



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT

LIGINULLENERGIA ELUHOONED RIDA- JA KORTERELAMUD

TALLINN
November 2017

KRED

Sisukord

1	SISSEJUHATUS.....	4
2	TELLIJA ROLL	5
3	ENERGIAIATÕHUSUSE PÕHINÄITAJAD	7
3.1	ENERGIATÕHUSUSE DEFINITSIOON	7
3.2	ENERGIATÕHUSUSE PÕHIKOMPONENDID	8
3.3	ENERGIATÕHUSUSARVU KUJUNEMINE	10
3.4	HOONE ENERGIASIMULATSIOONI MUDELI KOOSTAMINE	12
4	HOONE PIIRDETARINDITE JA AVATÄIDETE VALIK	14
4.1	PIIRDETARINDITE VALIKU ÜLDISED PÕHIMÕTTED.....	14
4.2	HOONE PIIRDETARINDITE SUMMAARNE SOOJUSKADU.....	15
4.3	PIIRDETARINDITE ÕHUPIDAVUS	17
4.3.1	<i>Juhiseid piirdetarindite õhulekete minimeerimiseks</i>	<i>18</i>
4.4	MATERJALI SOOJUSERIJUHTIVUS λ , W/(M·K)	23
4.5	PIIRDETARINDI SOOJUSLÄBIVUS U, W/(M ² ·K)	25
4.5.1	<i>Välisõhuga kontaktis olevad piirdetarindid.....</i>	<i>25</i>
4.5.2	<i>Pinnasega kontaktis olevad piirdetarindid.....</i>	<i>35</i>
1.1.1.	<i>Pinnasele toetatud põranda soojuslähivuse arvutusnäide</i>	<i>36</i>
4.6	PIIRDETARINDITE LIITEKOHTADE JOONSOOJUSLÄBIVUSED	37
4.7	PIIRDETARINDITE NIISKUSLIKU TOIMIVUSE TAGAMINE.....	39
4.8	AVATÄITED.....	41
4.8.1	<i>Aknaklaaside päikese- ja valguslähivus.....</i>	<i>41</i>
4.8.2	<i>Akna soojuslähivus.</i>	<i>42</i>
4.8.3	<i>Raami- ja lengiosa soojuslähivus.....</i>	<i>44</i>
4.8.4	<i>Akna kui terviku soojuslähivus</i>	<i>45</i>
5	SUVISE ÜLEKUUMENEMISE VÄLTIMINE JA PÄEVAVALGUS.....	48
5.1	ÜLEKUUMENEMINE JA SELLE VÄLTIMINE	48
5.1.1	<i>Suvise ruumitemperatuuri kontrollarvutuse näide.....</i>	<i>50</i>
5.2	PÄEVAVALGUSE PARAMEETRID	55
5.2.1	<i>Päevaalgustegur.....</i>	<i>55</i>
5.2.2	<i>Rusikareeglid hajuvalguse arvutamiseks.....</i>	<i>58</i>
5.2.3	<i>Akna kuju ja suuruse mõju päevaalgusele.....</i>	<i>60</i>
5.2.4	<i>Insolatsioon</i>	<i>62</i>
6	TEHNOSÜSTEEMID	64
6.1	VENTILATSIOON	64
6.1.1	<i>Õhuvooluhulkade arvutus</i>	<i>67</i>
6.1.2	<i>Õhukanalite läbimõõtude määramine</i>	<i>68</i>
6.1.3	<i>Ventilatsiooniseadme komponendid</i>	<i>68</i>
6.1.4	<i>Ventilatsiooniseadme valik</i>	<i>72</i>
6.1.5	<i>Ventilatsioonisüsteemi müra.....</i>	<i>74</i>
6.2	MÜRA NORMTASEMED	76
6.3	SOOJUSVARUSTUS JA KÜTE	77
6.3.1	<i>Kaugküte</i>	<i>77</i>

6.3.2	<i>Soojuspumbad</i>	79
6.3.3	<i>Keskküttekatlad</i>	84
6.3.4	<i>Küttesüsteemid</i>	84
6.3.5	<i>Küttesüsteemi ringluspumba elektritarve</i>	85
6.4	AUTOMAATIKA JA MONITOORING	85
7	LOKAALNE TAASTUVENERGIA	87
7.1	PÄIKESEENERGIAKASUTUS	87
7.1.1	<i>Päikesekollektorid</i>	87
7.1.2	<i>Päikesepaneelid (PV-paneelid)</i>	88
8	TEHNILISTE LAHENDUSTE KULUEFЕКТИIVSUSEST	92

1 SISSEJUHATUS

Käesolev rida- ja korterelamute projekteerimise abimaterjal on valminud ühe osana KredEx-i Liginullenergia eluhoonete projektist. Projekti eesmärgiks oli välja töötada liginullenergia eluhoonetele tehnilisi tüüplahendusi, mis on vormistatud näidisprojektide ja juhendmaterjalide kujul. Abimaterjal on abiks tellijatele, töövõtjatele ja projekteerijatele põhimõtteliste lahenduste valikul ning eel- ja põhiprojekti koostamisel.

Abimaterjal aitab kasutajal saada ettekujutuse energiatõhususe põhimõistetest ning hoone energiatõhususarvu kujunemisest. Välispiirete lahendused näitavad, millisel tasemel tuleb liginullenergiahooneid soojustada, kuidas arvestada soojuskadusid piirdetarindite liitekohtades ning kuidas saavutada nõutud õhupidavus. 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 antud krundile ja hoonesse sobiv lahendus. Energiatõhususarvu arvutus näitab, millises mahus on vaja lokaalse taastuvenergia süsteeme. Kompaktses, hästi soojustatud ja efektiivse soojusallikaga hoones on lokaalse taastuvenergia tootmise vajadus minimaalne. Samas võimaldab lokaalne tootmine teha järeleandmisi teistes hoone energiatõhusust mõjutavates komponentides. Antud juhend koos näidisprojektidega peaks andma projekteerijatele vajaliku teabe, et valida sobivad lahendused ning rakendada neid konkreetse eluhoone projekteerimisel kulutõhusal viisil.

Projekti töös on osalenud tellijatena Kalle Kuusk KredEx-st ja Margus Tali MKM-st. 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, 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, Anti Hamburg, Paul Klõšeiko, Laur Vatsfeld, Sander Jakunin ja Henri Sarevet.

Energiatõhusat ehitust ja mõnusat sisekliimat!

2 TELLIJA ROLL

Suurema hoone kavandamine ja ehitamine hõlmab mitmeid erineva tausta ja ka erinevate huvidega osapooli. Tellija jaoks on kesksed küsimused rahastamine ja kõikidele soovidele vastava hoone õigeaegne valmimine. Arhitekti eesmärk on silmapaistev ja kvaliteetne hoone, ehitusinsener peab tagama püsivuse, pikaajalisuse ning ehitusfüüsikalise toimivuse, tehnosüsteemide (küte, ventilatsioon, jahutus, vesi, kanalisatsioon, elekter, automaatika) insenerid peavad kujundama sisekliima ja energiatõhususe teostuse, ehitaja peab tagama ehitustööd vastavalt ehitusprojektile. Igal osapoolel on omad kohustused ja ajagraafik, millest tuleb lähtuda. Lisaks on igal osapoolel ka oma kulupiirid ning vastutus valminud hoone ehituskulude eest. Kogu ehitus on kompleksne protsess, mida peab probleemide vältimiseks läbi viima kindlat ülesehitust järgides. Võimalikud viisid hoone projekteerimise ja ehitamise läbiviimiseks on:

- eraldi projekteerimis- ja ehitushanked – tellitakse ehitusprojekt, mille tulemuseks on joonised, spetsifikatsioonid ja kirjeldused. Nende alusel valitakse konkursi korras ehitusettevõtte, kes ehitab hoone antud projektdokumentatsiooni alusel valmis;
- projekteerimis-ehitushange – ehitusettevõttelt tellitakse valmis hoone, ehitaja vastutab nii projekteerimise kui ka ehitamise eest.

Esimesel juhul sõlmib tellija kas ise või projekteerimise projektijuhi abil projekteerimislepingud arhitektiga, ehitusinseneriga, tehnosüsteemide inseneriga, jne. – või vastava kompetentsiga projekteerimisettevõttega. Ehitusprojekti aluseks on Tellija koostatud projekteerimise lähteülesanded. Pärast ehitusprojekti valmimist viiakse läbi hange ehitaja leidmiseks. Tellijal on eraldi lepingud konsultantide või projekteerimisettevõtetega. Kogu protsessi käigus on Tellijal võimalus projekti mõjutada, eriti algusjärgus.

Teisel juhul sõlmitakse Tellija ja ehitusettevõtte vahel leping, mis laseb ehitajal koostada ehitusprojekti ja viia hiljem läbi hoone ehitustööd. Selline lahendus võimaldab projekteerimise käigus ehitusprojekti kohandada vastavalt ehitusettevõttele ja hilisemale ehitusele. Tellijal on leping ehitusettevõttega, millest tulenevalt on piiratud ka osalus projekti koostamise ning kujundamise protsessis. Projekti väga hea lõpptulemuse saavutamiseks on vajalik väga hästi läbimõeldud hoone detailne projekteerimise lähteülesanne.

Hoone on Tellija, arhitekti, inseneride ja ehitaja töö lõpptulemus. Vanasõna, et seda saad, mida tellid, või siis natuke vähem, on elust enesest. Kõik osapooled peavad tagama, et hoone kavand oleks korralikult läbi mõeldud ja paika pandud ning et valmis hoone vastaks ootustele ja soovidele. Ehitusprotsessi kõige tähtsam osaline on Tellija, sõltumata sellest, kuidas seda läbi viiakse. Seetõttu on oluline, et Tellija defineeriks lepingutes selgelt nii iga osavõtja vastutuse Tellija kui ka erinevate osapoolte vahel.

Eelpool nimetatud projekteerimis- ja ehitustööde läbiviimise moodused on kaks äärmust, mis võivad esineda ka kombineeritult. Sõltumata sellest, kuidas protsess läbi viiakse, on projekteerimis- ja ehitusprotsessil kolm etappi:

- alg- ja lähteandmete koostamine;
- projekteerimine (eelprojekt, põhiprojekt, tööprojekt);
- ehitamine.

Mida kaugemale projekt on jõudnud, seda töömahukam ja kulukam on midagi muuta. On väga oluline, et lähteülesanded oleksid hästi läbi mõeldud ja esitatud enne projekteerimistööde alustamist.

Lähteülesandeid on põhiliselt kahte liiki:

- funktsioone ja lahendusi kirjeldavad (nn prescriptive) lähteülesanded;

- tulemust ja kvaliteeti ehk sooritusvõimet määravad (nn performance based) lähteülesanded. Funktsioone määravad lähteülesanded on otseselt seotud hoone tulevase kasutamisega. Need tagavad hoone mugava kasutuse. Kui funktsioone määravaid lähteülesandeid ei täideta, ei ole võimalik hoonet täiel määral plaanitud viisil ka kasutada. Lisaks funktsioonidele on tähtis, et hoones oleks meeldiv elada, hoonet oleks kerge hallata ning selle ülalpidamiskulud oleksid minimaalsed. See on võimalik määrata kvaliteedi nõuetega. Kvaliteedi nõuded puudutavad hoone esteetilist kujundust, efektiivset ruumide jaotust ja paigutust, energiatõhusust, sisekliimat, niiskusturvalisust, mõistlikku hooldusvajadust jne. Funktsiooni tagamine ei tohi olla tagatud kvaliteedi arvelt ja vastupidi. Näiteks ei tohi energiatõhusus olla saavutatud kehva sisekliima arvelt. Hoone tuleb tervikuna projekteerida selliselt, et nii funktsioone kui ka kvaliteedi määravad lähteülesanded oleksid täidetud.

