba, pindala <11 m <sup>2</sup>	8		0,13	0,30
WC		10		
Pesuruum		15		
Koduhoid/majapidamisruum		6		
Garderoob		5		
Tehniline ruum*	5*	5		
Garaaž (kõetav)		6		
Köögi üldventilatsioon**		8		
Ajutine kohtaratõmme pliidikubust		25		
Vähim kõetava pinna õhuvooluhulga keskväärus***	0,42	0,42		

\*Juhul kui väljatõmbeõhu kompenseerimiseks ei ole võimalik kasutada siirdõhku

\*\*Väljatõmbe õhuhulk võib olla väiksem, juhul kui vähim elamu õhuvooluhulga keskväärus on tagatud

\*\*\*Ühik l/(s·m<sup>2</sup>)

### 6.1.2. Õhukanalite läbimõõtude määramine

Õhutorude läbimõõtude määramisel tuleb lähtuda õhutoru läbivast summaarsest õhuvooluhulgast ja õhu liikumise kiirusest. Õhu liikumise kiirus tuleb valida nii, et ei oleks ületatud soovituslik rõhukadu ja torus tekkiv müra tase.

**Õhukanalite läbimõõdud ja lõppelemendid tuleks valida nii, et rõhukadu jääks väiksemaks kui 80 Pa ja süsteemi rõhukadu ventilaatori kohta ei oleks suurem kui 150 Pa.**

Tabel 6.2. Õhutoru läbimõõt lähtuvalt õhu liikumise kiirusest ja õhuvooluhulgast

Ümara põiklõikega õhukanal	2 m/s (25 dBA)	3 m/s (30 dBA)	4 m/s
<b>Õhukanali läbimõõt</b>	Õhu vooluhulk [l/s] Rõhukadu [Pa/m]		
<b>ø100</b>	<b>16 l/s</b>	24 l/s	32 l/s
	0,7 Pa/m	1,4 Pa/m	2,5 Pa/m
<b>ø125</b>	<b>25 l/s</b>	<b>36 l/s</b>	50 l/s
	0,5 Pa/m	1,1 Pa/m	1,8 Pa/m
<b>ø160</b>	<b>41 l/s</b>	<b>64 l/s</b>	<b>86 l/s</b>
	0,4 Pa/m	0,8 Pa/m	1,3 Pa/m

Õhukanalite valikul tuleb eelistada ümarpõiklõikega õhukanaleid. Õhukanalite skeemi kujundamisel tuleb lähtuda sellest, et õhuhulki oleks lihtne seadistada ning et süsteem oleks töökindel. Õhukanalite läbimõõtude osas on soovitatav piirduda võimalikult minimaalse arvu üleminekutega.

Tabel 6.3 on toodud nelja toaga väikse elamu ventilatsioonisüsteemi õhuvooluhulgad ja vastavaid õhukanalite läbimõõdud.

Tabel 6.3 Nelja toaga hoone ventilatsioonisüsteemi õhukanalite läbimõõdud

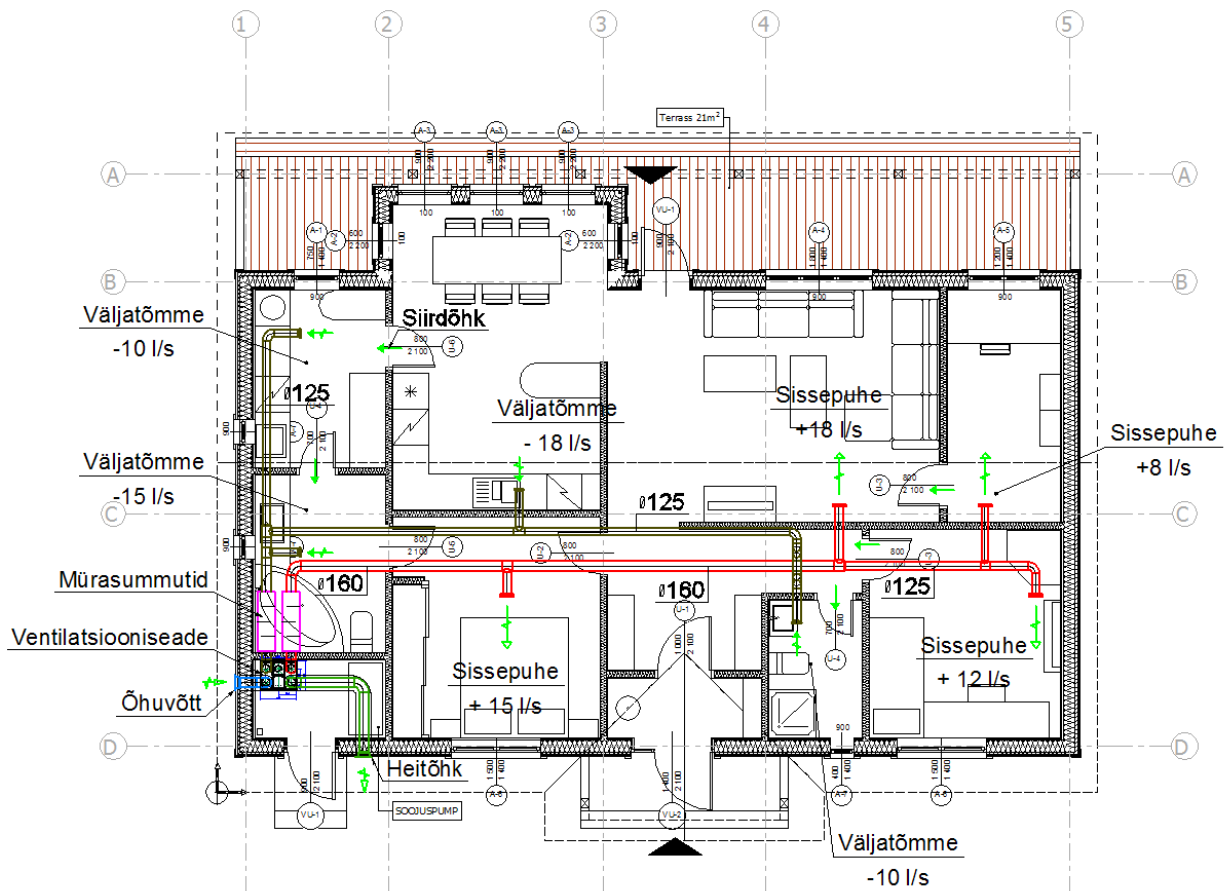
Ruumi nimetus	Lõppelemendi ühenduskanal	Harukanal	Ühiskanal
Sissepuhe	õhu vooluhulk / õhukanali läbimõõt		
Magamistuba	+12 Ø125		
Kabinet ( tuba alla 11m <sup>2</sup> )	+8 Ø100	+20 Ø125	
Elutuba	+18 Ø125	+38 Ø160	
Magamistuuba	+15 Ø125		+53 Ø160
Väljatõmme	õhu vooluhulk / õhukanali läbimõõt		
WC	-10 Ø100		
Köök üldventilatsioon <sup>1</sup>	-18 Ø125	-28 Ø125	
Majapidamisruum	-10 Ø100	-38 Ø160	
Vannituba	-15 Ø125		-53 Ø160

Üldjuhul toimub ventilatsioonisüsteemi projekteerimine järgmiselt:

- hoone õhuvahetuskeemi valik (ventilatsioonisüsteemi põhimõtteline skeem);
- vajalike õhuvooluhulkade arvutus;
- ventilatsiooniseadme paiknemise määramine koos õhuvõtu ja heitõhu avadega;
- lõppelementide valik ja ventilatsioonitorustiku paiknemine;
- süsteemi elementide dimensioneerimine, vajaliku isolatsiooni määramine;
- ventilatsioonisüsteemi tasakaalustamine ja rõhulangu arvutus;
- ventilatsiooniseadme lõplik valik;
- müraarvutus lähtuvalt ventilatsiooniseadmest ja süsteemi seadistusest.

Näitena toodud väikeelamu ventilatsioonisüsteemi väljaehitamisel lahendamist vajavad ehituslikud küsimused:

1. Ventilatsiooniseadme asukoht ja ventilatsiooniseadme õhuvõtu ja heitõhu lõppelementide paiknemine; lõppelementide ja seadme vaheliste õhukanalite soojusisolatsiooniga isoleerimine kondensaadi tekke vältimiseks.
2. Ventilatsioonitorustiku paiknemine:
  - a. ventilatsioonitorustik paigaldatakse ruumidesse lae alla ripplae kohale. Ripplaele paigaldamine tähendab hoolikat õhukanalite paigaldamise ja õhukanalite ristumiste planeerimist; ventilatsioonisüsteemi väljaehitamiseks vajaliku puhta kõrguse arvestamist ripplae kohal; ripplae väljaehitamist.
  - b. ventilatsioonitorustik paigaldatakse pööningule. Torustiku paigaldamine pööningule tähendab piisavalt vaba ruumi õhukanalite paigaldamiseks ja õhukanalite ristumiste lahendamiseks; õhukanalite soojusisolatsiooniga isoleerimist kogu pööningul oleva torustiku ulatuses; läbiviiku igale lõppelemendi ühenduskanalile läbi soojustatud vahelae.



Joonis 6.2. Lihtsustatud ventilatsiooni skeem (vt. Tabel 6.3)

### 6.1.3. Ventilatsiooniseadme komponendid

Tagamaks aastaringset piisavat õhuvahetust hoones, on vaja hoonesse ette näha komplektne ventilatsiooniseade, mille põhikomponentideks on sissepuhke ja väljatõmbeventilaatorid. Vältimaks liigset soojustarvet ning kasutamaks ära väljatõmbeõhus olevat energiat, peab ventilatsiooniseade olema varustatud soojustagastiga. Lisaks ventilaatoritele ja soojustagastile peab ventilatsioonisüsteem olema varustatud filtritega. Nii hoonesse sisse võetavat välisõhku kui hoonest väljatõmmatavat õhku peab eelnevalt puhastama. Sisse võetavat õhku puhastatakse eelkõige võimalikest tervisele kahjulikest osakestest ning välja tõmmatavat õhku selleks, et kaitsta ventilatsiooniseadme osasid mustumise eest. Määratud filtrid avaldavad mõju ventilatsioonisüsteemi elektrikasutusele. Välisõhu haarded tuleb paigutada ja teostada selliselt, et sisse võetav õhk on võimalikult puhas ning hoonest välja juhitud heitõhk ei põhjustaks probleeme hoone kasutajatele ega naaberhoonetele.

**Energiatõhusarvule avaldab ventilatsioonisüsteem mõju ventilaatorite elektrienergia tarbega ja välisõhu soojendamiseks kuluva soojusenergia tarbega.**

Selleks et vältida külma õhu sisse puhumist hoonesse, varustatakse ventilatsiooniseade üldjuhul soojustagasti ja järelküttekalorifeeriga. Soojustagasti soojendab välisõhku ruumist väljatõmmatava õhu soojuse arvelt. Kuna Eesti kliimas ei ole võimalik ainult soojustagasti abil õhku piisavalt soojaks kütta, tuleks kindlasti vältida selliseid seadmeid, millel järelküttekalorifeer puudub. Samuti tuleks vältida eelküttekalorifeeriga (kalorifeer paikneb enne soojustagastit) ventilatsiooniseadmeid, kuna

nende seadmete korral jäetakse kasutamata suur osa soojustagasti potentsiaalset ning seetõttu suureneb oluliselt ventilatsiooni küttenenergia tarve külmal perioodil.

Väikeelamute ventilatsiooniseadmetes kasutatakse soojuse tagastamiseks välja tõmmatavalt õhult sisse puhutavale õhule rootor- ja plaatsoojustagasteid.

Ventilatsiooniseadme soojustagastuse tõhusust iseloomustavad kaks näitajat:

- temperatuuri suhtarv
- energia tagastamise kasutegur.

Temperatuuri suhtarv on standardi järgi mõõdetud ventilatsiooniseadme omadus, mis näitab soojustagasti võimsust. Energia tagastamise kasutegur näitab kui mitu protsenti soojustagastus katab ventilatsiooniõhu soojendamise vajadusest etteantud sissepuhkeõhu temperatuurini kütteperioodi jooksul. Energiatõhusarvu määramisel lähtutakse soojustagasti temperatuuri suhtarvust, sissepuhkeõhu temperatuurist ja soojustagasti jäätumise piiramisest minimaalse heitõhu temperatuuri määramisega. Kvaliteetsete ventilatsiooniseadmete temperatuuri suhtarv on  $\eta = 0,8$  või natuke suurem. Minimaalne heitõhu temperatuuri väärtus sõltub soojustagasti tüübist ja on tootja andmete puudumisel:

- vastuvoolu plaatsoojustagastitele +5 °C
- rootorsoojustagastitele 0 °C.