Lähteülesande koostamisel on olulised järgmised punktid:

- lähteülesanded peavad olema terviklikud ja hästi põhjendatud
- lähteülesandeid peab olema võimalik täita
- lähteülesanded peavad olema tõendatavad ja mõõdetavad, kui hoone on valmis ehitatud ning kasutusse võetud.

Projekteerija peab arvestama, et projekteerimise käigus lisandub informatsiooni tulevase hoone lahenduste kohta, mistõttu on võimalik, et lähteülesanne täpsustub projekteerimise käigus. Samal ajal peab Tellijale olema selge, kas on tehnilisi võimalusi neid määratud kulude piires täita ja millised tagajärjed võivad kaasneda. On oluline, et Tellijal oleks vajalik teave olemas enne, kui lähteülesanded saavad lõplikult paika pandud.

Näiteks kui lähteülesanne koos suurte klaaspindadega fassaadiga nõuab jahutust, peab Tellijal olema info võimalikust lisanduvast energiatarbest ja maksumusest.

Lõpliku lähteülesande koostamine eeldab teatud variantide ja tagajärgede analüüsi. Peale lähteülesande analüüsi võiks sama järgneda ka eskiislahendustele. Et tagada tervikuna hästi funktsioneerivat hoonet, peab kohe projekteerimise alguses kaasama ka ehitusinseneri kui ka kütte-, ventilatsiooni- ja jahutuseinseneri ning energiatõhususe konsultandi. Tuleb vältida olukorda, et arhitektuurse lahendusega jõutakse lõppjärku ilma kõiki osapooli kaasamata.

Eskiislahenduste tagajärgede analüüsimine võimalikult varajases staadiumis suurendab võimalust, et hoone kujundamisel jõutakse säästliku ja energiatõhusa lahenduse.

3 ENERGIAIATÕHUSUSE PÕHINÄITAJAD

3.1 ENERGIATÕHUSUSE DEFINITSIOON

Hoone energiatõhususe tase „Liginullenergiahoone“ ehk energiamärgise A klass tähendab, et hoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuvenegiatehnoloogiate lahendusi kasutades tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui 0 kWh/(m²·a), kuid mitte suurem kui määruses sätestatud piirväärtus.

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 energiate kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiate kaalutud erikasutus. Tarnitud energia all mõistetakse hangitud elektrit, kaugkütet või kütuseid. Erikasutus on aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone köetavate ruumide netopindala kohta [kWh/(m²·a)]. Energiatõhususarv arvutatakse hoone sisekliima tagamisega ruumide netopindala kohta (köetav pindala) hoone standardkasutusel.

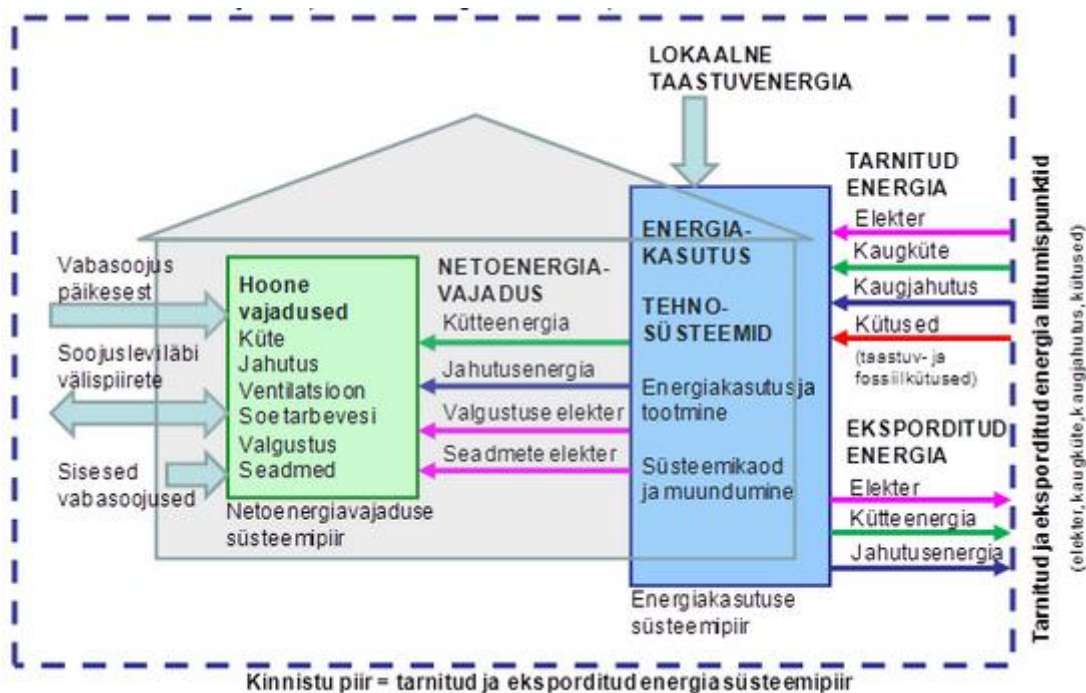
Liginullenergiahoonete energiatõhususarvule on lähtuvalt hoone tüübist kehtestatud oma piirväärtused (MTM nr. 55). Tabel 3.1 esitab energiatõhususarvu piirväärtused.

Tabel 3.1 Energiatõhususarvu piirväärtused

Hoone kasutusotstarve	Energiatõhususarv kWh/(m ² ·a)
Ridaelamu	80*
Korterelamu	100

*kavandatav väärtus enegiatõhususe miinimumnõuete määruses

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



Joonis 3.1 Energiatõhususe mõisted ja komponendid.

ETA arvutamisel võetakse arvesse kõik hoonesse tarnitud energiad (elekter, kütus, kaugküte) ja arvutatakse järgmise 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 ETA arvutus meenutab energiakulude arvutust eurodes 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.

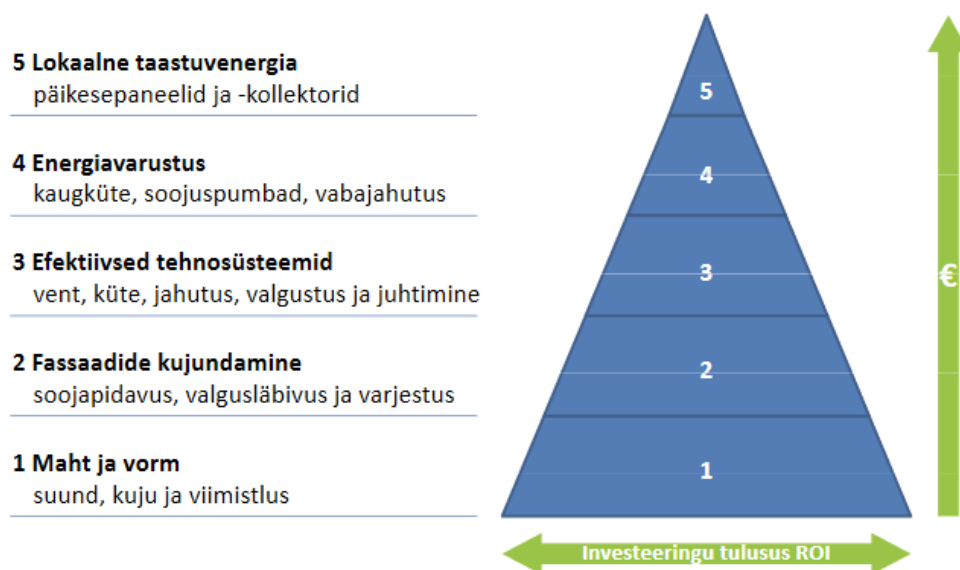
Primaarenergiapõhised energiakandjate kaalumistegurid on järgmised:

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

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

3.2 ENERGIATÕHUSUSE PÕHIKOMPONENDID

Energiatõhususe põhinäitajaid on otstarbekas jälgida nii energiabilansi komponentide kui ka projekteerimise protsessis tehtavate valikute osas. Joonis 3.2 näitab hoone kavandamisel ja projekteerimisel tehtavate valikute eelistatavat järjekorda ning mõju energiatõhususele.



Joonis 3.2 Energiatõhususe kavandamine.

Selline lähenemine koos põhiparameetrite kontrollarvude jälgimisega on viis kontrollida ja kavandada hoone energiatõhusust kavandamise ja projekteerimise algfaasis kuni esimeste energiasimulatsioonide tegemiseni eskiisvariantidele. Energiasimulatsioonid annavad indikatsiooni energiabilansi erinevatele komponentidele, mis võimaldab edasist täpsemate lahenduste valikut ja väljatöötamist järgmistes tööfaasides.

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 järgmistel püramiidi astmetel mõistlikult korrigeerida ei õnnestu. Lisaks akende valikule tuleb teha ratsionaalne valik ka teiste välispiirete lahenduste osas.

Hoone kompaktsuse, akende suuruse kui 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 neid kombinatsioone, kui 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 ligi nullenergiahoones 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.

3.3 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 dünaamilise energiasimulatsiooni tarkvaraga. Dünaamilisteks simulatsioonideks kasutatav tarkvara peab võimaldama (MTM nr. 58) järgi:

- teha hoone soojuslevi dünaamilist arvutust;
- kliimaprotsessori kasutust, millesse on võimalik lugeda Eesti energiaarvutuse baasaasta selle originaaldetailsusega ja mis arvutab tundide lõikes päikesekiirguse pindadele ja varju jäävad alad;
- ventilatsioonisüsteemi soojustagastuse modelleerimist;
- tõelist ruumitemperatuuri kasutamist arvutuses;
- sisestada energiaarvutuse lähteandmeid vastavalt hoone energiatõhususe arvutamise metoodikale.

Arvutusmudelis võetakse arvesse hoone kogu energiakasutus, kõik soojuskaod (avatäited, välispiirded, piirdetarindite liitekohad ja soojustuse katkestused, infiltratsioon), ja hoones tekkivad vabasoojused (valgustus, seadmed, inimesed, päike) ning tehnosüsteemides kasutatavad jääksoojused (ventilatsiooni soojustagastus, heitvee soojustagastus).

Hoone standardkasutusest tulenevad energiatõhususarvu komponendid on:

- valgustus
- seadmed
- soe tarbevesi

Hoone arhitektuurist ja piirdetarindite lahendusest tulenevad järgmised energiatõhususarvu 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 välispiirdes, soojustusest ja õhupidavusest.

Energiakasutust aitavad vähendada efektiivsed tehnosüsteemide lahendused:

- hoone soojusallikas ja kütte lahendus
- hoone ventilatsioonisüsteem ja ventilatsiooniseadme lahendus
- sooja tarbevee tootmine
- taastuenergia allikast lokaalse soojuste ja elektri tootmise süsteemi valik ja lahendus.

Korterelamu energiatõhususarv ETA arvutatakse dünaamilise simulatsiooniga saadud energiakasutusest kasutades järgmist valemit:

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

$Q_{\text{küte}}$ hoone kütteenergiakasutus ruumide kütteks, kWh/(m²·a);

k hoone kütte soojusallika energiakandja kaalumistegur, -;

SV hoone standardkasutusest tulenev soojatarbevee ETA komponent, kWh/(m²·a);

SK hoone standardkasutusest tulenev elektritarbimise ETA komponent, kWh/(m²·a);

VE	hoone ventilatsioonist (ventilaatori elektrikasutus ja ventilatsiooniõhu soojendamine) tulenev ETA komponent, kWh/(m ² ·a);
Q _{jah}	hoone jahutusenergiakasutus ruumide ülekuumenemise vältimiseks, kWh/(m ² ·a);
ETA _{taastuv}	lokaalsest energiatootmisest sõltuv kompenseeriv ETA komponent.

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

- valgustus – energiakasutus 7 kWh/(m²·a) vastav **ETA 14 kWh/(m²·a)**
- seadmed - energiakasutus 22.5 kWh/(m²·a) vastav **ETA 45 kWh/(m²·a)**

Korterelamu tarbevee soojendamise ETA komponent saadakse vastavalt soojusallikale. Sooja tarbevee standardkasutuse järgne energiakasutus on 30 kWh/(m²·a), millele vastav ETA sõltub tehnilisest lahendusest järgmiselt:

- otsene elektriküte (elektriboiler) **ETA 60 kWh/(m²·a)**
- gaasikatel (kasutegur 0.95) **ETA 32.6 kWh/(m²·a)**
- maasoojuspump (soojustegur 2.7) **ETA 22.2 kWh/(m²·a)**
- pelletikatel (kasutegur 0.85) **ETA 35.3 kWh/(m²·a)**

Vastavalt hoone standardkasutusele on valgustuse, seadmete ja tarbevee soojendamise summaarne ETA komponent vahemikus **81.2 kWh/(m²·a)** kuni **119 kWh/(m²·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 l/s·m², ventilatsiooniseadme SFP=1.5 kW/(m³/s), soojustagasti temperatuuri suhtarv on 0.8, heitõhu minimaalne temperatuur on 0°C, sissepuhkeõhku köetakse elektrikalorifeeriga, siis ventilatsioonisüsteemi netoenergiavajadus ja ETA komponent on järgmine:

- ventilaatorite elektritarve – energiakasutus 5.5 kWh/(m²·a) vastav **ETA 11 kWh/(m²·a)**
- ventilatsiooniõhu soojendamine elektriga – energiakasutus 2.6 kWh/(m²·a) vastav **ETA 5.2 kWh/(m²·a)**

Korteripõhise ventilatsiooni korral on summaarne ETA komponent **16.2 kWh/(m²·a)**.

Juhul kui kasutatakse tsentraalset mehaanilist soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi, siis on arvutuslik õhuvooluhulk 0,50 l/s·m². Tulenevalt õhuvooluhulga suurenemisest suureneb ETA komponent ~20%:

- ventilaatorite elektrikasutusele 6.6 kWh/(m²·a) vastav **ETA 13.2 kWh/(m²·a)**
- ventilatsiooniõhu soojendamisel elektriga on elektrienegiakasutus 3.1 kWh/(m²·a) ja vastav **ETA 6.2 kWh/(m²·a)**

Mille tulemusel on tsentraalse ventilatsiooni summaarne ETA komponent **19.4 kWh/(m²·a)**.

Lokaalse taastuvenergiatootmisega on võimalik kompenseerida hoone energiatarvet elektri tootmisega (PV-paneelid) või päikesesoojuse kasutamisega (päikese kollektor sooja vee valmistamiseks). 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 energiakasutus kuni 30·0.5=15 kWh/(m²·a). Seega ETA_{taastuv} sooja tarbevee kollektoritega
 - otsene elektriküte ETA_{taastuv} 30 kWh/(m²·a)

- gaasikatel $ETA_{taastuv}$ 15.8 kWh/(m²·a)
- maasoojuspump $ETA_{taastuv}$ 11.1 kWh/(m²·a)
- kaugküte $ETA_{taastuv}$ 13.5 kWh/(m²·a)
- PV-paneelid elektri tootmiseks. 1 kW nimivõimsusega optimaalselt suunatud ja mõõduka tuulutusega PV-paneeli arvutuslik aastane toodang on 860 kWh/aastas (MTM nr. 58 metoodika järgi). $ETA_{taastuv}$ sõltub süsteemi võimsusest ja hoone köetavast pindalast, näiteks 10 kW süsteemi puhul:
 - 200 m² köetava pindala korral netoenergia 43 kWh/(m²·a) vastav $ETA_{taastuv}$ 86 kWh/(m²·a)
 - 500 m² köetava pindala korral netoenergia 17 kWh/(m²·a) vastav $ETA_{taastuv}$ 34 kWh/(m²·a)
 - 1000 m² köetava pindala korral netoenergia 8.6 kWh/(m²·a) vastav $ETA_{taastuv}$ 17 kWh/(m²·a)

Lokaalsest sooja ja elektri tootmisest kompenseeritavaks ETA komponendiks kujuneb:

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

Päikesest PV-paneelidega elektri tootmise korral on kogu tootangu hindamiseks otstarbekas teha täpsemad arvutused, kuna toodang sõltub paneelide tüübist, orientatsioonist, kaldenurgast, hoone asukohast, paneelide varjestusest ja puhtusest. Sama kehtib päikese kollektori kohta, mille puhul on eriti oluline piisav soojuse salvestamise maht.

3.4 HOONE ENERGIASIMULATSIOONI MUDELI KOOSTAMINE.

Hoone kütte ja jahutuse energiakasutus arvutatakse dünaamilise energiasimulatsiooni tarkvaraga. Simulatsiooni tarkvaras luuakse hoonest arvutusmudel. Arvutusmudelis võetakse arvesse hoone kogu energiakasutus, kõik soojuskadud (avatäited, välispiirded, piirdetarindite liitekohad ja soojustuse katkestused, infiltratsioon), soojustagastus (ventilatsiooni soojustagastus, heitvee soojustagastus) ja hoones tekkivad vabasoojused (valgustus, seadmed, inimesed, päike). Arvutusmudelis võib kombineerida sarnase kasutusega ruumid omaette arvutustsoonideks. Tsoonide minimaalne arv peab olema valitud nii, et on võimalik eristada erinevate kasutusprofiilidega ruume või tsoone. Arvutustsoonide tegemisel peab olema arvestatud võimalikult tõelähedase vabasoojuste kasutuse (valgustus, seadmed, inimesed) ja päikese mõjuga erinevates ruumides ning tehnosüsteemide toimivuse ja kasutusega. Arvutusmudelis peab olema arvestatud päikesest tulevat vabasoojust ja jahutuskoormust mõjutava varjestusega (rõdupiirded, varikatused, üleulatuvad räästad, naaberhooned, kõrghaljastus, jne.).

Kütte energiakasutuse arvutamisel on oluline, et lähtuvalt hoone ruumide tsoneerimisest arvestatakse õigesti kõikide soojuskadudega ja vabasoojustega. Simulatsiooni mudel peab olema koostatud arvestades tarindite ja avatäidete soojusläbivusi ning kõiki piirdetarindites esinevaid külmasildu (rõdu kinnitus, vahelae liitumine, vaheseina liitumine, välisseinte liitumine, jne). Simulatsioonimudeli joonkülmasildade pikkuste ja/või punktkülmasildade arvu vastavus tegelikkusele sõltub hoone tsoneerimisest. Kui arvutustsoonide arv ei vasta tegelikule ruumide arvule, tuleb vastavalt külmasildade erinevusele suurendada hoone välispiirete soojusläbivusi või puuduvate külmasildade soojuskadu liita juurde välispiirete soojuskaole. Arvutustulemuste ja

lähteandmete esitamisel tuleb välja tuua välispiirete soojusläbivused, tarindite liitekohtade joonsoojusläbivused ning soojustuse katkestuste punktsoojusläbivused.

Lähtuvalt hoone ruumide tsoneerimisest peab energiasimulatsioonides vabasoojuste arvestamisel kontrollima simulatsioonimudeli arvutustsoonide pindala tegeliku hoone köetava pindalaga. Tavapärane on praktika, et mudelis kasutatakse vabasoojuste kirjeldamisel hoone köetavate ruumide põranda ruutmeetri kohta toodud suurusi (nt valgustus, seadmed, inimesed). Juhul kui simulatsioonimudeli põranda ja tegeliku hoone köetavate ruumide põranda pindalad on erinevad, võib tekkida olukord, kus soojuskadude kompenseerimisel hinnatakse vabasoojuste osakaalu alla või üle arvutuslikust utiliseeritavast kogusest.

Sama põhimõtte, nagu vabasoojuste osas, kehtib ka ventilatsiooni õhuvooluhulkade arvutuse osas. Kui mudelis kasutatakse ventilatsiooni õhuvooluhulkade kirjeldamisel hoone köetavate ruumide põranda ruutmeetri kohta toodud suurusi (nt $0.42 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ või $0.50 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$), võib tekkida olukord, kus ventilatsiooniõhu kütte ja ventilaatorite energiakasutust arvestatakse valesti.

Juhul kui hoones on kütmata ruumid (kelder, garaaž, pööning), tuleb mudelis sellised ruumid võtta arvesse eraldi arvutustsoonina.

Näiteks korterelamus on otstarbekas arvutusmudeli tsoneerimine teha vastavalt korteritele. Sellisel juhul tuleb energiaarvutuste simulatsioonimudel korrigeerida vastavalt tegelikule hoonele välispiirete soojusläbivuste osas, külmasildade soojusläbivuste osas, ventilatsioonisüsteemide osas ja vabasoojuste osas. Kui aga ühildatakse sisekliima ja energiatõhususe arvutus tehnosüsteemide dimensioneerimisega, on otstarbekas mudel tsoneerida vastavalt hoone ruumide jaotusele.

4 HOONE PIIRDETARINDITE JA AVATÄIDETE VALIK

4.1 PIIRDETARINDITE VALIKU ÜLDISED PÕHIMÕTTED

Piirdetarindid mõjutavad hoone energiatõhusust soojuskadudest tuleneva küttenegiavajaduse kaudu. Lisaks mõjutavad avatäited jahutuskoormust ja suvist ülekuumenemist. Üksiku piirdetarindi mõju hoone soojuskaole sõltub hoone geomeetriast ja piirdetarindite sooja- ning õhupidavusest. Tabel 4.1-s on toodud näiteid erinevate korterelamute piirdetarindite soojuskadude jaotusest.

Tabel 4.1 Piirdetarindite soojuskadude jaotus erinevate hoonete korral

Piirdetarindite soojuskadude jaotus	Hoone üldpilt
<ul style="list-style-type: none"> ○ Välisseinad: 15% ○ Katuslagi: 8% ○ Põrand: 14% ○ Aknad: 44% ○ Tarindite liitekohad: 9% ○ Õhulekked: 10% 	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Välisseinad: 19% ○ Katuslagi: 4% ○ Põrand: 7% ○ Aknad: 56% ○ Tarindite liitekohad: 7% ○ Õhulekked: 7% 	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Välisseinad: 17% ○ Katuslagi: 9% ○ Põrand: 15% ○ Aknad: 43% ○ Tarindite liitekohad: 10% ○ Õhulekked: 6% 	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Välisseinad: 20% ○ Katuslagi: 9% ○ Põrand: 12% ○ Aknad: 41% ○ Tarindite liitekohad: 6% ○ Õhulekked: 12% 	

Hoone piirdetarindite esialgsed soojuslähivused valitakse projekteerimise algstaadiumis kogemuslikult. Soovituslikud soojustamise kulutõhususest lähtuvad esialgsed välispiirete soojuslähivused ja õhulekkearv on järgmised:

- **Välissein $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$**
- **Aken $U_w = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$**
- **Katuslagi $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$**
- **Põrand pinnasel ja alt tuulutatav $U=0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$**
- **Põrand välisõhu kohal $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$**
- **Külmasildade osakaal kogusoojuskaost 10 %**
- **Õhulekkearv $q_{50} = 1,5 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$**

Tuleb rõhutada, et toodud väärtused on esialgsed ja neid täpsustatakse projekteerimise käigus vastavalt konkreetse hoone vajadustele ja valikutele. Kohe, kui hoone geomeetria ja ruumiprogramm on teada esmase mudeli või jooniste kujul saab teha esimese energiatõhususe arvutuse, mille põhjal hakatakse välispiirete põhimõtteliste lahenduste valikuid täpsustama. Kui vajatakse paremat soojapidavust näiteks halva kompaktsusega hoone puhul, siis tavaliselt on tehniliselt kõige lihtsam ja soodsam parandada akende soojuslähivust. Soovitatav suhteliselt kõrge väärtus 0,9 lähtub praegusest turuolukorrast, kus avatäitjate tootjatel on raskusi pakkumaks kolmekordse klaaspaketiga saavutatavaid paremaid väärtusi 0,8 või 0,7 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, mis eeldavad soojapidavama lengi- ja raamiprofiilide kasutamist.