Euroopas müüdavate ventilatsiooniseadmete soojustagasti temperatuuri suhtarv peab olema määratud vastavalt Euroopa standardile EN 13141-7 ning tootjal või tarnijal peab olema konkreetse toote kohta esitada ka vastavusdeklaratsioon. Tihtipeale võib esineda olukord, kus ventilatsiooniseadme tootja kasutab Euroopa standardist erinevat meetodikat kõrgete temperatuuri suhtarvude (isegi  $\eta > 90\%$ ) näitamiseks – sel juhul oleks otstarbekas küsida tootjalt EN 13141-7 järgi määratud temperatuuri suhtarvu konkreetse seadme kohta.

**Liginullenergiahoonetes peab väljatõmbeõhu jääksoojus olema kasutatud maksimaalselt, ehk ventilatsiooniseadme soojustagasti temperatuuri suhtarv peab olema  $\eta \geq 0,8$ . Kindlasti ei tohiks elamu ventilatsiooniseadet valida ainult kõrge temperatuuri suhtarvu järgi, kuna väga suurt rolli energiakasutuses mängib soojustagasti jäätumisevastane kaitse.** Selles osas on selge eelis rootorsoojustagastiga ventilatsiooniseadmetel, millede jäätumist on võimalik vältida rootori pöörlemiskiiruse vähendamisega, ilma et oluliselt suureneks küttekalorifeeri energiatarve. Plaatsoojustagastiga seadmel on jäätumise korral aga vajalik käivitada jäätumise vältimise või sulatusrežiim, mis suurendab oluliselt õhu soojendamiseks vajalikku kütte-energia tarvet. Reaalsetes tingimustes võivad rootorsoojustagastid efektiivselt töötada ka miinuskraadiliste heitõhu temperatuuridega, olenevalt väljatõmmatava õhu temperatuurist ja niiskussisaldusest. Ventilatsiooniseadme valikul tuleks kindlasti välja selgitada, milliste meetoditega on ette nähtud seadme soojustagasti jäätumiskaitse ning millist mõju avaldab see seadme küttenenergia tarbele.

**Näitena võrdleme kahte eri tüüpi soojustagastiga ventilatsiooniseadme aastast järelküttekalorifeeri energiatarvet.** Üheks seadmeks on vastuvoolu plaatsoojustagastiga agregaat, mille arvutuslik temperatuuri suhtarv standardi EN13141-7 järgi on 90%, teiseks seadmeks on rootorsoojustagastiga agregaat, mille temperatuuri suhtarv EN13141-7 järgi on 80%. Jäätumise vältimiseks on arvutuslik heitõhu temperatuur piiratud plaatsoojustagastiga seadmes +5°C-ni ja rootorsoojustagastis 0 °C-ni. Vaatleme ühte keskmist väikeelamut (ca 120 m<sup>2</sup>), milles arvutuslikud sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad on võrdselt ±75 l/s, väljatõmbeõhu temperatuur on +22

°C ning sisse puhutakse õhku minimaalse temperatuuriga +19 °C. Sel juhul saame kummagi seadme aastase energiavajaduse õhu järelkütteks:

- **vastuvoolu plaatsoojustagastiga** ventilatsiooniseadme, mille temperatuuri suhtarv  $\eta = 0.9$  ja arvutuslik minimaalne heitõhu temperatuur on **+5 °C**, korral on energiatarve järelkütteks **1330 kWh/a**;
- **rootorsoojustagastiga** ventilatsiooniseadme, mille temperatuuri suhtarv  $\eta = 0.8$  ja arvutuslik minimaalne heitõhu temperatuur on **0 °C**, korral on energiatarve järelkütteks **615 kWh/a**.

Toodud näite korral on vastuvoolu plaatsoojustagastiga ventilatsiooniseadme kütteenergia vajadus ligikaudu **kaks korda suurem** kui rootorsoojustagastiga seadme korral, olgugi et plaatsoojustagastiga seadme temperatuuri suhtarv on oluliselt kõrgem. See erinevus paistab välja energia tagastamise kasutegurist, juhul kui tootjad sellise arvutuse avalikustavad. Antud juhul on rootorsoojustagasti puhul energia tagastamise kasutegur 90% ja plaatsoojustagasti puhul 84%. Kuna üldjuhul on väikeelamu seadmed varustatud elektrilise küttekalorifeeriga, siis tulenevalt elektrienergia kaalumistegurist võib see moodustada olulise osa energiatõhususarvu kujunemisel. **Järeldusena tuleks väikeelamus eelistada rootorsoojustagastiga ventilatsiooniseadet.**

Ventilatsiooniseadme olulisteks komponentideks on ventilaatorid. Ventilaatorid kasutavad õhu transportimiseks elektrit. Tõhusa soojustagastusega hoonetes võib ventilatsioonisüsteemile vajalik aastane elektrikogus sageli osutada suuremaks ventilatsioonisüsteemi poolt tarvitavast soojusest. Olenevalt ventilaatori tööratast käitavast mootorist eristatakse AC- ja EC-mootoriga ventilaatoreid. Tänapäeva ventilatsiooniseadmed on juba valdavalt varustatud EC-mootoriga ventilaatoritega, mis on oluliselt energiasäästlikumad.

Ventilatsioonisüsteemi elektrikasutuse efektiivsust iseloomustab ventilatsioonisüsteemi elektri erivõimsus, mida tähistatakse tähekombinatsiooniga **SFP** (ingl k **Specific Fan Power**). Mida väiksem on SFP, seda madalam on ka elektritarve. Üldjuhul antakse ventilatsiooniseadme tehnilisel andmelehel SFP väärtused ühe ventilaatori kohta olenevalt arendatavast rõhust ja õhuvooluhulgast (üldjuhul graafikuna). Kogu ventilatsioonisüsteemi SFP väärtuse saamiseks tuleb seega summeerida sissepuhke- ja väljatõmbeventilaatorite SFP väärtused nende arvutuslikus tööpunktis, olenevalt projekteeritud süsteemi osade takistustest ja õhuvooluhulkadest.

Liginullenergiahoonetes peab ventilatsioonisüsteem olema optimaalselt madala elektritarbega, st SFP väärtus peab olema piisavalt väike. **Üldjuhul võib lähtuda ventilatsioonisüsteemi kavandamisel eesmärgist  $SFP \leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ .**

## 6.2. SOOJUSVARUSTUS JA KÜTE

Hoone küttesüsteemis eristatakse soojusallikat (nt soojuspump, katel, päikesekollektor) ja soojuse jaotamise süsteemi (nt radiaatorküte, põrandküte). Üldjuhul paiknevad projekteeritavad väikeelamud väljaspool kaugkütte piirkonda, kus oleks võimalik hoone soojussõlme soojusvaheti kaudu soojusega varustada, ning seega on vajalik ette näha individuaalne soojusallikas või kombineeritud soojusvarustussüsteem (nt katel+päikesekollektorid). Lähteinformatsioon erinevate soojusallikate ja nende kombinatsioonide ruumivajaduse ja eritingimuste kohta on toodud Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Soojusallikate iseloomulikud näitajad

Nr	Soojusallikas	Skeemi nr	Eraldi tehnoruumi vajadus	Akupaagi vajadus	Sooja tarbevee boileri vajadus	Tehnoruumi pindala vajadus, m <sup>2</sup>	Katuse pinna vajadus	Maa-ala vajadus krundil, m <sup>2</sup>	Korstna vajadus	Ampreid juurde	Eelistatud kütte-lahendus
<b>1</b>	<b>Maasoojuspump</b>		Ei	Ei	Komplektis*	-	Ei	300...700	Ei	Jah	põrandküte
1.1	+ päikesekollektorid		Jah	Jah	Komplektis*	3...5	Jah	300...700	Ei	Jah	põrandküte
<b>2</b>	<b>Õhk-vesi soojuspump</b>		Ei	Ei	Komplektis*	-	Ei	1...2	Ei	Jah	põrandküte
2.1	+ päikesekollektorid		Jah	Jah	Komplektis*	3...5	Jah	1...2	Ei	Jah	põrandküte
<b>3</b>	<b>Õhk-õhk soojuspump</b>		Ei	Ei	Eraldi süsteemina	-	Ei	1...2	Ei	Jah	-
<b>4</b>	<b>Gaasikatel</b>		Jah	Ei	Jah	3..5	Ei	-	Jah	Ei	põrandküte /radiaatorküte
<b>5</b>	<b>Pelletikatel</b>		Jah	Ei	Jah	4...6	Ei	-	Jah	Ei	põrandküte /radiaatorküte
5.1	+ päikesekollektorid		Jah	Jah	Jah	5...7	Jah	-	Jah	Ei	põrandküte /radiaatorküte
<b>6</b>	<b>Puugaasikatel</b>		Jah	Ei	Jah	4...8	Ei	-	Jah	Ei	põrandküte /radiaatorküte
6.1	+ päikesekollektorid		Jah	Jah	Jah	4...8	Jah	-	Jah	Ei	põrandküte /radiaatorküte
<b>7</b>	<b>Pelletikamin (õhk)</b>		Ei	Ei	Jah	-	Ei	-	Jah	Ei	põrandküte /radiaatorküte
7.1	+ päikesekollektorid		Jah	Jah	Jah	3...5	Jah	-	Jah	Ei	põrandküte /radiaatorküte
<b>8</b>	<b>Pelletikamin (vesi)</b>		Jah	Ei	Jah	3...5	Ei	-	Jah	Ei	põrandküte /radiaatorküte
8.1	+ päikesekollektorid		Jah	Jah	Jah	3...5	Jah	-	Jah	Ei	põrandküte /radiaatorküte

\* olenevalt soojuspumba kompleksusest

### 6.2.1. Soojuspumbad

Soojuspumba abil on võimalik ümbritsevast keskkonnast ammutada madalamatemperatuurilist energiat ja saada sellest kõrgematemperatuurilist soojuskandjat. Piltlikult võetakse ümbritsevast keskkonnast külma vedelikku või õhku ja suunatakse see sinna veel külmemalt tagasi. Ära võetavat soojust saab kasutada hoone kütmiseks, sooja tarbevee valmistamiseks ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks. Energiat võib ammutada maast, veekogust, välisõhust, ventilatsiooni heitõhust jm.

**Liginullenergiahoones tuleb soojuspump varustada eraldi soojus- ja elektrienergia arvestitega, et oleks võimalik määrata kütte ja sooja tarbevee energiakasutust ning jälgida soojuspumba efektiivsust.**

Näiteks võib temperatuuriga  $-10\text{ °C}$  välisõhust toota sooja vett temperatuuriga  $+50\text{ °C}$  ja kuumemat. Soojuspumba näol ei ole tegemist igiliikuriga ja oma tööks vajab see elektrit. Soojuspumba töö tõhusust iseloomustab soojustegur, mis näitab, kui palju saab ühest ühikust elektrist soojust. Näiteks kui soojuspumba soojustegur on 3, tähendab see, et 3 kWh soojuse saamiseks kulub 1 kWh elektrit ja 2 kWh energiat saadakse ammutatavast keskkonnast. Soojusteguri kohta kasutakse sageli ingliskeelseid lühendeid **COP** (*coefficient of performance*) ja **SPF** (*seasonal performance factor*) või **SCOP** (*seasonal coefficient of performance*). COP näitab soojuspumba hetkelist, standardtingimustel mõõdetud efektiivsust, SCOP aga hooajalist efektiivsust ning on seetõttu ülevaatlikum näitaja.

Soojustegur sõltub põhiliselt ammutatava keskkonna ja saadava soojuskandja temperatuurist. Mida kõrgema temperatuuriga keskkonnast soojust ammutatakse ja mida madalama temperatuuriga soojuskandjat saadakse, seda suurem on soojustegur. Näiteks õhk-õhk-tüüpi soojuspumba soojustegur on seda parem, mida kõrgem on välisõhutemperatuur. Teisalt pole otstarbekas toota soojuspumbaga liiga kõrge temperatuuriga (üle  $+45\text{...}+50\text{ °C}$ ) küttevett, kuna selleks kulub liiga palju elektrit.

Olenevalt ammutatavast keskkonnast võib soojuspumbad tinglikult jagada maasoojus- ja õhksoojuspumpadeks ning sõltuvalt hoone soojusvarustuseks kasutatavast soojuskandjast vesisoojus- ja õhksoojuspumpadeks. Sageli nimetatakse soojuspumba soojust ammutavat poolt primaarkontuuriks ja hoones soojust tarbivat poolt sekundaarpooleks. Tabel 6.5 on toodud levinuim soojuspumpade liigitus olenevalt primaar- ja sekundaarpooles kasutatavast soojuskandjast.