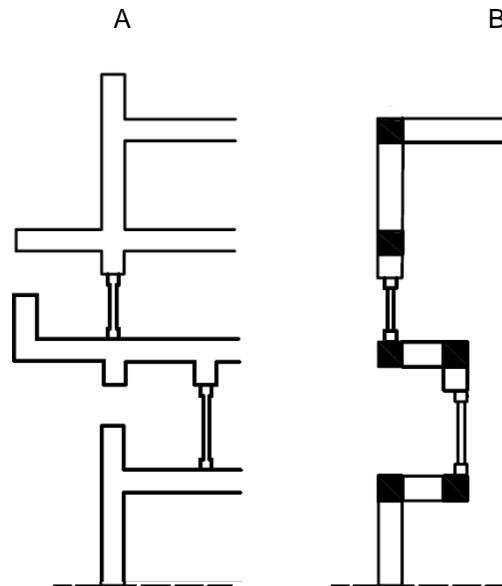
Projekteerimises on oluline, et juba eskiisi etapis on ühe laua taga arhitekt, ehitusfüüsika spetsialist, tehnosüsteemide projekteerija ja energiatõhususe spetsialist. Esmane energiatõhususe arvutus, mis tehakse dünaamilise simulatsioonina või soojuserikao arvutusena, annab ülempiiri hoone piirdetarindite soojuskaole. Selle põhjal valitakse maksimaalsed soojuslähivused, joonsoojuslähivused ja õhulekkearv, mis jäävad edasise projekteerimise aluseks ja mille piisavust kontrollitakse uue energiaarvutusega, kui hoone arhitektuuris või tehnosüsteemide lahendustes tehakse põhimõttelisi muudatusi. Hilisema ümberprojekteerimise vähendamiseks on mõistlik esmased kriteeriumid soojuslähivusele ning joon- ja punktsoojuslähivusele seada varuga ~10-15%.

Lisaks vajalikule soojustuse paksusele tuleb projekteerimise algfaasis läbi mõelda piirdetarindite liitumised, ehk milliste sõlmede ja detailidega on need võimalik lahendada. Kui sõlmed ja detailid jäävad alguses läbi mõtlemata, ei pruugi hoone arhitektuurne idee või energiatõhususe eesmärk olla hästi saavutatav. Piirdetarindite liitekohtade ja soojustuse katkestuste joon- ja punktsoojuslähivuste suurustena kasutab projekteerija näiteks külmasillakataloogi või oma andmebaasi infot. Kui tegemist on täiesti uue sõmlahendusega arvutatakse selle joonsoojuslähivus eel- või põhiprojekti käigus.

4.2 HOONE PIIRDETARINDITE SUMMAARNE SOOJUSKADU

Hoone välispiirete summaarne soojuskadu arvutatakse piirdetarindite soojuslähivuste, tarindite liitekohtade joonsoojuslähivuste, lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude punktsoojuslähivuste ning õhuleketest tuleneva soojuskadude summana. Soojuskadude arvutused läbi piirdetarindite tehakse sisemõõtudega, millele lisatakse tarindite liitekohtade ja läbiviikude ning õhuleketest tulenevad soojuskaod lisakomponendid. Joonis 4.1 esitab mustaga märgitud alad, mis

sisemõõtudega arvutades jäävad arvestamata (nt. välisnurkade ja vahelagede kohal) ning nende soojuskadu võetakse arvesse liitekohta joonsoojusläbivusega.



Joonis 4.1 Hoonepiirete soojuskadude arvutus EVS-EN 13789 baasil:

A: Lõige hoonest; B: Soojuskadude arvutamiseks võetakse hoone üksikuteks tasapinnalisteks osadeks (valge ala) ja nende vahelisteks 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 $H/A_{\text{kõetav}}$, $W/(m^2 \cdot K)$ saab arvutada järgmise valemi abil ning tulemused on praktiline esitada tabeli kujul (vt. Tabel 4.2):

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

U_i tarindi soojusläbivus, $W/(m^2 \cdot K)$;

A_i piirdetarindi pindala, m^2 ;

Ψ_j piirdetarindite liitekohta joonsoojusläbivus, $W/(m \cdot K)$;

l_j piirdetarindite liitekohta pikkus, m ;

χ_p lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude punktsoojusläbivus, W/K ;

n_p lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude arv, tk;

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

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

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

x : hoone kõrgust arvestav kordaja

1-korruseline hoone $x = 35$;

2-korruseline hoone $x = 24$;

3–5-korruseline hoone $x = 20$;

>5-korruseline hoone $x = 15$;

ρ_a õhu tihedus, 1,2 kg/m³;
 c_a õhu erisoojus, 1005 J/(kg·K);
 $A_{kõetav}$ sisekliimaga tagatavate ruumide netopindala, m².

Tabel 4.2 Hoone soojuserikao arvutus ja selle sõltuvus välispiirete soojuslähivusest, liitekohtadest ja õhulekkest.

Soojuslähivuskaod läbi piirdetarindite				Soojuslähivuskaod läbi liitekohtade ja lähiviikude						Soojuslähivuskaod läbi õhulekete	
Piirdetarind	U_i W/m ² ·K	A_i m ²	$H_{juhtivus}$ W/K	Liitekoht	Ψ_j W/m·K	l_j m	χ_p W/K	n_p	$H_{liitekoht}$ W/K	Omadus	Suurus
Välissein 1				Välisseinte välisnurk						Õhulekkearv q_{E50} , m ³ /(h·m ²)	
Välissein 2				Välisseinte siseturk						$A_{välispiirded}$, m ²	
Katus 1				Katuslagi/välissein						Maapealsete korruste arv	
Katus 2				Pööningu põrand/välissein						\dot{V}_{inf} , m ³ /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:	$H_{soojuslähivus}$, W/K	...		$H_{liitekoht}$, W/K					...	$H_{õhuleke}$, W/K	...
Kokku:	$A_{välispiirded}$, m ²	...									
Välispiirete summaarne soojuserikadu									ΣH	W/K	
Hoone kõetav pindala									$A_{kõetav}$	m ²	
Välispiirete summaarne soojuserikadu kõetava pindala kohta									$\Sigma H / A_{kõetav}$	W/(m ² ·K)	
Taotluslik maksimaalne välispiirete summaarne soojuserikadu									$\Sigma H / A_{kõetav}$	W/(m ² ·K)	

4.3 PIIRDETARINDITE ÕHUPIDAVUS

Hoonepiirete ebapiisav õhupidavus väljendub kontrollimatu õhuvoolu näol läbi pragude ja ebatiheduste hoone piiretes. Õhu infiltratsioon ja selle mõju sõltub hoonepiirete õhupidavusest, lekkekohtade paiknemisest, õhurõhkude erinevusest kahel pool piiret, kasutatavate materjalide omadustest ja kliimatingimustest. Õhurõhkude erinevust kahel pool piiret põhjustavad tuul, õhu tiheduste erinevus (nn. korstna efekt) või ventilatsiooni õhuvooluhulkade erinevus.

Hoonepiirete õhupidavust iseloomustab õhulekkaarv q_{E50} [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]. See näitab õhuvooluhulka (m^3/h), mis läbib 1 m^2 suuruse pindalaga piiret, kui kahel pool piiret on teatud õhurõhkude erinevus (tavaliselt 50 Pa). Kuna valmis hoonel pole erinevate piirdetarindite õhuleket lihtne eraldi mõõta võimalik, mõõdetakse kogu hoone õhuleket ja väljendatakse see kogu hoone keskmise õhulekkena.

Hea õhupidavus on vältimatult vajalik energiatõhususe, mugava sisekliima ja niiskusturvalise tarindite toimivuse saavutamiseks. **Hoone õhulekkaarvu nõue on $q_{E50} \leq 1,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (MTM nr. 55), kuid energiaarvutustes on soovitatav kasutada üldjuhul varuga väärtust $1,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Õhulekkaarvu väärtus tõendatakse mõõtmisega pärast õhutõkketööde teostamist (enne siseviimistlustööde alustamist) ning vajadusel piirdetarindeid tihendatakse kuni projekteeritud väärtuse saavutamiseni.**

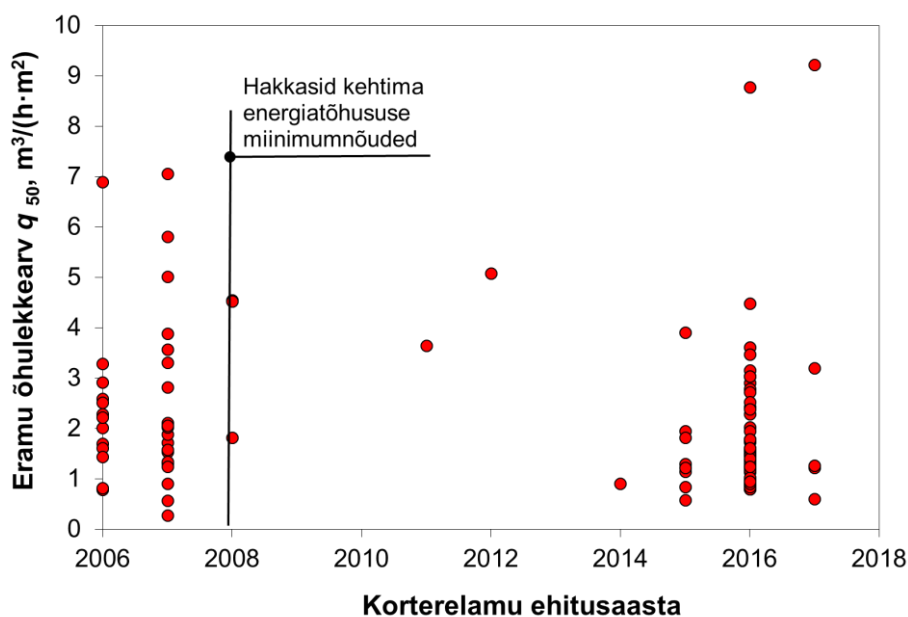
Juhul kui kasutatavad välispiirete lahendused ei võimalda mingil põhjusel saavutada head õhupidavust, siis kasutatakse nende hoonekonstruktsioonide puhul varem praktikas korduvalt saavutatud õhulekkaarvu väärtust. Muid lahendusi energiatõhususe parandades on liginullenergia energiatõhususe saavutamine võimalik ka õhulekkaarvu väärtustega $q_{E50}=2$ või $3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, 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. Õhupidavuse tagamine nõuab lõpuni läbimõeldud ja kompleksseid lahendusi. Piirdedetailid tuleb projekteerimise käigus hoolikalt läbi mõelda, õhutõkke peab olema korralikult paigaldatud ja liitekohad nõutavalt tehtud. Hoone piirdetarindite õhuleke sõltub kasutatavast ehitusmaterjalist, ehitustehnoloogiast ja tööde kvaliteedist (projekteerimine, ehitamine, järelevalve). Tuleb teadvustada, et ka üksikud õhulekkekohad võivad põhjustada probleeme hoone kasutajate jaoks (tuuletõmbus, radoon, hallituse eosid ja -laguproduktid või ebasoovitavad lõhnad) või piirde enese jaoks (niiske siseõhu konvektsioon piirde sisse), kuigi hoone üldine õhulekkaarv on väike.

4.3.1 Juhiseid piirdetarindite õhulekete minimeerimiseks

Piirdetarindite õhulekke mõõtmised näitavad, et enamiku hoonetüüpide ja tarindilahendustega on võimalik saavutada väikest õhuleket. Samas võib aga sama hoonetüübi ja konstruktsiooni juures õhulekke tulemuste hajuvus olla väga suur (Joonis 4.2). Viimasel kümnel aastal Eestis tehtud korterelamute piirdetarindite õhulekke mõõtmistulemuste alusel oleks õhulekkaarvu projekteerimisväärtus $q_{E50}=2,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, mis näitab et õhulekke vähendamiseks tuleb praeguseid projekt- ja ehituslahendusi parandada.



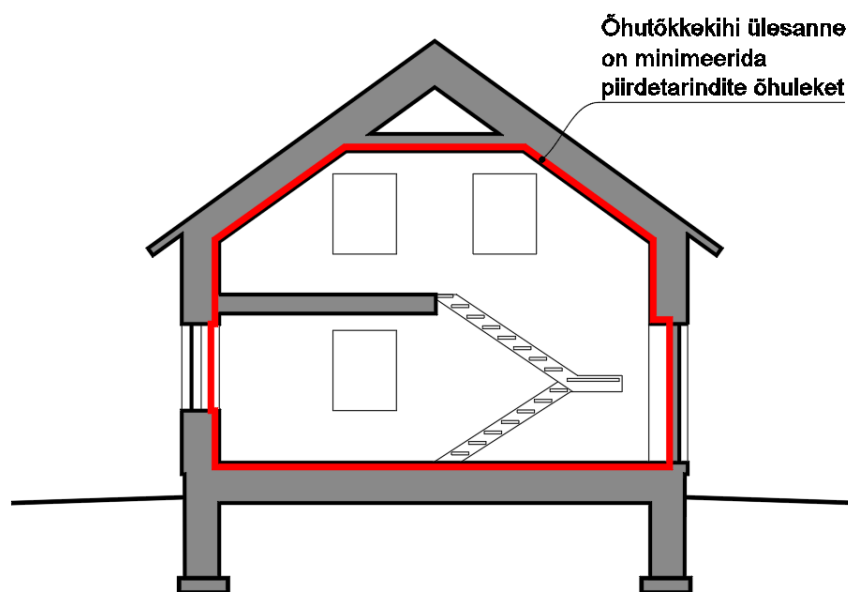
Joonis 4.2 Piirdetarindite õhulekkearvu jaotus erinevatel Eestis aastatel ehitatud korterelamutel.

Mõõtmisandmete analüüs on näidanud, et ettevõtetel, kes teevad piirdetarindite õhulekke vähendamiseks süsteemset arendustööd ja mõõdavad süstemaatiliselt oma ehitatud hoonete õhulekkearvu on hoonete õhulekke suurus ja selle hajuvus väiksem. Tihti ongi just piirdetarindite suure õhulekkearvu põhjus süsteemse lähenemise ja kontseptsiooni puudumine.

4.3.1.1 Projekteerimise mõju

Hoonete keerukuse tõttu tuleb energiatõhususele, piirdetarindite soojus- ja õhulekkele 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 (õhutõkkekivi esitus ja jätkuvus tarindidetailide ja sõlmede joonistel, piisavalt suure mõõtkavaga detailide ja sõlmede joonised). Järgnevad meetodid aitavad vähendada piirdetarindite õhuleket projekteerimis-järgus:

- Piirdetarindite õhulekke määravad detailid. Üldiselt sirge sein või katus või põrand ei leki vaid lekkekohad on liitekohtades ja läbiviikudes. Ehk sõlmlahendused on olulised ja need tulevad ehitusprojektis detailselt esitada.
- Sõlmlahendustest olulisemgi on õhupidavuse tagamise kontseptsiooni valik. Vältida tuleb riskantseid ja keerukaid lahendusi, eelistades neid teostuselt ja toimivuselt selgetele, lihtsatele ja töökindlatele.
- Tuleb määrata õhutõke igas tarinditüübis so. tarindikiht, mis tagab õhupidavuse, ja jälgida, et need 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.
- 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 ja 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.
- 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 ja 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 õhupidavuse tagamise tooteid.
- Hoone piirdetarindid, liitekohad ja õhutõkkest läbiviigud tuleb projekteerida nii, et nende õhupidavus ei halveneks aja jooksul. Varjatud liitekohtade õhupidavuse kestvus vajab erilist hoolt.
- Piirete ja liitekohtade projekteerimisel ja ehitamisel tuleb arvestada ka kriteeriumitega akustikale ning tuleohutusele.

4.3.1.2 Ehitusprotsessi ja järelvalve mõju

Enne ehituse valmimist ei või olla täiesti kindel hoone õhupidavuse saavutamise kohta, sest õhulekkearvu mõjutab oluliselt, kui palju sellele projekteerimise ja ehitamise käigus tähelepanu

pööratakse. Samuti on see oluline järelvalve küsimus. Kõik vuugid ja liitekohad tuleb hoolikalt tihendada ja kindlustada nii, et lõpptulemust ei rikuta kaablite või torustike paigaldusega. Aknad ja uksed tuleb paigaldada ja tihendada nii, et sein ja lengi ning lengi ja raami vahele ei jääks õhulekkekohti. Lisaks pragude täitmisele elastse montaaživahuga või tihendusvilla ribadega tuleb avatäidete lengi tihendada seinatarindiga ka teipimise teel.

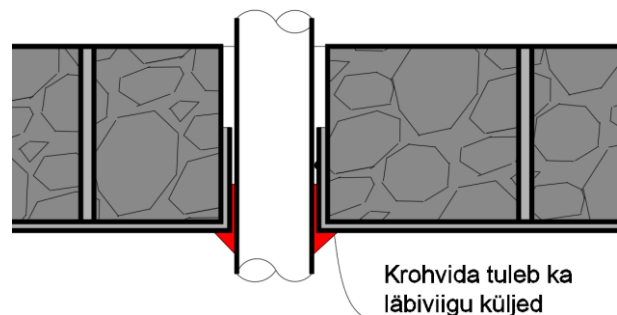
Hea õhupidavuse saavutamiseks on oluline:

- Parim lõpptulemus saavutatakse, kui kõrvaldada vead viivitamatult ja tõhusalt.
- Oluline on ehitusprotsessi erinevate poolte koostöö, seda nii vertikaalsel kui ka horisontaalsel tasandil. See tähendab, et erinevate osade projekteerijad (arhitekt, ehitusinsener, tehnosüsteemide projekteerija) ja ehitajad peavad lahendused omavahel kooskõlastama; projekteerijad, ehitajad, järelvalve ja tellija kooskõlastavad lahendused, et need vastaksid soovitud tule ja neid saab ka tegelikult ellu viia.
- Töödejuhataja juhendab enne olulisi tööetappe tööde tegijaid ja selgitab ehitatavat lahendust, miks lahendus tehakse just nii, mitte „*nagu me seda kogu aeg oleme teinud*”.
- Projekteerija saab projekteeritud lahendusest tagasisidet (nii positiivset kui ka negatiivset).
- Hilisemate arusaamatuste vältimiseks tuleb soojustuse ning õhu- ja aurutõkke paigaldamise vastu võtta kaetud tööde aktiga. Enne kalleid siseviimistlustöid on nii ehitaja kui ka tellija seisukohast otstarbekas teha hoonepiirete õhupidavuse mõõtmise koos termokaameraga või märkesuitsuga õhulekkekohtade fikseerimisega.

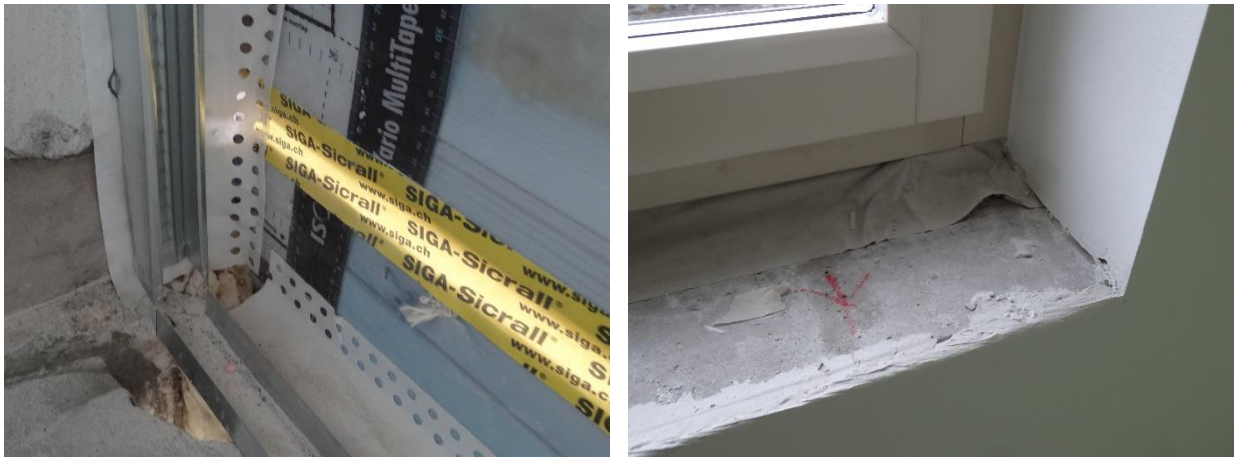
4.3.1.3 Hoonete tarindite mõju

Järgnevalt on esitatud mõningaid soovituslikke lahendusi, mille abil saab hoone õhupidavust parandada. Hoone spetsiifika järgi võib järgnevat lahendusi sobitada või korrigeerida.

- Väikeplokkide juures tuleb tähelepanu pöörata sellele, et neid on suurema ja väiksema õhujuhtivusega. Praktiliselt täiesti õhkuläbilaskvad on keramsiitplokid. Suurema õhuvoolutakistusega on poorbetoonplokk. Betoonplokk on ise üsna väikese õhujuhtivusega, kuid tema vuugid võivad olla lekkivad. Väikeplokkidel on õhutõkkeks nende peale tehtav krohvikihht. Krohvikihht peab ulatuma järgmise piirdetarindi õhutõkkeni. Seetõttu tuleb krohvida ka läbiviigu siseküljed ja aknapaale. Kuna krohv vähendab ava suurust tuleb müüritis laduda ~20-30mm varasemast suurema avaga.



Joonis 4.3 Sein tuleb krohvida kogu ulatuses, mitte ainult kuni ripplaele. Krohvimistööd tuleb teha kohe pärast müüri ladumist.