Tabel 6.5 Levinuim soojuspumpade liigitus

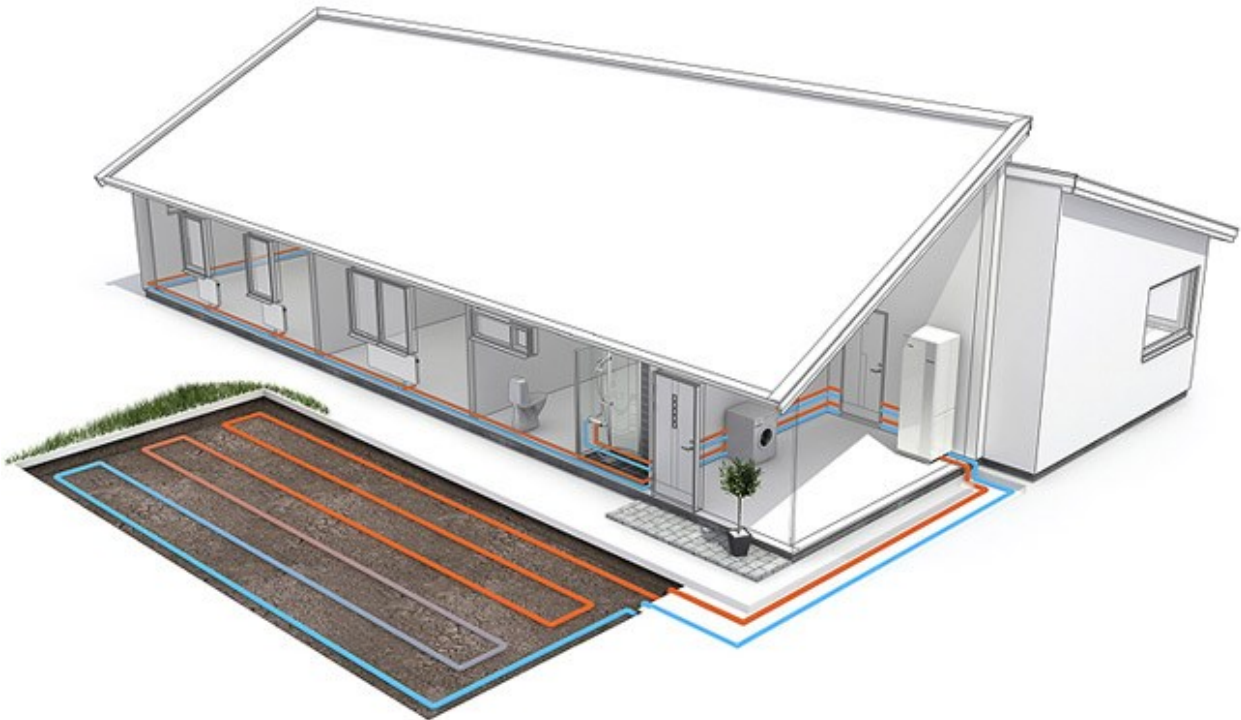
Soojuspumba liik	Keskkond, millest soojust ammutatakse	Primaarpoole energiakandja	Sekundaarpoole energiakandja	Märkused
Vesi-vesi	Maapind	Vedelik	Vesi	Nimetatakse ka maasoojuspumbaks
Vesi-vesi	Veekogu	Vedelik	Vesi	Nimetatakse ka vesisoojuspumbaks
Vesi-vesi	Veekogu	Veekogu vesi	Vesi	
Vesi-vesi	Põhjavesi	Põhjavesi	Vesi	
Õhk-õhk	Ventilatsiooni heitõhk	Õhk	Vedelik	Nimetatakse ka heitõhu soojuspumbaks
Õhk-vesi	Välisõhk	Õhk	Vedelik	
Õhk-õhk	Välisõhk	Õhk	Õhk	

Näiteks kui väliskeskkonnaks, millest soojust saadakse, on välisõhk ja soojuspump toodab põrandküttesüsteemi tarbeks soojuskandjat, vett, on tegemist õhk-vesi-tüüpi soojuspumbaga.



### 6.2.1.1. Maasoojuspumbad

Maasoojuspumbad ammutavad soojust maast. Selleks on maasse üldjuhul paigaldatud spetsiaalne torustik (nn kollektorid), milles voolab madala külmumistemperatuuriga vedelik. Torudes olev vedelik on maapinna temperatuurist madalama temperatuuriga ja seetõttu siirdub maas olev soojus soojusülekande teel läbi toru seina üle vedelikule. Eestis on valdavalt levinud horisontaalse paiknemisega kollektorid (Joonis 5.3). Üldjuhul valmistatakse kollektorid plasttorudest läbimõõduga 40 mm ja paigaldatakse ca 1 m sügavusele. Torustike vahekaugus on 1...1,2 m. Maapinnast saadav soojushulk ja võimsus sõltub maapinna soojustehnilistest parameetritest. **Ligikaudu arvestatakse, et 1 kW soojusvõimsuse tarbeks on vaja horisontaalse kollektori jaoks 60 – 90 m<sup>2</sup> maapinda.**



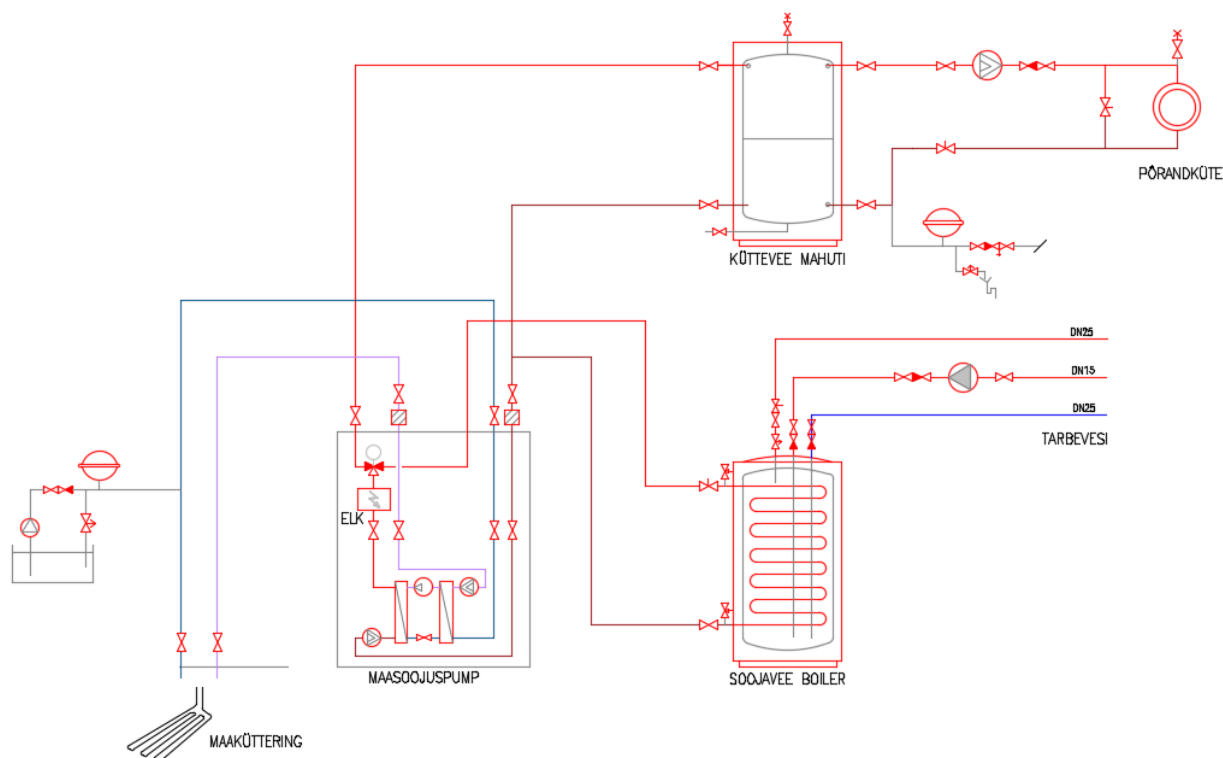
Joonis 6.3. Horisontaalse paigaldusega maasoojuspump ([www.nibe.ee](http://www.nibe.ee)).

Näiteks 5 kW võimsuse korral peab horisontaalse kollektori paigaldamiseks olema krundil vähemalt 300 – 450 m<sup>2</sup> vaba pinda. Kollektorit ei ole soovitatav paigaldada sademevett mitteläbilaskvate pindade (näiteks asfaltkattega pind) alla.

Horisontaalseid kollektoreid on võimalik paigaldada põhjani mittekülmuvatesse veekogudesse (näiteks järve). Sel juhul tuleb arvestada keskkonnakaitsetingimustega ja vältida kollektori vigastamise ohtusid (laevaankrud, sõukruvi poolt tekitatavad keerised jms). Merevee kasutamine väikeelamu soojuspumpade tarbeks on meie oludes üldjuhul ebareaalne.

#### **Põrandkütte korral on maasoojuspumba aasta keskmine soojustegur 3,5 ja sooja tarbevee valmistamiseks 2,5.**

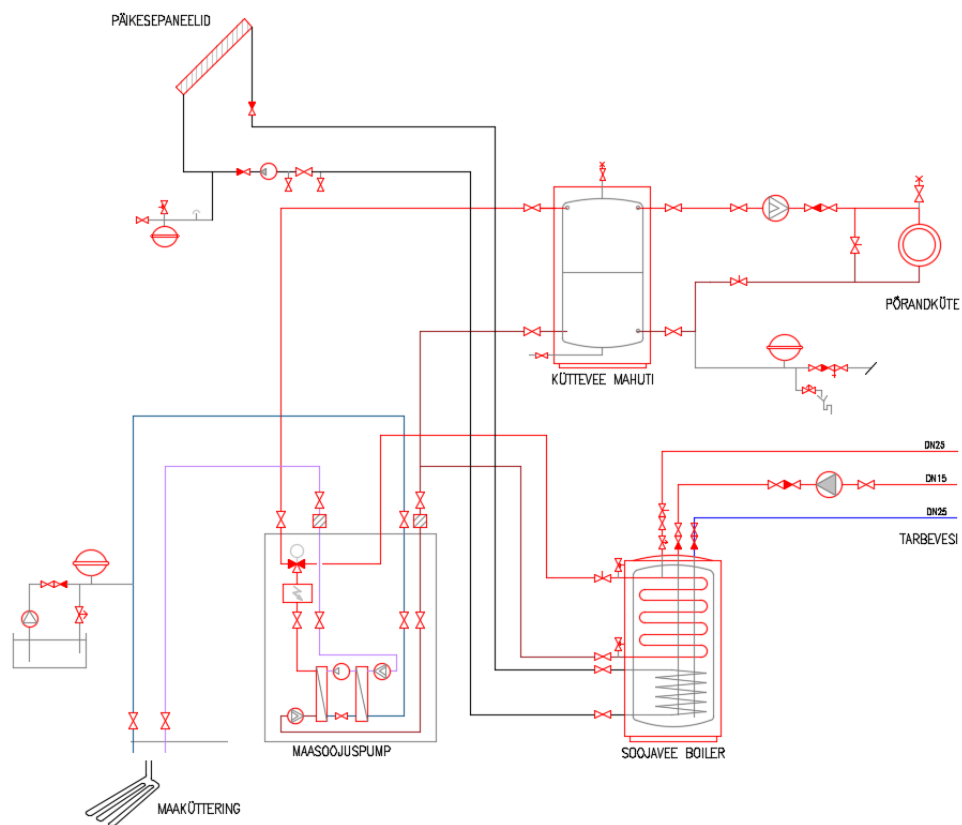
Tavapärane lahendus väikemaja soojuspumpsüsteemist on toodud skeemil nr 1 (Joonis 6.4). Hoone põhiliseks soojusallikaks on maasoojuspump, mis katab 100% hoone arvutuslikust küttevõimsusest. Soojuspumba automaatika juhib sõltuvalt välisõhu temperatuurist küttesüsteemi mineva vee temperatuuri. Kui soojavee boileris langeb tarbevee temperatuur ettenähtust madalamaks, tõstab soojuspumba automaatika soojuspumbast väljuva vee temperatuuri kõrgemaks ja suunab soojuskandja boileri soojendamiseks. Juhul kui võimsusvajadus on suurem arvutuslikust küttevõimsusest (rohke sooja vee kasutamise korral), annab lisasoojuse soojuspumba komplekti kuuluv elektersoojendi. Kui boileris on saavutatud ettenähtud veetemperatuur, alandab soojuspump soojuskandja temperatuuri küttesüsteemile vastavaks ja suunab soojuskandja küttesüsteemi.