Joonis 4.4 Kvaliteetseted tooted ei aita, kui ehitatakse ebakvaliteetselt: teip ei ole jätkuv, teip on paigaldatud valet pidi (vasakul), teipitud on tolmusele aluspinnale (paremal)

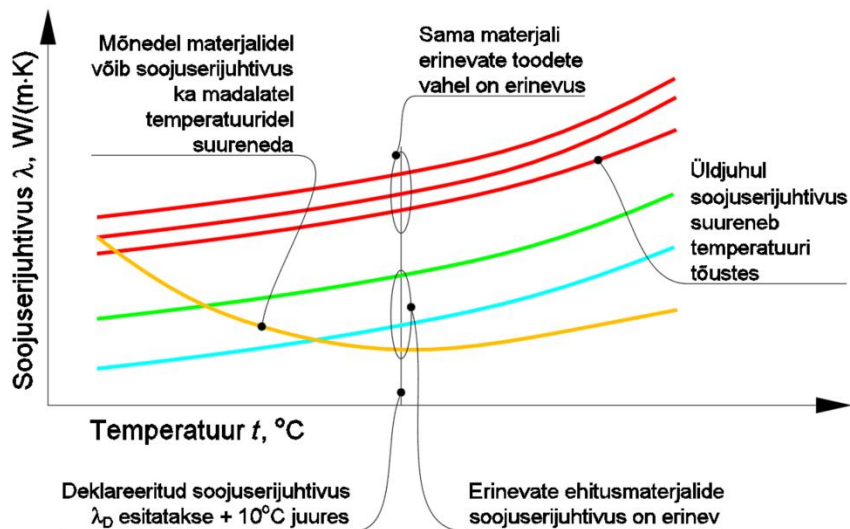
- Kuigi seina kandevõime tagamise pärast ei pruugi püstvuukide täitmine olla alati vajalik, on täitmata püstvuukidega lahendus ehitusfüüsikalistest põhjustest (välisseinte tuule- ja vihmakindlus, niiskustehniline toimivus, vaheseinte heliisolatsioon ja tulepüsivus jne.) tulenevalt halb lahendus.
- Plokkseintesse tehtud süvendeid kaablite ja harutooside ning teiste installatsiooniobjektide jaoks peab samuti töötleva õhukupidavaks (krohvida). Õhupidavuse tagamiseks vajalik krohvi paksus peaks olema vähemalt 10 mm.
- Betoonest seinaelementide liitekohad tihendatakse elastsete vuugitäidetega.
- Katuslaepaneelide täisvalatud pikivuukide õhupidavus tagatakse vuugi peale paigaldatava õhutõkkeribaga (näiteks kleebitav või liimitav bituumen või kummibituumenriba või muu analoogne materjali), kogu paneelile paigaldatava ühtlase auru- ja õhutõkke rullmaterjaliga (näiteks kleebitav või liimitav bituumen või kummibituumenrullmaterjal) või ühtlase tasandusvaluga. TT- ja HTT-tüüpi paneelide liitekohad, kus vuukides betoonvalu ei kasutata ja paneelidevahelised deformatsioonid võivad olla suuremad, peab vuugile paigaldatav õhutõkkeriba või rullmaterjal tagama paneelidevaheliste deformatsioonide erinevuse.
- Üldiselt on polüuretaanmontaaživaht avatud pooridega ja kui seda noaga lõigata, kaotab vaht oma õhupidavuse. Seetõttu tuleb vahtu paigaldada nii palju, et seda ei peaks lõikama.
- Puitsõrestikseina ruumipoolsemas pinnas paiknevaks ühtseks õhu- ja aurutõkkeks sobivad plastkiled, lamineeritud paberid või bituumenpaberid, mis paigaldatakse tugevale alusplaadile. Pabertoodete kasutamisel tuleb erilise tähelepanuga jälgida, et need paigalduse käigus ei rebeneks ja moodustaksid soojustuse sisepinnale tervikliku kihi. Õhu- ja aurutõkke liitekohad peavad olema teibitud spetsiaalse õhutõkketeibiga, millel on tõendatud vastupidavus kogu hoone projekteeritud kasutusea vältel.
- Õhutõkke paigaldatakse nii, et võimalikud kaablid ja piirdesised torustikud ei läbiks õhutõket. Puitsõrestikseinas viiakse selleks õhutõkke 20-50 mm soojustuse sisse. Kui õhutõkkest sissepoole plaanitakse paigaldada soojustust, peab enne soojustuse paigaldamist enamuse hoone ehitusniiskusest olema välja kuivanud.
- Põranda, vahe- ja katuslae ning seina õhu- ja aurutõkked peavad olema omavahel ühendatud. Katuse õhutõkke liidetakse seina õhutõkkekihiga elastse mastiksi abil ja fikseeritakse spetsiaalse teibiga.

- Pinnasele toetava põranda ja välisseina liitekoht tihendatakse kleebitava või liimitava kummibituumenribaga ja vuugi elastse kittimisega.
- Väga palju probleeme on olnud profiilplekist kandeosaga katuslagedega, mille juures on õhu- ja aurutõkkeks kasutatud plastkilet otse pleki peal. Profiilpleki kandevosa on ~35–40%, ülejäänud osas ei ole kilel tuge all. Õhu- ja aurutõkketule liitekoht ei ole kahe tiheda materjalikihi vahel ja kile teibitud liited tulevad lahti. Samuti mõjutavad õhu- ja aurutõkke liidete, kile parapeti ja seinaga liitumise kohtade ja läbiviikude auru- ja õhupidavuse kestvust profiilplekkaluste suured läbipained. Kui katusekatte ja soojustusmaterjali kinnitamisel alusele kasutatakse teleskooptüübleid, mis kinnituvad profiilpleki harjadele lõikepeaga varustatud kinnituskruvidega, võib neid alusele kinnitades olla väga raske tabada profiilpleki harjakohta ning seetõttu tekivad aurutõkkele tahmatult kruvi diameetri suurused augud. Seepärast tuleb profiilplekist kandeosaga katuslagede õhu- ja aurutõkke aluseks kasutada jäika alust: niiskuskindlat vineeri või jäika mineraalvilla paksusega 20 mm ja õhu- ja aurutõkkeks kasutada modifitseeritud bituumenrullmaterjale. Soojustuse kinnituskruvide asukohad tuleb eelnevalt ära märkida, et need satuksid õigesse kohta.
- Kile- või paberõhutõkke läbiviigid tihendatakse äärikuga varustatud läbiviigudetailidega või kasutatakse ehitusplaadist läbiviigudetaili.
- Aknad ja ukse liidetakse teiste piirdetarinditega piisavalt õhupidavalt. Lisaks pragude täitmisele elastse montaaživahuga või tihendusvilla ribadega tuleb avatäidete lengid tihendada seinatarindiga ka teipimise teel;

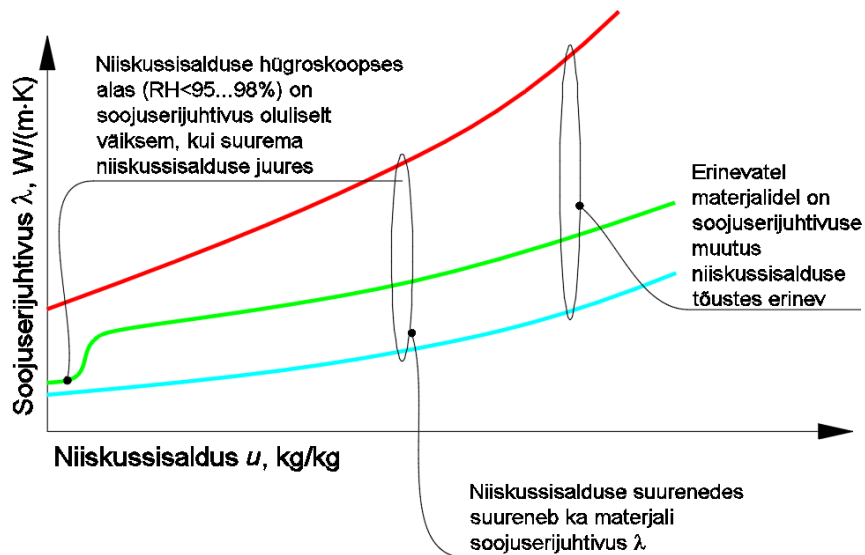
4.4 MATERJALI SOOJUSERIJUHTIVUS λ , W/(M·K)

Materjali soojuserijuhtivus λ , W/(m·K) on materjali omadus endast soojust läbi lasta ja väljendab soojusvoolu vattides, mis läbib 1 meetri paksuse ja 1 m² pinnaga materjalikihi, kui temperatuuride vahe vastastikuste pindade (kihi välispindade) vahel on 1 K. Oluline on eristada kahte suurust:

- λ_D deklareeritud soojuserijuhtivus on tootja poolt deklareeritud materjali soojuserijuhtivus, mis on tagatud standardtingimustel ja mille tagamist tootja suudab kindlustada;
- λ_U arvutuslik soojuserijuhtivus, mida kasutatakse piirdetarindite soojusläbivuse arvutuses. Kui materjali kasutusolukord erineb λ_D mõõtmistingimustest, siis tuleb arvutusliku soojuserijuhtivuse λ_U leidmiseks arvestada parandustegureid (temperatuuri mõju (Joonis 4.5), niiskuse mõju (Joonis 4.6), materjali “vananemise” mõju);



Joonis 4.5 Soojuseriitvuse sõltuvus temperatuurist



Joonis 4.6 Soojuseriitvuse sõltuvus niiskussisaldusest

Soojuseriitvuse sõltuvus ajast võib olla põhjustatud näiteks:

- õhust väiksema soojuseriitvusega gaaside materjalidest välja difundeerumisest (näiteks polüuretaan või polüisotsüanuraat vms. soojustused);
- soojustustoote alarõhu vähenemisest (näiteks vaakumisolatsioonid);
- materjali geomeetria muutusest: puistevill vajub, plastsoojustus tõmbub kokku (muutub kihi soojustakistus R).

Arvutuslik soojuseriitvitus λ_U tuleb määrata vastavalt standardile EVS-EN ISO 10456. Hea tava kohaselt esitab tootja ise materjali soojuseriitvuse λ_U väärtused tavapärastel kasutustingimustel. Muudel juhtudel kasutatakse soojuseriitvuse tabeliväärtusi standardist EVS-EN ISO 10456.

Ehitusprojektis esitatakse energiatõhusust mõjutavates piirdetarindites kasutatud materjalide soojuseriitvused, Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Ehitusprojektis kasutatud materjalide soojuseri juhtivuse ja soojustakistuse väärtused.

Materjal, tarind*	Deklareeritud soojuseri juhtivus $\lambda_D, W/(m \cdot K)$	Deklareeritud soojustakistus $R_D, (m^2 \cdot K)/W$	Arvutuslik soojuseri juhtivus $\lambda_U, W/(m \cdot K)$	Arvutuslik soojustakistus $R_U, (m^2 \cdot K)/W$	Infoallikas, päritolu

*Ridu lisatakse vastavalt vajadusele, et kõikide projektlahenduses kasutatud materjalide omadused oleks esitatud.

4.5 PIIRDETARINDI SOOJUSLÄBIVUS $U, W/(M^2 \cdot K)$

4.5.1 Välisõhuga kontaktis olevad piirdetarindid

4.5.1.1 Piirdetarindite soojuslähivuse arvutamise üldised põhimõtted

Piirdetarindite soojuslähivuse arvutus tehakse vastavalt standarditele: EVS 908-1, EVS-EN ISO 6946.

Piirdetarindi soojuslähivuse arvutuse põhimõtted on järgmised:

- arvutatakse piirdetarindi iga kihi soojustakistus;
- määratakse üksikute kihtide ja pindade soojustakistuste summeerimisel piirdetarindi kogu soojustakistus;
- arvutatakse piirde soojuslähivus, mida korrigeeritakse, arvestades konstruktsiooni iseärasusi (soojustuse paigaldusvigade mõju, mikrokonvektsiooni mõju, mehaaniliste kinnitite mõju, sademete mõju pööratud katustele).

4.5.1.2 Homogeense tarindi soojuslähivus

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

$$R = \frac{d}{\lambda_U}, (m^2 \cdot K)/W, \quad 4.1$$

kus:

- d materjalikihi paksus, m (paksus d võib erineda nimipaksusest, näiteks kui kokkusurutav materjal on kokkusurutud seisus, on d väiksem kui nimipaksus või vajadusel võib d väärtuse võtta arvestades materjali paksuse tolerantsiga, näiteks kui see on negatiivne).

Piirdetarindite pindade soojustakistus sõltub temperatuurist (õhu ja ümbritsevate pindade), pinna omadustest, geomeetriast, suunatusest, õhu liikumise kiirusest. Piirde soojuslähivuse arvutamisel kasutatakse pindade soojustakistuse arvutussuurus (vt. Tabel 4.4). Horisontaalse soojusvoo suund võib erineda horisontaalist kuni $\pm 30^\circ$.