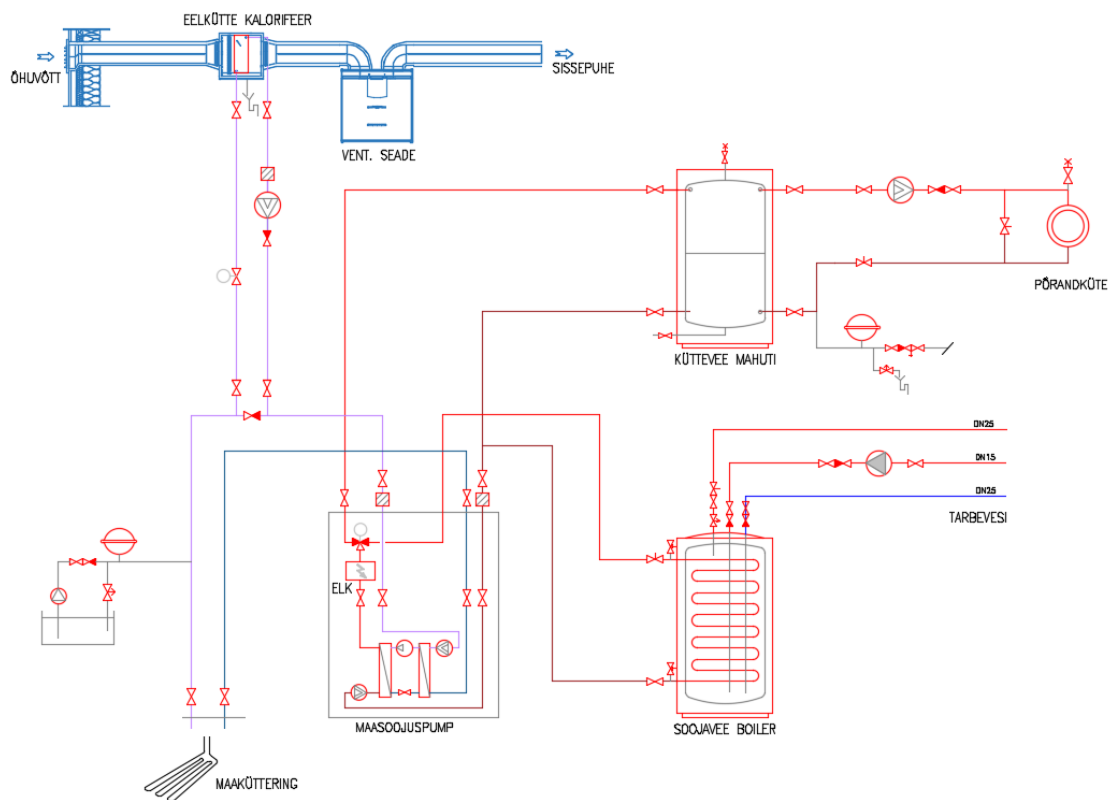
Joonis 6.4 Skeem nr 1: Maasoojuspump, tipuvõimsus elektriga. Küttevee mahuti vajadus sõltub küttesüsteemi veemahust ning põrandkütte korral tavaliselt mahutit ei vajata.

Skeemil nr 2 (Joonis 6.5) on toodud analoogne lahendus eelmisega, kuhu on lisatud päikesekollektorid, mis on ühendatud soojaveeboileriga. Kogu soojusvarustuse süsteemi tööd juhib soojuspumpaautomaatika. Juhul kui boileri alumises tsoonis on sooja tarbevee temperatuur madalam päikesekollektorist saadava soojuskandja temperatuurist, lülitub tööle päikesekollektori pump ja toimub boileri soojendamine päikeseenergiaga. Päikesekollektorid võimaldavad toota ca 50% sooja tarbevee vajadusest, kuid muudavad küttesüsteemi oluliselt keerukamaks ning kallimaks. Samuti ei saa päikesekollektoritega valmistada küttevett ruumide kütteks, sest tootangu ajal küttevajadus puudub. Selle tõttu on osad soojuspumpade tootjad loobunud päikesekollektorite juhtautomaatika pakkumisest ning viimasel ajal on hakatud päikesekollektoreid asendada päikesepaneelidega, mis toodavad elektrit ning on "ilma liikuvate osadeta" süsteemina oluliselt lihtsamad.

Skeemil nr 3 on toodud skeemiga nr 1 analoogne lahendus, kus maakollektorit kasutatakse talvel ventilatsiooniõhu eelsoojendamiseks ja suvel jahutamiseks (Joonis 6.6). Seda lahendust võib pidada üldise kõige efektiivsemaks küttesüsteemiks, sest talvel kasutatakse maakollektori taastuenergiat ventilatsiooniõhu eelsoojendamiseks, mille tõttu väheneb summaarne küttevõimsus ja ventilatsiooniseadme järelküttekalorifeeri energiakasutus. Tavapärase talvede puhul on võimalik, et madalama sissepuhkeõhu temperatuuri seade korral järelküttekalorifeer praktiliselt ei rakendu ning samaaegselt on soojuslik mugavus tagatud (eeldab hoolikalt projekteeritud õhujatust). Suvel hakkab eelkütte kalorifeer tööle jahutuskalorifeerina võimaldades tasuta jahutust ventilatsiooniõhuga (küll suhteliselt piiratud koguses) ning aidates vältida ruumide ülekuumenemist.



Joonis 6.5 Skeem nr 2: Maasoojuspump, tipuvõimsus elektriga + päikesekollektorid



Joonis 6.6. Skeem nr 3: Parim võimalik küttesüsteem, kus maasoojuspumba kollektorit kasutatakse ventilatsiooni eelkütteks ja jahutuseks.

### 6.2.1.2. Õhksoojuspumbad

Õhksoojuspumbad ammutavad soojust õhust, kas välisõhust või ventilatsiooni heitõhust. Liginullenergia väikeelamus on vaja väga tõhusat ventilatsiooni soojustagastust, mistõttu ventilatsiooni heitõhu temperatuur on suhteliselt madal ning heitõhust soojuste ammutamine soojuspumba tarbeks on üldjuhul ebaotstarbekas.

Välisõhu õhksoojuspumbad on kahte tüüpi (vt. Joonis 6.7). Esimese tüüpi korral peab välisõhus paiknema ventilaatoriga varustatud soojusvaheti, mis ammutab välisõhust soojuspumba tarbeks soojust. Välisosa asukoha valikul peab arvestama seadme poolt tekitatava võimaliku müra ja vibratsiooniga, seade peab olema hoolduseks hõlpsasti juurdepääsetav ning asukoha valikul peab samuti arvestama talvel katuselt variseva lume ning jääpurikatega, et need seadet ei vigastaks.



Joonis 6.7. Välisõhu õhk-vesi-tüüpi soojuspump (www.nibe.ee).



Joonis 6.8. Näited õhksoojuspumba välisosade paigaldusest.

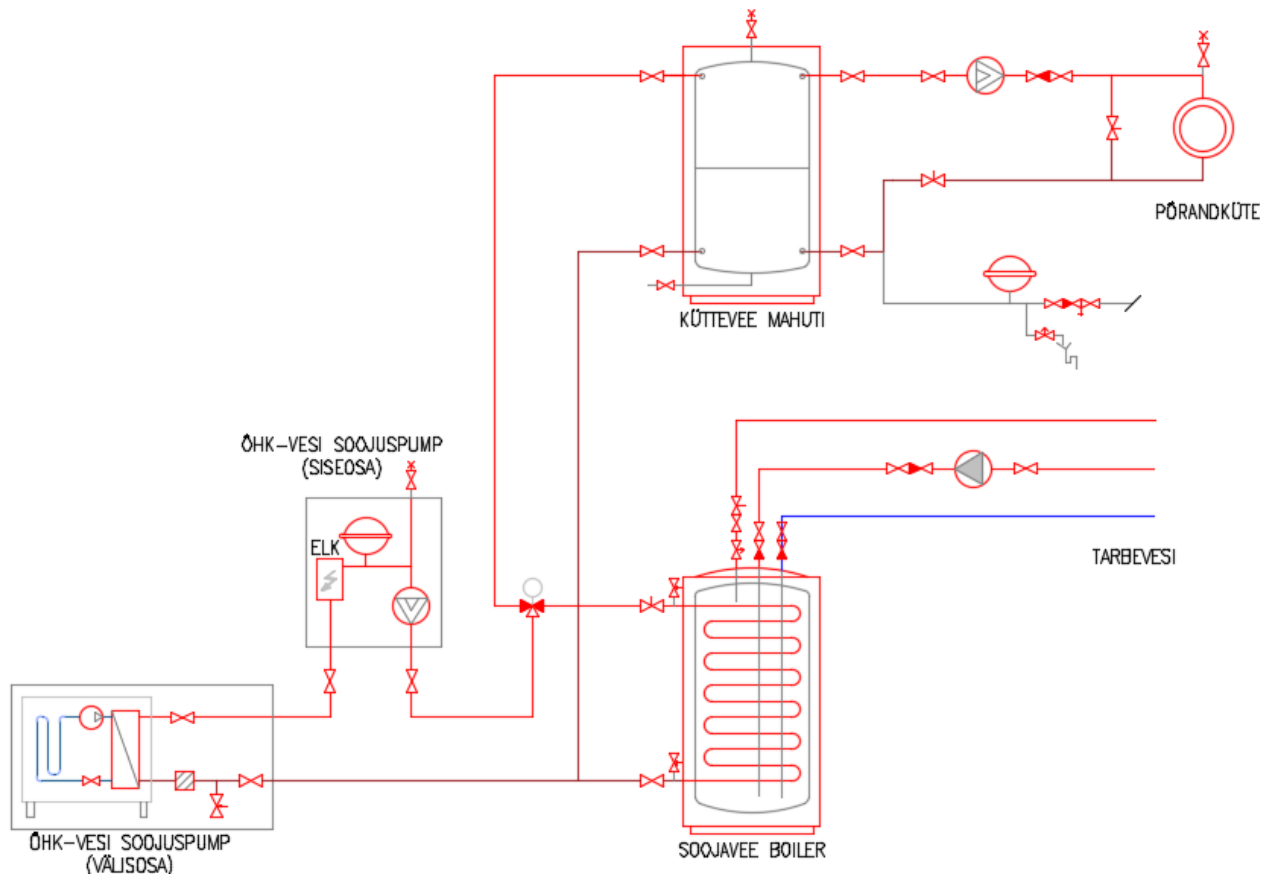
Kuna õhksoojuspumba välisosa ei vaja paigalduseks palju ruumi (väikeelamu korral ca 1m<sup>2</sup>), saab neid kasutada olukordades, kus krundil pole piisavalt vaba pinda maakollektorite paigaldamiseks.

Õhksoojuspumbad võivad olla nii õhk-õhk- kui ka õhk-vesi-tüüpi. Liginullenergia väikeelamutes eelistatakse õhk-vesi-tüüpi soojuspumpasid, mis valmistavad soojuskandjat, vett, mida saab kasutada sooja tarbevee valmistamiseks, kütteks ja ventilatsiooniõhu järelsoojendamiseks.

Õhk-õhk-tüüpi soojuspumba korral on ruumis soojusvahetiga puhurid, mis mingisugust muud küttesüsteemi täiendades puhuvad ruumi sooja õhku. Tänapäevaseid õhk-õhk-tüüpi soojuspumpasid saab kasutada suvel ruumide jahutamiseks.

Õhksoojuspumbast saadav küttevõimsus sõltub välisõhu temperatuurist, mida külmem on välisõhu temperatuur, seda väiksem on küttevõimsus ja soojustegur. Näiteks kui õhk-vesi-tüüpi soojuspump toodab soojust põrandküttele, on keskmine soojustegur välisõhu temperatuuril + 2 °C suurusjärgus 2,7 ja temperatuuril -7 °C 2,1 ning sooja tarbevee tootmiseks 2,0.

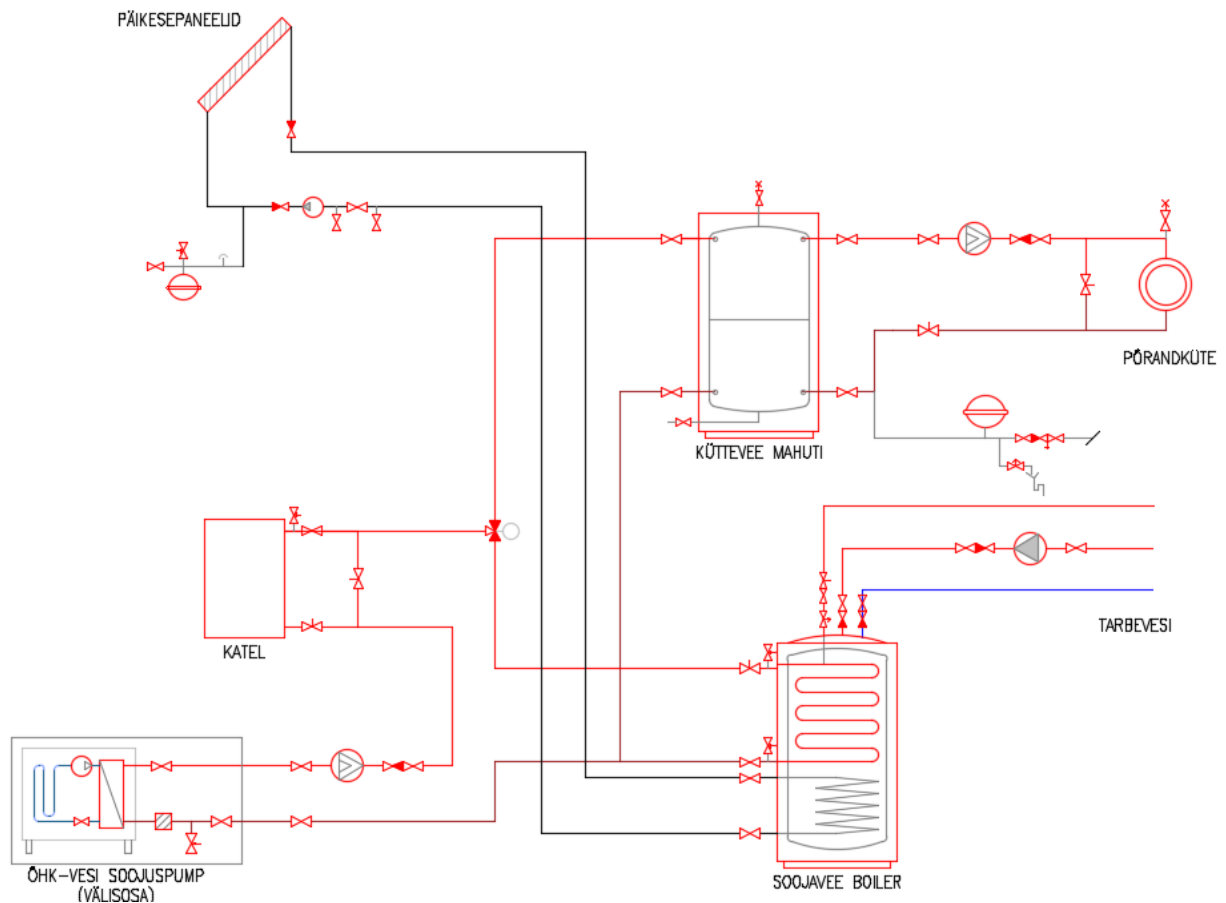
Tuleb arvestada, et väga madalate välisõhutemperatuuride korral ei pruugi õhksoojuspump korrektselt töötada ja seadme tootjad ei anna selliste temperatuuride korral garantiid. Olenevalt tootjast võib madalaim välisõhutemperatuur olla -15...-25 °C. Seetõttu on vaja õhksoojuspumba korral 100%st muu küttevõimsuse (näiteks elekterküte) olemasolu. Majanduslikult ei ole otstarbekas õhksoojuspumba valikul lähtuda arvutuslikust küttevõimsusest, vaid sellest väiksemast. Tavaliselt peaks õhksoojuspump suutma tagada vajaliku soojusvõimsuse kuni välisõhu temperatuurini -5...-15 °C. Sellest temperatuurivahemikust külmemate ilmade korral on alati vajalik lisaküte. Kui õhksoojuspump ei tööta välisõhu arvutuslikul temperatuuril (Tallinnas -21 °C ja Tartus -25 °C), siis peab õhksoojuspumbale dubleeriv küttesüsteem olema dimensioonitud toimimiseks ja hoone küttevajaduse 100% katmiseks arvutuslikul välisõhutemperatuuril. Õhk-vesi-soojuspumpadel on tavaliselt juba komplektis süsteemi võimsust dubleeriv elekterkütte element, mis katab hoone soojusvajaduse olukorras, kus soojuspump ei tööta.



Joonis 6.9. Skeem nr 3: Õhk-vesisoojuspump, tipuvõimsus elektriga.

Skeemil nr 3 (Joonis 6.9) on toodud üks võimalik soojusvarustuse lahendus õhk-vesi soojuspumba baasil. Süsteemi toimimispõhimõte on analoogne skeemiga 1. Erinevus on ainult soojuspumba tüübis. Hoone põhiliseks soojusallikaks on õhk-vesisoojuspump, mis katab ca 50-70% hoone arvutuslikust küttevõimsusest. Soojuspumba automaatika juhib sõltuvalt välisõhu temperatuurist

küttesüsteemi mineva vee temperatuuri. Juhul, kui soojuspumba kondensaatorist väljuva vee temperatuur on madalam vajalikust kütteeve temperatuurist, annab lisa-soojuse soojuspumba komplekti kuuluv elektersoojendi. Kui soojavee boileris langeb tarbevee temperatuur ettenähtust madalamaks, tõstab soojuspumba automaatika soojuspumbast väljuva vee temperatuuri kõrgemaks ja suunab soojuskandja boileri soojendamiseks. Kui boileris on saavutatud ettenähtud vee temperatuur, alandab soojuspump soojuskandja temperatuuri küttesüsteemile vastavaks ja suunab soojuskandja küttesüsteemi. Skeem 4 (Joonis 6.10) on analoogne skeemiga 3 (Joonis 6.9), lisandunud on päikesekollektorid.



Joonis 6.10. Skeem nr 4: Õhk-vesisoojuspump, tipuvõimsus elektrikatlaga + päikesekollektorid.

## 6.2.2. Keskküttekattlad

Üheks väikeelamu soojuse tootmise viisiks on keskküttekattel. Keskküttekattel peab paiknema spetsiaalses katlaruumis (väikeste katelde puhul pole vajalik). Suitsugaaside eemaldamiseks katla põlemiskoldest peab olema ehitatud korsten. Levinuimad väikeelamukütused on halupuit, puidupelletid ja gaas. Katla koldetüüp ja kasutegur sõltuvad kütusest. Halupuidu, ja pelletite korral on vaja lisaruumi/pinda kütuste hoiustamiseks.

Halupuit ja pelletid on taastuvad kütused ning nende puhul rakendatakse energiatõhususarvu määramisel kaalumistegurit 0,75, fossiilsetel kütustel (gaas, kergkütteeõli) kaalumistegurit 1.

Katla töö tõhusust iseloomustab kasutegur. Kogu kütuses sisalduvat soojust ei saa ära kasutada kasuliku soojuse tootmiseks – osa soojusest läheb paratamatult kadudeks (soojuskaod läbi katla

pindade, suitsugaasides sisalduv soojus jms). Katla kasutegur näitab, kui palju kütuses sisalduvast energiast muundatakse katlas kasulikuks soojuseks. Näiteks kui katla kasutegur on 0,85, siis põletatud kütuses sisalduvast energiast saadakse 85% soojust ja 15% läheb kadudeks. Mida suurem on katla kasutegur, seda tõhusam on katel. Tänapäeval võib katelde aasta keskmine kasutegur võib olla üle 0,9.

Üldjuhul sõltub katla kasutegur katla koormatusest. **Kui tegelik tarbitav soojusvõimsus on oluliselt väiksem katla nimivõimsusest, siis katla kasutegur langeb. Seda on vaja eriti arvestada liginullenergiahoonete korral.** Liginullenergiahoone arvutuslik soojusvõimsus on tavaliste hoonete omast oluliselt madalam ja sellele võimsusele vastava katla leidmisega võib tekkida raskusi. Arvutuslikust soojusvõimsusest oluliselt suurema katla paigaldamisel võib tegelik keskmine kasutegur osutuda seadme passis toodust väiksemaks.

Et saavutada väiksemat energiatõhususarvu, tuleks eelistada katlaid, kus saab kasutada taastuvaid kütuseid, ja kondensaatkatlaid.

### 6.2.3. Küttesüsteemid

Liginullenergiahoones on oluline, et iga ruumi temperatuuri oleks võimalik reguleerida eraldi ja hoida soovitud temperatuuri automaatselt nn termostaadi abil. Ainult selline lahendusviis võimaldab maksimaalselt ära kasutada vabasoojust ja vältida ruumide ülekütmist.

#### 6.2.3.1. Radiaatorküte

Radiaatorkütteks saab tinglikult nimetada keskküttesüsteemi, kus soojuskandjaks on vesi ja ruumidesse loovutatakse soojust küttekehadega ehk nn. radiaatoritega. **Kui soojusallikaks on soojuspump, siis ei tohiks soojuskandja arvutuslik pealevoolu temperatuur olla üle 40...45 °C.** Kondensaatkatelde kasutegur on seda suurem, mida madalam on küttesüsteemist tagastuva soojuskandja temperatuur. Soovitavalt võiks see arvutuslikel tingimustel olla alla 50 °C.

Radiaatori parim võimalik asukoht hea soojusliku mugavuse tagamiseks on akna all. Liginullenergiahoonetes, kus akna soojusläbivus ( $U$ ) on väiksem kui  $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , võib teatud juhtudel radiaatori paigutada ka mujale, näiteks siseseinale.

Energiatõhususarvu määramisel võetakse radiaatorküttesüsteemi kasuteguriks 0,97.

#### 6.2.3.2. Põrandküte

Põrandküte korral on põrandapinna temperatuur kõrgem ruumiõhu temperatuurist ja tänu sellele toimub ruumide kütmine. Põranda konstruktsioonis paiknevad torustikud, milles voolab soojuskandja, vesi. Liginullenergiahoonetes on väikesed soojuskaod, mille tõttu põrandad ei ole enam põrandküte korral tuntavalt soojad, sest põrandapinnatemperatuur on ainult mõne kraadi võrra õhutemperatuurist kõrgem. Selle tõttu tuleb elu- ja magamistubades vältida suure soojusjuhtivusega põrandakattematerjale (keraamilised plaadid, betoon), sest muidu tunduksid põrandad ebameeldivalt külmana.

Tavaline soojuskandja pealevoolu temperatuur on 35 °C, mille tõttu sobib põrandakütte soojusallikaks väga hästi soojuspump.

On olemas ka elekterpõrandküte, kus torustike asemel on põrandas elektrikaablid, kuid liginullenergiahoonetes elekterkütet ei kasutata, sest sellega ei ole võimalik täita energiatõhususarvu nõuet.

Põrandakütte kasutegurina kasutatakse energiaarvutustes:

- plaat pinnasel või alttuulutav põrand 0,85

- vahelaes 1,00

### 6.2.3.3. Õhkküte

Põhimõtteliselt on võimalik ruume kütta, kui sinna puhuda ruumiõhust kõrgema temperatuuriga õhku. Sel juhul on tegemist õhkküttega. Õhkküte on seotud väikeelamu ventilatsiooniga ja ruumidesse puhutakse ventilatsiooniõhku, mida on täiendavalt soojendatud. Soovituslikult ei tohi sissepuhkeõhu temperatuur olla kunagi kõrgem kui 40...50 °C.

Liginullenergiahoonetes on soojuskaod väikesed, mis loob eeldusi õhkkütte kasutamiseks. Soojusliku mugavuse tagav ning energiatõhus õhkküte on siiski väga keeruka tehnilise teostusega ning erineb olulisel määral tavapärasest ventilatsioonisüsteemist. Õhkkütte korral tuleb kasutada sissepuhket põrandast akende alt, suurendada osades ruumides õhuvooluhulkasid ning varustada süsteem mitmete küttevõega järelküttekalorifeeridega, mis võimaldaksid erinevatesse ruumidesse puhuda erineva temperatuuriga õhku. Selline süsteem on oluliselt keerulisem muudest küttesüsteemidest ning ei ole Eesti tingimustes kasutatud leidnud.

Õhkkütte korral on oluline jälgida, et sõltumata sissepuhkeõhu temperatuurist oleks tagatud ruumide õhuvahetuse tõhusus, st et värske õhk jõuaks inimeste viibimise tsooni. Õhkküttesüsteem peaks võimaldama reguleerida ruumiõhu temperatuuri ruumide kaupa. See eeldab, et sissepuhkesüsteemil on iga ruumi tarbeks järelsoojenduskalorifeer ja seda juhtiv automaatika. Õhkkütte kasuteguriks võetakse 1,0.