Tabel 4.4 Piirde pindade keskmised soojustakistused piirdetarindi soojuslähivuse arvutamisel

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

Piirdetarindi kogusoojustakistuse R_{tot} arvutus sõltub sellest, kas tegemist on soojuslikult homogeense või mittehomoogeense piirdetarindiga. Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus R_T , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse valemiga 4.2.

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, (m^2 \cdot K)/W \quad 4.2$$

kus:

R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt. Tabel 4.4;

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

R_{se} piirde välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt. Tabel 4.4.

Piirde soojusläbivus U , $W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga 4.3 ümardatuna kahe kohani peale koma:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}, W/(m^2 \cdot K) \quad 4.3$$

4.5.1.3 Mittehomoogeense piirdetarindi soojusläbivus

Tavaliselt ei koosne ükski piirdetarind täiesti homogeensetest materjalikihtidest. Erinevate kihtide vahel on alati sidemed, näiteks puitkarkass-seina soojustuse kihis on kandepostid, katuslaes sarikad jne. Mittehomoogeensuse mõju saab leida mitmeti: 2D/3D soojuslevi modelleerimist või kasutades lihtsustatud arvutusmetoodikat.

Praktika näitab, et tegelikult paigaldatakse puitkarkass-seina kandeposte või katuslakke sarikaid rohkem, kui nominaalsamm (tavaliselt 60cm). Seetõttu on puitpostide ja -sarikate mõju piirdetarindi soojusläbivusele oluliselt suurem. Täiendavaid poste lisandub rohkem moodulpaneelidest ehitamise korral (kuna paneelide otstesse lisanduvad täiendavad postid, mida kohapeal ehitamise korral ei paigaldada), liigendatud seinaga korral (kuna nurkadesse on vaja täiendavaid poste), paljude akendega seinaga korral (kuna akende ümber lisanduvad postid), koondatud koormuste korral (kuna tuleb paigaldada lisaposte) jne. Tööjooniste staadiumis on võimalik postide täpne arv arvesse võtta. Kuna esimesed sisekliima- ja energiatõhususarvutused tehakse juba ehitusloa taotlemiseks eelprojekti, tuleb postide tihedam samm võtta arvesse juba eelprojekti staadiumis. Kui postide arv pole täpselt teada, võib juhinduda võib järgnevatest soovitusetest:

- vähe liigendatud hoonekorral arvestatakse soojustust katkestavaid poste/sarikaid/talasisid 1,5 korda rohkem (600mm asemel 400mm);
- rohkem liigendatud, paljude akendega ning seinale tulevate koondatud koormustega hoone korral arvestatakse soojustust katkestavaid poste/sarikaid/talasisid 2 korda rohkem (600mm asemel 300mm).

4.5.1.3.1 Mittehomoogeense piirdetarindi soojusläbivuse lihtsustatud arvutusmetoodika

Lihtsustatud meetoodika kohaselt leitakse mittehomoogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus, R_{tot} $(m^2 \cdot K)/W$ valemiga 4.4 ja ümardatakse kahe kohani pärast koma:

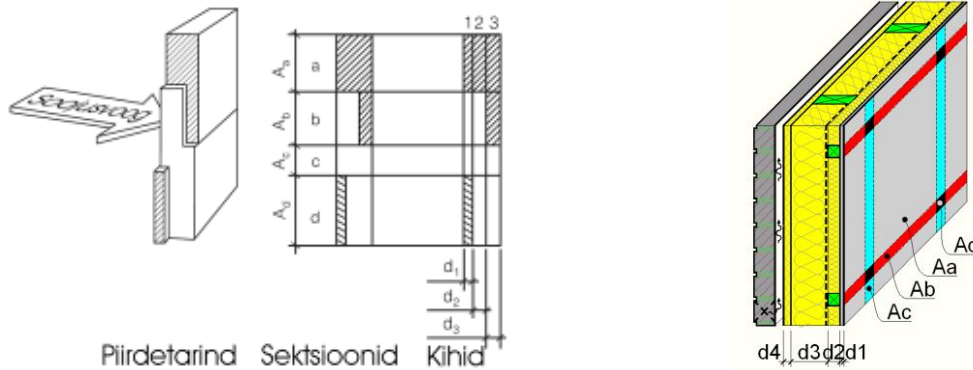
$$R_{tot} = \frac{R_{tot,upper} + R_{tot,lower}}{2}, (m^2 \cdot K)/W \quad 4.4$$

kus:

$R_{tot,upper}$ mittehomoogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone), $(m^2 \cdot K)/W$;

$R_{tot;lower}$ mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid kihte), $(m^2 \cdot K)/W$.

Kogusoojustakistuse ülemise piiriväärtuse ja alumise piiriväärtuse arvutamiseks tuleb piirdetarind tükeldada soojuslikult homogeenseteks sektsioonideks ja kihtideks, vt. joonis 4.2.



Joonis 4.7 Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi skeem (vasakul) ja näide sektsioonide ja kihtide jaotusest puitsõrestikseinal (paremal).

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus $R_{tot;upper}$ $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse piirdetarindi pinnaga risti olevate sektsioonide soojusläbivuste kaalutud keskmise summana, eeldades ühemõõtmelist soojuslevi, vastavalt valemile 4.5:

$$R_{tot;upper} = \frac{\sum A}{\frac{A_a}{R_{tot;a}} + \frac{A_b}{R_{tot;b}} + \dots + \frac{A_n}{R_{tot;n}}}, (m^2 \cdot K)/W \quad 4.5$$

kus:

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

$R_{tot;a}, \dots, R_{tot;n}$ piirde üksikute sektsioonide soojustakistused.

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus $R_{tot;lower}$, $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühemõõtmeliste soojusvoogude summana vastavalt valemile 4.6:

$$R_{tot;lower} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, (m^2 \cdot K)/W \quad 4.6$$

kus:

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

R_1, R_x, R_n iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse vastavalt valemile 4.1 (soojuslikult homogeneenne kiht) või vastavalt valemile 4.7 (soojuslikult mittehomogeneenne kiht), $(m^2 \cdot K)/W$;

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

$$R_x = \frac{\sum A_x}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}}, (m^2 \cdot K)/W \quad 4.7$$

kus:

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

R_{xa}, \dots, R_{xn} mittehomogeense kihi üksikute osade soojustakistused, mis arvutatakse vastavalt valemile 4.7.

Piirde soojusläbivus U , $W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga 4.8 ümardatuna kahe kohani peale koma:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}, W/(m^2 \cdot K) \quad 4.8$$

Eelnevalt esitatud mittehomogeensete materjalikihtidega piirde soojustakistuse lihtsustatud arvutusmeetodit ei saa kasutada:

- kui mittehomogeense kihi materjalide soojuseri juhtivused erinevad üle viie korra;
- kui soojustakistuse ülemine ja alumine piirväärtus erinevad üle 1,5 korra;
- kui arvutusviga on suurem kui 20%.

Sellistel juhtudel tuleb soojustakistuse arvutamiseks kasutada temperatuurivälja arvutusmeetodit või külmasillad tuleb eraldi arvesse võtta (vt. EVS-EN ISO 10211).

4.5.1.4 Soojusläbivuse parandustegurid

Arvutustes kasutatakse korrigeeritud soojusläbivust mis arvestab soojustuse paigaldusvigade (Joonis 4.8) ja mikrokonvektsiooni mõju, mehaaniliste kinnitite mõju, sademete mõju pööratud katustele. Korrigeeritud soojusläbivus, U_c , saadakse arvutatud soojusläbivusele, U , paranduse ΔU lisamisega, valem 4.9.

$$U_c = U + \Delta U = \Delta U_g + \Delta U_a + \Delta U_f + \Delta U_r \quad 4.9$$

kus:

ΔU_g õhupiludest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;

ΔU_a soojustuse õhujuhtivusest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$.

ΔU_f mehaanilistest kinnititest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;

ΔU_r pööratud katusest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;

Soojustuse ebaideaalsus, õhupilud ja tühimikud võivad olla põhjustatud soojustusplaatide mõõtude erinevusest, soojustuse lõikamisel tekkivast mõõdu veast, teiste ehitusosade paigaldustolerantsist või mittetasapindsusest. Õhupilud suurendavad tarindi soojusläbivust suureneva konvektiivse või kiirgusliku soojuslevi tõttu, mille mõju sõltub õhupilu suurusest, asukohast, suunast. Õhupilude ja soojustusesisese konvektsiooni puhul on tegemist piirdetarindi soojusliku ebaideaalsusega. Parandustegurid ei arvesta soojustuse paigalduse jämedate vigadega.

4.5.1.4.1 Õhupiludest tingitud parandus

Soojustuse ebaideaalsuse, õhupiludest ja tühimikest (Joonis 4.8) tingitud parandust ΔU_g , mõjutavad kolm paigaldustaset, mis sõltuvad õhupilude ulatusest ja nende paiknemisest, valem 4.10 ja Tabel 4.5:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left(\frac{R_l}{R_{tot}} \right)^2, W/(m^2 \cdot K) \quad 4.10$$

kus:

$\Delta U''$ tegur, vt. Tabel 4.5, $W/(m^2 \cdot K)$;

R_l pilusid sisaldava materjalikihi soojustakistus;

R_{tot} piirdetarindi kogusoojustakistus.

Tabel 4.5 Tühimikest ja õhupiludest tingitud parandus

Soojustuse paigaldustase	$\Delta U''$, W/(m ² ·K)	Kirjeldus
0	0.00	<p>Täiesti ideaalselt paigaldatud soojustus: soojustus on paigaldatud nii, et õhuringlus soojustuse soojemal küljel on võimatu. Soojustus täidab kogu talle ettenähtud ruumi. Kui plaatsoojustus paigaldatakse karkassipostide või sarikate vahele, siis praktikas ei saa see nõue olema tavaliselt täidetud.</p> <p>Eeldused, kus soojustus täidab ideaalselt kogu talle planeeritud ruumi on tavaliselt täidetud:</p> <p>pidev, pool- või täissulundühendusega või kogu paksuses elastselt tihendatud liitekohtadega soojustus (näiteks täissulundühendusega ja teibitud liitekohtadega tuuletõkkeplaat; pool- või täissulundühendusega jäik (EPS, XPS, PUR või PIR) soojustus; elastne soojustus (min.vill) krohvitud soojustussüsteemis või katuslaes); piisava tihendusega puistevill kaskassipostide vahel, mis täidab kõik tühimikud ega vaju aja jooksul (näiteks tselluvill soojustus 70-90 kg/m³) ega tõmbu kokku (piisavalt elastne kohapeal pritsitav PIR või PUR soojustus).</p> <p>soojustust paigaldavatel ehitustöölistel on kutseoskuste tõendamiseks kutsetunnistus EKR tase 5.</p>
1	0.01	<p>Hästi paigaldatud soojustus, kus esinevad vaid mõned soojustuskihti läbivaid õhupraod, aga õhuringlust soojustuse soojemal poolel ei esine.</p> <p>Eeldused, kus soojustus täidab ideaalselt kogu talle planeeritud ruumi on tavaliselt täidetud:</p> <p>põkkliitekohtadega tuuletõkkeplaat, mille liitekohad on tihendatud;</p> <p>pool- või täissulundühendusega jäik (EPS, XPS, PUR või PIR) soojustus;</p> <p>ühekihiline pidev soojustus, mis on kaetud mõlemalt poolt õhku mitte läbilaskva materjaliga (näiteks krohvitud soojustussüsteemis);</p> <p>elastne soojustus (elastne plaat vill) on täielikult sarikate, sõrestiku, talade või muude sarnaste tarindite komponentide vahel;</p> <p>jäik (EPS, XPS, PUR või PIR) põkkliitekohtadega pidev soojustus mitmekihiline soojustus, mille liitekohad ei lange kokku ja on täiendavalt tuuletõkkeplaadi kaetud);</p> <p>soojustust paigaldavatel ehitustöölistel on kutseoskuste tõendamiseks kutsetunnistus EKR tase 4, 5.</p>
2	0.04	<p>Hästi paigaldatud soojustus, kus aga esinevad mõned soojustuskihti läbivad õhupraod ja on võimalik õhuringlus soojustuse soojemal poolel.</p> <p>Eeldused, kus soojustus täidab ideaalselt kogu talle planeeritud ruumi on tavaliselt täidetud:</p> <ul style="list-style-type: none"> • põkkliitekohtadega tuuletõkkeplaat, mille liitekohti ei saa teipida; • tühjade püstvuukidega laotud väikeplokkmüüritis; • jäik põkkliitekohtadega soojustus, mis on tuuletõkkega katmata; • soojustust paigaldavatel ehitustöölistel ei ole kutsetunnistust.