### 6.2.4. Küttesüsteemi ringluspumba elektritarve

Liginullenergiahoonetes kasutakse hea kasuteguriga sagedusmuunduriga pumпасid, mida juhitakse hoone soojuskasutuse järgi. Ringluspumba elektrikasutus on suhteliselt väike ning energiaarvutustes võetakse ringluspumba elektrikasutuse energiatõhususarvu komponendiks 1 või 2 kWh/(m<sup>2</sup>·a) vastavalt tabelile 6.6.

Tabel 6.6 Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurid ning abiseadmete elektritarbimine

Hoone tüüp	Kütteviis	Kasutegur	Veeküttesüsteemi ringluspumba elektritarbimine <sup>1</sup> , kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Väikeelamu	Radiaator	0,97	1
	Põrandküte, plaat pinnasel või alt tuulutatav põrand	0,85	2
	Põrandküte vahelaes	1,0	2
	Laeküte katuslaes	0,90	2
	Laeküte vahelaes	1,0	2

<sup>1</sup> elektritarbimine köetava pinna 1 m<sup>2</sup> kohta, elektriradiaatorile, -kaablile ja elektrilisele laeküttele ning soojuspumpsüsteemile 0 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

## 6.1. AUTOMAATIKA JA MONITOORING

Hoone toimivuse monitooring eeldab erinevate energiatarbijate eraldi mõõtmist, milleks on küte, soe tarbevesi ning valgustus ja elektriseadmed. Kuluarvestid peavad võimaldama jälgida ka tehnosüsteemide kriitiliste komponentide efektiivsust, näiteks soojuspumba soojustegurit ja elektrilise eelküttekalorifeeriga varustatud ventilatsiooniseadme elektritarbimist.



Selle jaoks paigaldatakse vajalik arv energiaarvesteid soojuse ja elektri mõõtmiseks ning projekteeritakse hoone elektrisüsteem seda võimaldaval viisil. Väikeelamutes tuleb eraldi mõõta järgmisi kulukomponente:

- ruumide kütte ja ventilatsiooniõhu soojendamise soojusenergia,
- soe tarbevesi,
- valgustus- ja elektriseadmete elekter,
- PV paneelide elektritoodang.

Soojuspumbaga hoones peab soojuspump olema varustatud **eraldi soojus- ja elektriarvestiga**. Tavaliselt kasutatakse soojusarvestiga soojuspumba mudelit ning elektriarvesti paigaldatakse elektrisüsteemi. Juhul kui ventilatsioonisedmed on varustatud elektriliste eelküttekalorifeeridega, peab ventilatsiooniseadmetele paigaldama **eraldi elektriarvesti**, et oleks võimalik jälgida võimalikke probleeme eelküttekalorifeeridega.

Tehnosüsteemid peavad olema varustatud vajaliku juhtimisautomaatikaga ning otstarbekas on valida seadmed, kus vajalik automaatika sisaldub soojusallikate ning ventilatsiooniseadmete tarne kompleksuses. Juhul kui soovitakse kõik hoone seadmed ühendada ühtsesse juhtimis- ja jälgimissüsteemi, siis see lahendatakse eraldi automaatika projektis. Päikesepaneelide automaatika vajalikud nõuded ja tingimused on kajastatud liitumise tehnilistes tingimustes.

## 7. LOKAALNE TAASTUVENERGIA

### 7.1. PÄIKESEENERGIA KASUTAMINE

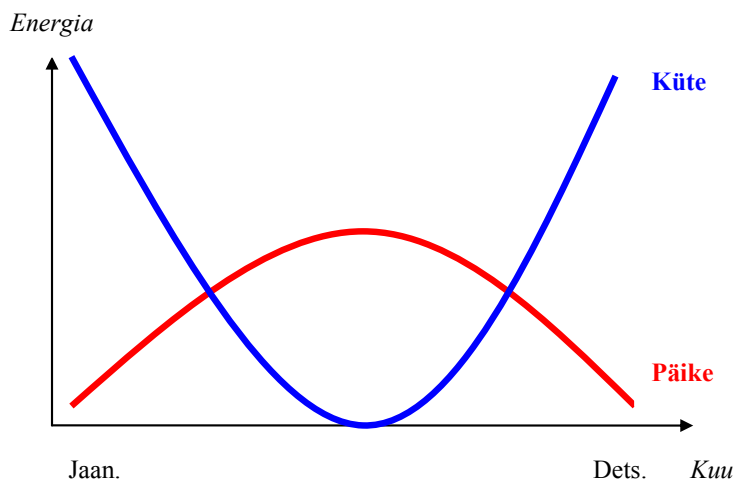
Päike on kiiruslik soojusallikas, mille energiat saab väikeelamus kasutada kolmel põhimõttel:

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

#### 7.1.1. Päikesekollektorid

Soojust tootvad päikesekollektorid jagunevad lame- ja vaakumkolektoriteks. Väikeelamute soojusvarustuseks võib kasutada mõlemat tüüpi kollektoreid.

Võrreldes tavahoonega on liginullenergia elamutes kütteperiood oluliselt lühem, st. kütteperiood algab hiljem ja lõpeb varem. Väikeelamu küttevajadus ja kollektorile tulev päikesekiirus on aasta arvestuses vastasfaasis. Talvel on soojusvajadus suur, aga päikesekiirgust vähe, suvel vastupidi (Joonis 7.1).



Joonis 7.1 Päikeselt saadav energia ja väikeelamu küttevõimsus on aasta arvestuses vastasfaasis.

Seetõttu ei saa Eesti kliimas kasutada päikesekollektoreid väikeelamu kütteallikana. Päikesekollektorid sobivad väikeelamu sooja tarbevee valmistamiseks. Aastasest tarbevee soojusest võib õigesti ja optimaalselt paigaldatud süsteemiga (päikesekollektorid ja sooja vee salvestuspaak) katta ligikaudu 50%.

Päikesekollektorist saadav soojus ei ole pidevalt ühtlane, vaid ajas muutuv suurus ja sõltub põhiliselt atmosfääri pilvisusest, aastaajast ning kellaajast, kuid ei ole sõltuvuses hoone soojuse kasutusest. Sooja vett võib minna vaja ka näiteks pimedal ajal. Seetõttu on päikesekollektorite süsteemis vaja sooja vee salvestuspaaki, mis salvestab saadavat energiat. Süsteemi tõhustamiseks kasutatakse tänapäeval nn kihtide kaupa laaditavaid salvestuspaake. Kollektorite ja salvestuspaagi vahel tsirkuleeriv vedelik peab olema külmumiskindel.

Päikesekollektorid paigaldatakse üldjuhul hoone katusele. Asukoha valikul tuleks arvestada järgmiste asjaoludega:

- kollektorite pinnale ei tohi ka talvekuudel tekkida naaberhoonetest, puudest, väikeelamu konstruktsioonidest jms varjusid;

- selleks et tagada meie oludes kollektorite efektiivsus, tuleb need suunata lõunasse (soovitav kõrvalekalle mitte üle  $\pm 15^\circ$ ) ja maapinna suhtes nurgaga 40...45°.

Kui neid tingimusi eiratakse, väheneb päikesekollektori tõhusus ja päikeselt saadav soojushulk.

Päikesekollektorite kavandamisel väikeelamu sooja tarbevee saamiseks võib lähtuda järgmistest ligikaudsetest näitajatest:

- ühe elaniku kohta on vaja 1,5–2 m<sup>2</sup> päikesekollektori pindala;
- ühe elaniku kohta on vaja ca 80–100 l akumulatsioonipaagi mahtu.

Näiteks nelja inimese väikeelamu sooja vee tarbeks oleks vaja õigesti paigaldatud kollektorit ligikaudu 6...8 m<sup>2</sup> ja akumulatsioonipaagi maht peaks olema  $\approx 320$ –400 l.

Päikesekollektorite kavandamisel tuleb vältida olukorda, kus sooja vee kasutuse puudumisel (näiteks elanikud ei viibi kodus) hakkab suvel vedelik kollektorites keema. Väikeelamutes, kus soojusallikateks on nii maasoojuspump kui ka päikesekollektorid, on otstarbekas päikesekollektorite toodetud suvine liigsoojus juhtida soojuspumba maakollektoritesse. Sellega soojendatakse täiendavalt maapinda, mis omakorda suurendab soojuspumba soojustegurit.

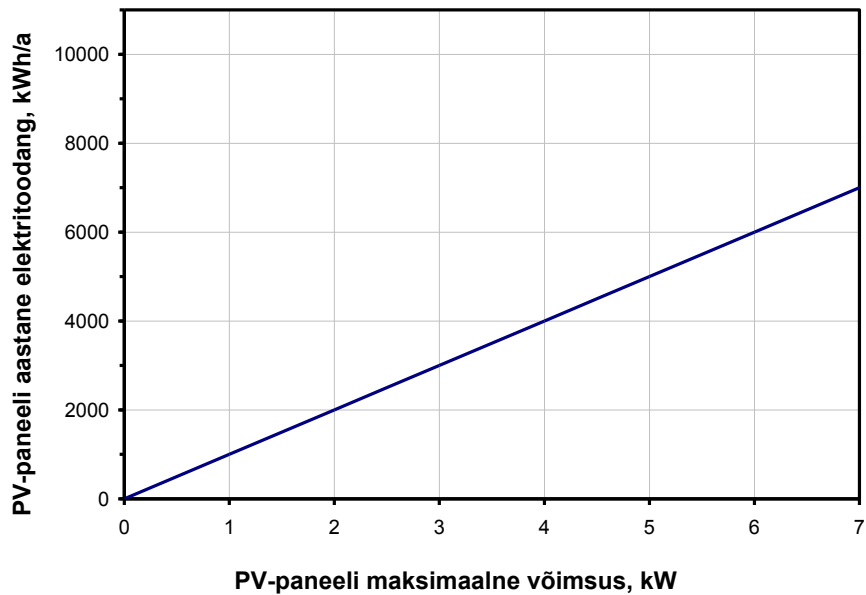
Kokkuvõtlikult on päikesekollektorite kasutamine väikeelamu üks kõige keerukamaid ja suhteliselt kallimaid tehnilisi lahendusi. Selle tõttu kasutatakse tihti järgnevalt kirjeldatud päikesepaneele.



Joonis 7.2. Näited päikesekollektorite paigaldusest katusel: vaakumkollektorid (vasakul) ja lamekollektorid (paremal).

### 7.1.2. Päikesepaneelid (PV-paneelid)

Elektrit saab toota päikesepaneelidega, mida sageli nimetatakse PV-paneelideks (lühend PV ingliskeelsest terminist *photovoltaic*). PV-paneelide kasutegur, mis näitab, mitu protsenti paneeli pinnale langenud päikesekiirgusest muundatakse elektriks, on **15...20%**. Ühest ruutmeetrist paneeli pinnast on ideaaltingimustel (selge külm ilm ja päikesekiired on risti paneeli pinnaga) võimalik saada elektrit kuni 150 W. Õige orientatsiooniga paigaldatud paneeli üheruutmeetrisest pindalast saab Eesti oludes elektrit suurusjärgus **100–150 kWh** elektrit aastas. Ligikaudsetes arvutustes võib lähtuda Joonis 7.3 esitatud graafikust.

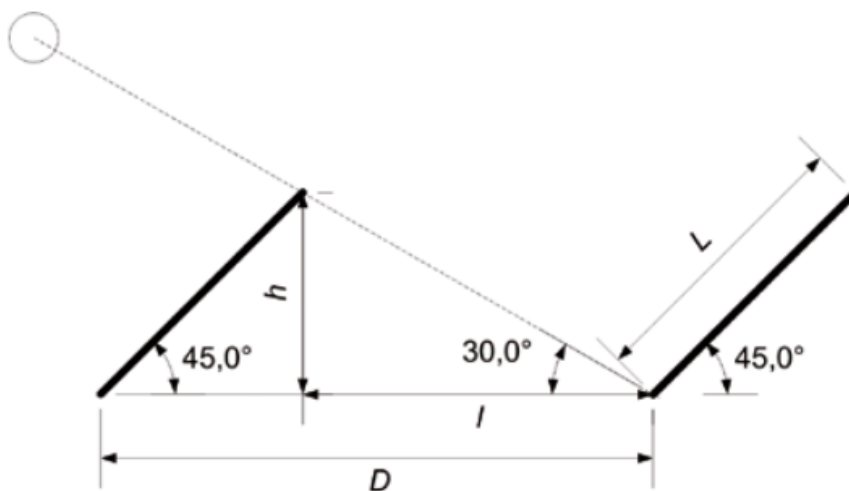


Joonis 7.3. Päikese-elektrisüsteemi ligikaudne aastane elektritoodang paneelide nominaalse võimsuse järgi ilma varjustuseta, lõunapoolse orientatsiooniga kaldenurgaga 40°.

Juhul kui päikesepaneeli ei paigaldata katusele, tuleb asukoha valikul ja paigaldamisel lähtuda samadest põhimõtetest nagu päikesekollektorite puhul, kusjuures soovituslik paigaldusnurk maapinna suhtes on 40°. Tegelikult pole aastases toodangus märkimisväärset vahet, kui paneelide kaldenurk jääb vahemikku 25–55° või paneelide orientatsioon lõuna ilmakaare suhtes on ±30°.

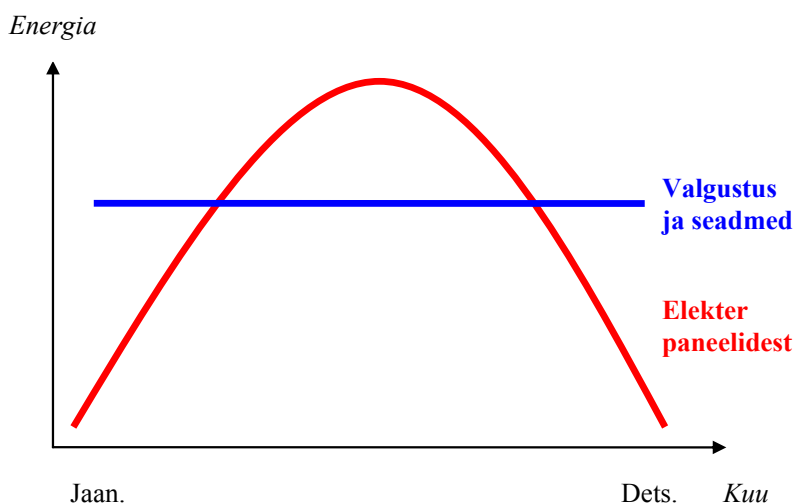
Kogu aastases horisontaalsele pinnale langevast päikesekiirgusest umbes 85% langeb suveperioodi, s.o aprillist septembrini. Seepärast tuleks paneelide vahekauguste planeerimisel arvestada sellega, et suveperioodi jääva halvima kiirgusega kuus ehk septembris on päikese kõrgus horisondist umbes 30°. See tähendab, et varju pikkus  $l$  on umbes 1,75-kordne varjutava objekti kõrgus  $h$ . Lubatav vahemik  $l = (1,75 - 1,8) \times h$  (Joonis 7.4). Katusepind on optimaalseimalt kasutatud, kui paneelid paigaldatakse kaldega 30°.

Teine oluline analüüsi osa on PV-paneelide asimuut ehk suund lõuna suhtes ja sellest sõltuv kiirgus 30-kraadise kaldega PV-paneelidele.



Joonis 7.4. PV-paneelide kaldenurk

Tuleb arvestada, et PV-paneelid toodavad suvel oluliselt rohkem elektrit kui talvel, mistõttu talvel ei piisa paneelide toodetud energiast ja suvel toodetakse elektrit oluliselt rohkem kui tarbitakse (Joonis 7.5).



Joonis 7.5. Väikeelamu elektrikasutus standardtingimustel on kuude arvestuses praktiliselt muutumatu, paneelid toodavad suvel väikeelamu kasutusest rohkem, talvel vähem

Tabel 7.1 on toodud hoone katusele paigaldatud päikese-elektrisüsteemi orienteeruv aastane elektrienergia tootlus Eesti tingimustes. Tabelist on näha, kui palju 1kW nominaalvõimsusega erineva kaldega viilkatusele paigaldatud varjudeta päikese-elektrisüsteem ühe aasta jooksul keskmiselt elektrienergiat toodab. Hinnangulise katuse pindala vajaduse määramiseks võib arvestada, et 1 kW päikesepaneelide jaoks on tarvis umbes 6,5–8 m<sup>2</sup>.

Tabel 7.1. Päikese-elektrisüsteemi hinnanguline aastane eritootlus Eestis (<http://roofit.solar>)

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

Üheks alternatiiviks katusele paigaldatavatele PV-paneelidele on katuse konstruktsiooni integreeritud päikesepaneelid. Sel juhul ei ole tarvis katusekatet ja päikesepaneeli eraldi paigaldada. Väljanägemiselt ei erine integreeritud paneelid tavalistest katuseelementidest. Seetõttu sobivad need paigaldamiseks ka näiteks miljöövärtuslikes piirkondades kavandatavatele ja olemasolevatele hoonetele (Joonis 7.6).



Joonis 7.6. Elektrit tootev valtsplekk-katus (<http://roofit.solar>).

Päikesepaneelid toodavad alalisvoolu. Seetõttu on võrguga ühendamiseks tarvis DC/AC muundurit ehk inverterit. Inverter teeb alalisvoolust vahelduvvoolu ning tagab ühenduse turvalisuse. Inverteri nominaalne võimsus sõltub päikesepaneelide nominaalsest võimsusest ning katuse suunast. Inverteri ja päikesepaneelide nominaalsete võimsuste soovituslik suhe on toodud (Tabel 7.2). Näiteks kui lõunapoolse katuse kaldenurk on 45 kraadi ning päikesepaneelide nominaalne võimsus on 5 kW, siis soovituslik inverteri nominaalne võimsus on 5 kW/1,3 ehk 3,85 kW. Tabelis toodud suhtarvud on soovituslikud ning alati tuleb silmas pidada konkreetse inverteri spetsifikatsioone.

Tabel 7.2. Päikesepaneelide ning inverteri nominaalsete võimsuste soovituslik suhe Eestis

Kaldenurk	Ida	Kagu	Lõuna	Edel	Lääs
0°	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
15°	1.6	1.5	1.5	1.5	1.6
30°	1.6	1.4	1.4	1.4	1.6
45°	1.5	1.3	1.3	1.3	1.5
60°	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5
75°	1.6	1.4	1.3	1.4	1.6
90°	1.6	1.4	1.4	1.4	1.6

Ühtlustamiseks paneelide abil saadud elektritoodangut ja väikeelamu tegelikku elektrikasutust, on vaja toodetud elektrit salvestada akudesse või muuta vahelduvvooluks ja müüa seda elektrivõrku. Enne PV-paneelide kavandamist tuleb küsida elektrivõrgu ettevõttelt liitumise tehnilised tingimused, kust selguvad elektri võrku tagasiandmise ning müümise võimalused ja tehnilised lahendused. Mõningatel juhtudel võib võrku andmine osutuda võimatuks.

Toodangu hindamiseks on võimalik kasutada asukoha ja kasutatava PV-paneelide põhise veebirakendust <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>.

Päikese-elektrisüsteemi tootluse määramisel tuleb kindlasti arvestada nt hooneosade, naaberhoonete ja puude varjudega, paneeli mustumisest tuleneva toodangu vähenemisega, süsteemi kadudega jms, mistõttu on süsteemi kavandamisel mõistlik konsulteerida vastava spetsialistiga.

## 8. TARINDITE KULUEFEKTIIVSUS

Tehniliste lahenduste kuluefektiivsuse hindamisel on energiasimulatsioonide ja maksumuse arvutuste tegemisel lähtutud valitud näidishoonetest. Väikeelamute arvutuste aluseks on valitud kaks eramut, mille tehnilised näitajad on toodud Tabel 8.1:

Tabel 8.1 Hoonete tehnilised näitajad

	Üksikelamu 120 m <sup>2</sup>	Üksikelamu 180 m <sup>2</sup>
Ehitisealune pindala (m <sup>2</sup> )	167	179
Maapealse osa korruste arv	1	2
Maa-aluste korruste arv	0	0
Kõrgus (m)	6.7	7
Pikkus (m)	14.2	19.9
Laius (m)	9.6	12.8
Suletud netopindala (m <sup>2</sup> )	101.1	190.3
Kõetav pindala (m <sup>2</sup> )	101.1	160
Maht (m <sup>3</sup> )	400	1252
Üldkasutatav pindala (m <sup>2</sup> )		
Tehnoruumide pindala (m <sup>2</sup> )	22.1	
Eluruumide pindala (m <sup>2</sup> )	79.1	160.8
Kokku eluruume	4	4

*Üksikelamu (puitkonstruktsioonis üksikelamu üldpinnaga kuni 120 m<sup>2</sup>)*

Valitud hoone on ühekorruseline. Hoone on ristkülikukujulise põhiplaaniga. Hoone kandev osa on puitkonstruktsioonis. Hoone välisseinad on soojustatud puitsõrestikseinad, mis on väljast kaetud laudisega, siseseinad puitkarkass-seinad on kaetud kipsplaadiga.

*Üksikelamu (kivikonstruktsioonis üksikelamu üldpinnaga kuni 180 m<sup>2</sup>)*

Valitud hoone on kahekorruseline. Hoone on ristkülikukujulise põhiplaaniga. Hoone kandev osa on kivikonstruktsioonis ja vahelaed raudbetoonelementidest. Hoone välisseinad on väljast soojustatud betoonplokkseinad, siseseinad metallkarkassil kipsplaadist.

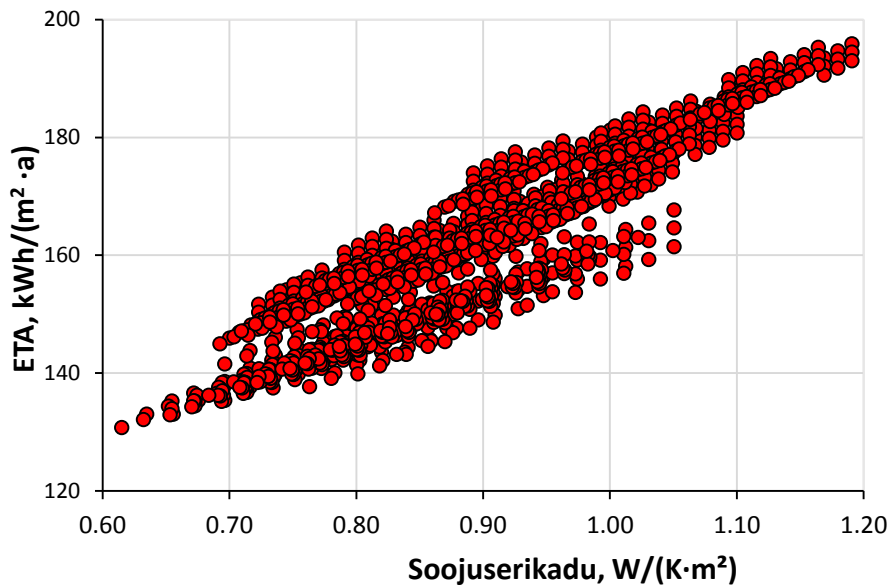
Kõikide hoonete kohta koostati ruumipõhine simulatsioonimudel. Mudelid koostati vastavalt iga hoone arhitektuursetele alustele, vaadetele ning lõigetele. Avatäidete ja välispiirete lahendused valiti vastavalt hoone projektile.

Esiteks koostati simulatsioonimudelid hindamiseks hoone üksikute välispiirde komponentide mõju hoone energiatarbimisele. Esimestes energiasimulatsioonides muudeti ainult ühte komponenti ja tulemust võrreldi esialgse hoone energiatarbimisega. Üksikute muudetavate komponentide muutujaks oli vastava tarindi osa soojuslähivus. Lisaks soojuslähivusele hinnati ka hoone õhupidavuse mõju. Simulatsioonimudelites kasutatud erinevate tarindilahenduste soojuslähivused ja õhulekkearvud olid järgmised:

- välisseina lahendused  $U$  [W/(m<sup>2</sup>·K)]: 0.16, 0.14, 0.12, 0.10;
- katuslae lahendused  $U$  [W/(m<sup>2</sup>·K)]: 0.12, 0.10, 0.08;
- põranda lahendused  $U$  [W/(m<sup>2</sup>·K)]: 0.18, 0.14, 0.10;
- avatäidete lahendused  $U$  [W/(m<sup>2</sup>·K)]: 1.1, 0.9, 0.7;
- õhulekkearv  $q_{50}$  [m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>]: 6.0, 3.0, 1.5, 1.0.

Peale üksikute komponentide mõju hindamist hoone energiatarbimisele arvutati energiatõhususarv kõikidele kombinatsioonidele, kombineerides tarindilahenduste soojuslähivusi ja õhuleket.

Arvutatud energiatõhususarvu ja hoone välispiirete soojuserikadu köetava pinna ruutmeetri kohta on esitatud Joonis 8.1. Energiatõhususarvu ja hoone välispiirete soojuserikao vaheline seos on kirjeldatav peaaegu lineaarse sõltuvusena ehk mida paremad tarindid, seda väiksem energiatõhususarv.



Joonis 8.1. Soojuserikao ja energiatõhususarvu (ETA soojusallikas gaasikatel) vaheline seos

Energiatõhususe saavutamise üks aluseid on ka energiasäästumeetmete tasuvuse hindamine. Eesmärk on, et energiavajaduse vähendamiseks kasutatud vahendite kulu oleks tasakaalus energiasäästuga. Üheks võimaluseks hinnata erinevate tarindilahenduste kuluefektiivsust on nüüdisväärtuse arvutamise meetod. Nüüdisväärtuse meetod lähtub sellest, et kõik investeeringuga kaasnevad kulud ja tulud võetakse arvesse, diskonteeritakse investeeringu teostamise ajahetkele ja võrreldakse investeeringu maksumusega. Diskonteerimisel kasutatakse arvutuslikku intressimäära ja suhtelist hinnatõusu arvutusperioodi pikkuse ajal. Tasuvuse kriteeriumiks on, et investeeringu majandusliku eluea vältel saadud ja diskonteeritud puhastulu on suurem kui investeering.

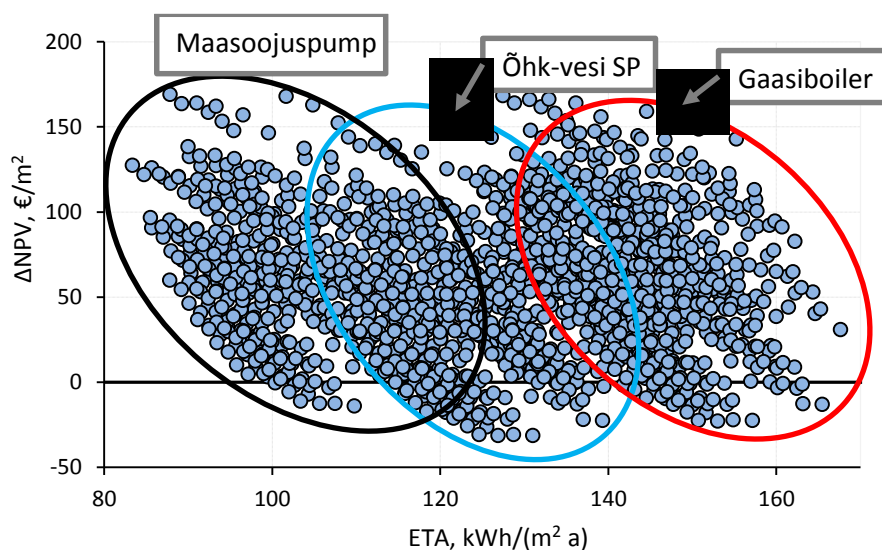
Arvutuste käigus hinnati liginullenergiahoone nõude täitmiseks vajalike tarindilahenduste ja taastuenergia lahendustega seotud lisamaksumuse kuluefektiivsust. Lähtuvalt hoonete kasutusotstarbest (eluhooned) on kuluefektiivsuse arvutusperioodiks valitud 30 aastat. Diskonteerimisel on lähtutud reaaltressist 2.5%, mis vastab tulumäärale 3.5%, kui inflatsioon on 1%. Arvutusperioodi energiahindade reaaleskalatsiooniks on arvestatud 1% aastas.

Alghetke energiakandjate ostuhinnaks on arvestatud järgmiste käibemaksuga hindadega:

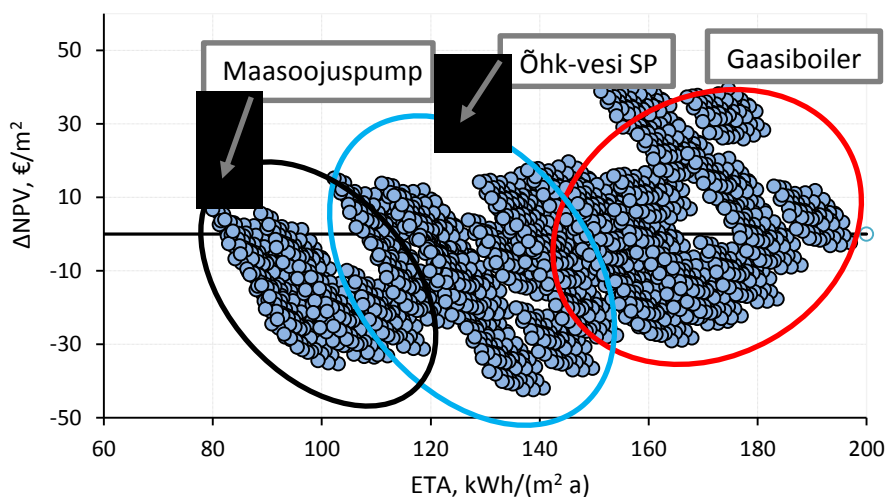
- elekter  $0,1265 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ;
- gaas  $0,048 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ;
- elektri tagasimüügi hind (PV-paneelid)  $0,035 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ .

Erinevate tarindilahenduste ja akende maksumuste aluseks oli ehitajalt saadud hinnakalkulatsioon.





Joonis 8.2 Väiksema eramu energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut ( $\Delta NPV$ ) erinevatele tarindilahenduste ja soojusallikate kombinatsioonidele. Reaalintress 2,5%. (elamu 120m<sup>2</sup>).

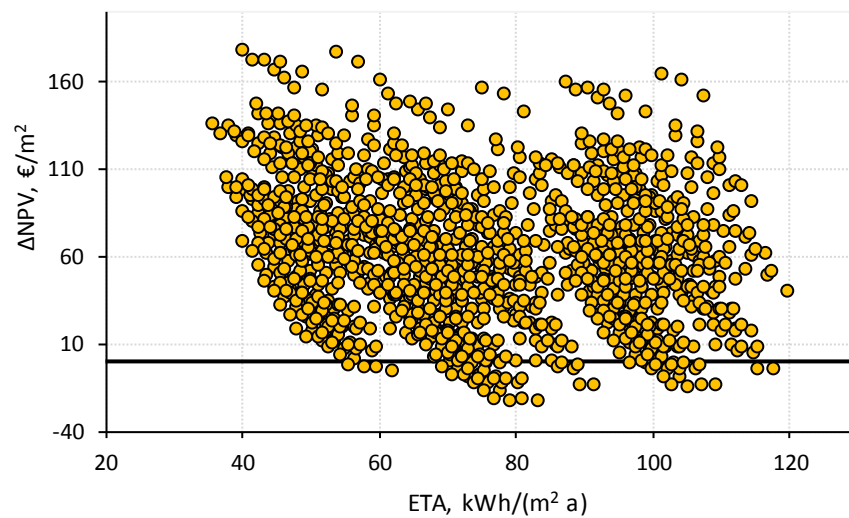


Joonis 8.3 Suurema eramu energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut ( $\Delta NPV$ ) erinevatele tarindilahenduste ja soojusallikate kombinatsioonidele. Reaalintress 2,5%. (elamu 200m<sup>2</sup>).

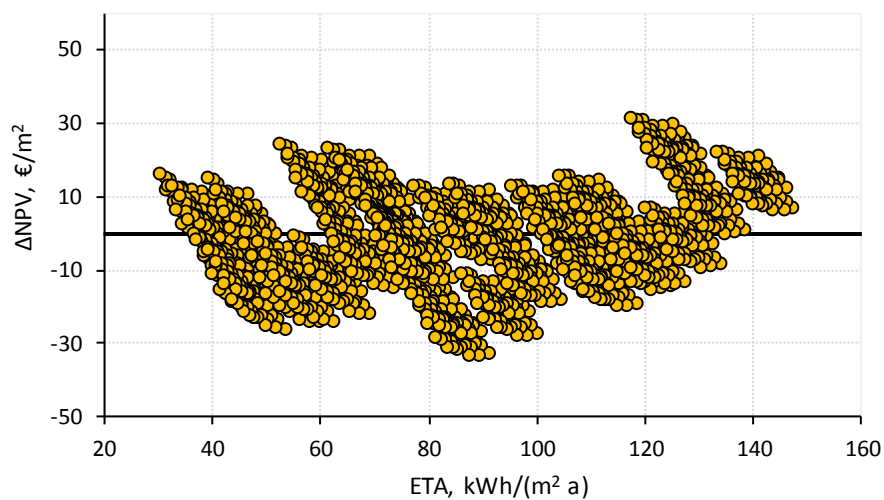
Võttes arvesse tarindite parendamiseks tehtavat lisainvesteeringut ja sellega saavutatavat kütteenergiäsäästu, on võimalik leida, millise energiatõhususarvu saavutamiseks tehtavad kulutused on veel kuluefektiivsed. Joonis 8.2 on kajastatud väiksema eramu (elamu 120 m<sup>2</sup>) ja Joonis 8.3 suurema eramu (elamu 200 m<sup>2</sup>) kuluefektiivsuse arvutuste tulemusi. Iga punkt graafikul kajastab ühte tarindi lahenduste kombinatsiooni ning sellega saavutatavat energiatõhususarvu. Kõik punktid allpool nulljoont kirjeldavad kombinatsioone, mis on kulutõhusad. Ülevalpool nulljoont olevad punktid kirjeldavad kombinatsioone, mille korral alginvesteering ületab energiasäästust saadava tulu.

Lähtuvalt definitsioonist on liginullenergiahoone taseme saavutamiseks vajalik lokaalse taastuenergia tootmine. Järgnevalt tuleks arhitektuuriselt ja tehniliselt sobivatele ning kuluefektiivsetele lahenduste kombinatsioonidele liita lokaalne taastuenergia tootmine. Lokaalne taastuenergia tootmine võib olla kas päikese kasutamine sooja tarbevee valmistamiseks, päikesest elektri tootmine või soojuspumpade kasutamine. Joonis 8.4 ja Joonis 8.5 näidatud kulutõhusalt

saavutatavat energiatõhususarvu, mis saadakse tarindi lahenduste kombineerimisel PV-paneelidega päikesest elektri tootmisega..



Joonis 8.4 Üksikelamu ( $120\text{m}^2$ ) energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut ( $\Delta\text{NPV}$ ) erinevatele tarindilahenduste ja soojusallikate kombinatsioonidele koos lokaalse taastuvenergia tootmisega (PV-paneelid nimivõimsusega 2.8 kW). Reaalintress 2,5%.



Joonis 8.5 Üksikelamu ( $200\text{m}^2$ ) energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut ( $\Delta\text{NPV}$ ) erinevatele tarindilahenduste ja soojusallikate kombinatsioonidele koos lokaalse taastuvenergia tootmisega (PV-paneelid nimivõimsusega 4.0 kW). Reaalintress 2,5%.

Tabel 8.2 on toodud tehniliste lahenduste kombinatsioone, millega saavutatakse liginullenergia energiatõhusus kulutõhusalt.

Tabel 8.2. Võimalikud kulutõhusate lahenduste kombinatsioonid liginullenergia taseme saavutamiseks. Tabeli viimases veerus on toodud nende lahendustega saavutatud energiatõhususarv ning nüüdisväärtuse muutus mis näitab 30 a perioodi kokkuvõidu €/m<sup>2</sup> võrreldes arvutuse aluseks olnud näidishoonega.

Lahenduste paketid	Tarindid																			
	Katus			Põrand			Aken			Välissein	q <sub>50</sub>	Soojusallikas			Lokaalne	Δ NPV				
	U=0.10 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.12 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.14 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.10 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.14 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.18 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.7 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.9 W/m <sup>2</sup> ·K	U=1.1 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.12 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.14 W/m <sup>2</sup> ·K	U=0.16 W/m <sup>2</sup> ·K	m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> @50Pa	Gaasikatel	Maasoojuspump	Õhk-vesi soojuspump	Päikesekollektor	PV-paneelid, kW	ETA	Δ NPV
<b>Väikeelamu kuni 120 m<sup>2</sup></b>																				
Ver. 1	x				x				x			x	1.5	x				2.8	98	-1
Ver. 2	x					x				x			1.5		x			2.8	58	-3
Ver. 3	x					x					x		1.5			x		2.8	79	-22
<b>Väikeelamu kuni 200 m<sup>2</sup></b>																				
Ver. 1		x				x			x				1.5	x				10	79	-11
Ver. 2			x			x						x	1.5		x			6.0	52	-25
Ver. 3			x			x					x		1.5			x		6.0	80	-12