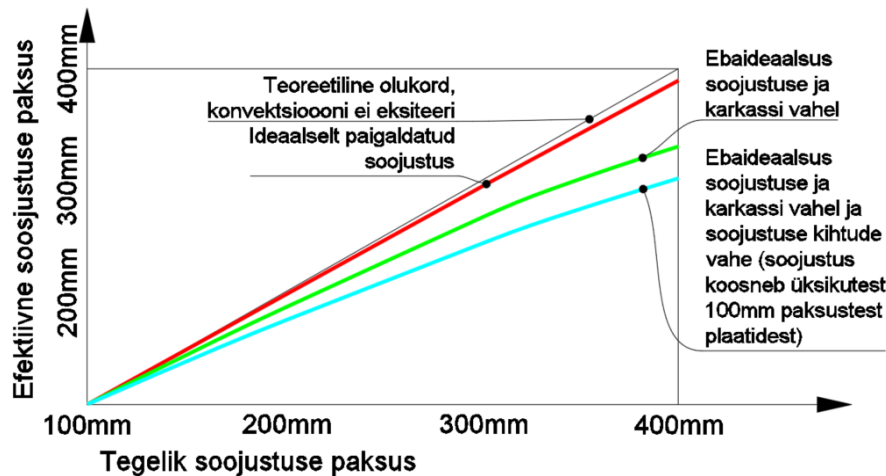


Joonis 4.8 Kui soojustuse paigaldamisel jäävad piirdetarindisse suuremal või väiksemal määral tühimikud, õhukanalid vms, siis need suurendavad piirdetarindi soojusläbivust. Vasakul hästi paigaldatud soojustus, paremal näide puudulikust kvaliteedist.

4.5.1.4.2 Mikrokonvektsioonist tingitud parandus

Kui soojustus on õhku läbilaskev tekib soojustuse sees õhu liikumine. Soojustuse välimises kihis, kus on õhk tihedam ja raskem (kuna temperatuur on madalam) võrreldes soojustuse kihi sisemise kihiga, kus on õhk hõredam ja kergem (kuna temperatuur on kõrgem). See õhu tiheduste erinevus põhjustab soojustusesisest õhuliikumist ehk mikrokonvektsiooni.

Kuna mikrokonvektsiooni mõju suureneb soojustuse paksuse lisandudes (Joonis 4.9), on soovitatav õhku juhtiv soojustus (nt kerged villad) jaotada konvektsioonitõkkega üksikuteks, maksimaalselt 200mm paksusteks, osadeks.



Joonis 4.9 Soojustuse sisese konveksiooni mõju 2,5m kõrguse tarindi efektiivsele soojustuse paksusele erinevates olukordades (Kokko jt. 1997).

Võimaliku soojustusesisese mikrokonveksiooni mõju piirde soojuslähivusele arvestab parandustegur ΔU_a , valem 4.11.

$$\Delta U_a = \Delta U_a'' \cdot \left(\frac{R_l}{R_{tot}} \right)^2, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \quad 4.11$$

kus:

$\Delta U_a''$ tegur, mis mõjub seintele või järsemale kui 45° kaldega katuslaele, vt. tabel 4.11, ning katuslaele ja põrandale (postvundamendi puhul või kui põrandaaluse ruumi tuulutavade pindala on suurem kui 8% põranda pindalast), vt. tabel 4.12;

R_l õhku juhtivat materjali sisaldava kihi soojustakistus;

R_{tot} piirdetarindi kogusoojustakistus.

Soojustuse kaitsetasemed:

- soojustus on soojustusest soojemal poolel paikneva õhutõkke ja soojustusest külmemal poolel paikneva tuuletõkke vahel, millega on välditud konveksioonist tingitud soojuskaod (õhutõkke õhujuhtivus on $<1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ja tuuletõkke õhujuhtivus on $<10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$). Soojustuse välispinnas olevaid õhukanaleid (näiteks katuslae puhul) on $<15\%$ soojustuse pindalast;
- soojustuse soojemal poolel on nõuetekohane õhutõke, külmem pool on katmata.

Tabel 4.6 Soojustuse sisesest mikrokonvektsioonist tingitud parandus, $\Delta U_a''$

Soojustuse kaitsetase	Soojustuse õhujuhtivus $L, m^3 / (m \cdot s \cdot Pa)$	Soojustuse eritakistus $R_a, (kPa \cdot s) / m^2$	Parandustegur $\Delta U_a''$, $W/(m^2 \cdot K)$		
			Soojustuse 0	1	2
Vertikaalsele ja vertikaalist kuni 45° kaldu olevale soojustusele					
a	$\leq 30 \cdot 10^{-6}$	33	0	0	0
	$50 \cdot 10^{-6}$	20	0	0	0,005
	$100 \cdot 10^{-6}$	10	0	0,005	0,010
	$200 \cdot 10^{-6}$	5	0,005	0,010	0,015
	$400 \cdot 10^{-6}$	2,5	0,010	0,015	0,020
	$800 \cdot 10^{-6}$	1,25	0,015	0,025	0,050
b	$\leq 30 \cdot 10^{-6}$	33	0	0	0
	$50 \cdot 10^{-6}$	20	0,005	0,005	0,010
	$100 \cdot 10^{-6}$	10	0,005	0,010	0,015
	$200 \cdot 10^{-6}$	5	0,015	0,020	0,030
	$400 \cdot 10^{-6}$	2,5	0,030	0,045	0,060
	$800 \cdot 10^{-6}$	1,25	0,060	0,090	0,120
Horisontaalsele ja vertikaalist üle 45° kaldu olevale soojustusele (kõik soojustuse paigaldustasemed)					
a	$\leq 100 \cdot 10^{-6}$	10	0		
	$200 \cdot 10^{-6}$	5	0,005		
	$400 \cdot 10^{-6}$	2,5	0,005		
	$800 \cdot 10^{-6}$	1,25	0,010		
b	$\leq 50 \cdot 10^{-6}$	20	0		
	$100 \cdot 10^{-6}$	10	0,005		
	$200 \cdot 10^{-6}$	5	0,010		
	$400 \cdot 10^{-6}$	2,5	0,010		
	$800 \cdot 10^{-6}$	1,25	0,020		

Näiteid mõnede soojusmaterjalide õhujuhtivusest:

- Klaasvill
 - $\lambda_D = 0,032 W/(m \cdot K)$, $\rho = 30 kg/m^3$: $L = 50 m^3 / (m \cdot s \cdot Pa)$;
 - $\lambda_D = 0,037 W/(m \cdot K)$, $\rho = 15 kg/m^3$: $L = 120 m^3 / (m \cdot s \cdot Pa)$;
 - $\lambda_D = 0,040 W/(m \cdot K)$, $\rho = 13 kg/m^3$: $L = 180 m^3 / (m \cdot s \cdot Pa)$;
- Kivivill
 - $\lambda_D = 0,034 W/(m \cdot K)$, $\rho = 35 kg/m^3$: $L = 100 m^3 / (m \cdot s \cdot Pa)$;
 - $\lambda_D = 0,036 W/(m \cdot K)$, $\rho = 28 kg/m^3$: $L = 120 m^3 / (m \cdot s \cdot Pa)$;
- Tselluvill
 - $\lambda = 0,04 - 0,05 W/(m \cdot K)$, $\rho = 40 kg/m^3$: $L = 80 - 120 m^3 / (m \cdot s \cdot Pa)$;

4.5.1.4.3 Mehaanilistest kinnititest tingitud parandus

Kui isolatsioonikihti läbib mehaaniline kinniti, saadakse soojusläbivuse parandus valemist 4.12:

$$\Delta U_f = n_f \chi, W/(m^2 \cdot K) \quad 4.12$$

kus:

- n_f kinnitite arv ruutmeetri kohta, m^{-2} ;
- χ kinniti punktsoojusläbivus, W/K (esitab tootja või arvutatakse vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211).

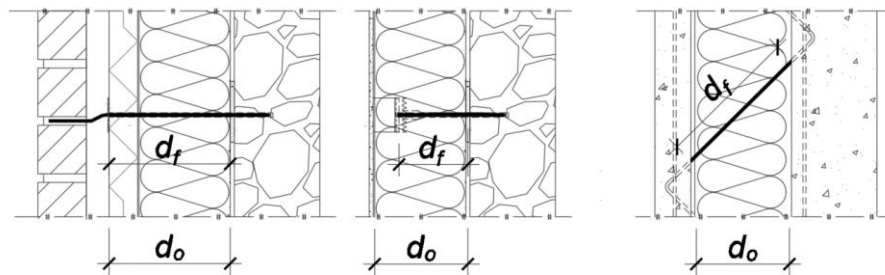
Ligikaudselt saab mehaaniliste kinnitite mõju arvestada ka valemiga 4.13:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_l} \cdot \left(\frac{R_l}{R_{tot}} \right)^2, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

4.13

kus:

- α 0,8 kui kinniti läbib tervet soojustust; $\alpha = 0,8 \times \frac{d_1}{d_0}$, kui on tegemist süvistatud kinnitiga (Joonis 4.10). Vt ka Tabel 4.7
- n_f kinnitite arv ruutmeetri kohta, m⁻²;
- λ_f kinnitite soojuserijuhtivus, W/(mK);
- A_f kinniti ristlõikepindala, m²;
- d_0 soojustuse paksus, mida kinniti läbib, m;
- d_l soojustust läbiva kinniti pikkus, m (kui kinniti paigaldatakse nurga all, võib d_l olla pikem, kui soojustuse paksus);
- R_l soojustuse soojustakistus, kus kinniti paikneb, m²K/W;
- R_{tot} tarindi kogusoojustakistus (ilma parandusteguriteta), m²K/W.



Joonis 4.10 Kinniti skeemid.

Tabel 4.7 Valemi 4.13 teguri α väärtused erinevatele kinnititele ja soojustuste paksustele VTT uuringu alusel. Soojustuse soojuserijuhtivus ei mõjuta α

Kinniti läbimõõt, mm	Kinniti materjal	Soojustuse paksus	α
5	Roostevaba teras	240	0,94
5	Teras	240	0,90
10	Teras	240	0,81
5	Roostevaba teras	150	0,91
5	Teras	100	0,79
5	Roostevaba teras	50	0,78

Raudbetoon välisseinapaneelil riputatakse välimine fassaadikoorig sisemine kandeseina külge tüüblite või diagonaalsidemete abil, joonis 4.12.



Joonis 4.11 Erinevaid raudbetoon välisseinapaneeli fassaadikoorigu kinnituslahendusi

Läbimõõduga $\varnothing 5\text{mm}$ roostevabast terasest diagonaalsidemetest põhjustatud täiendav soojuskadu 240mm paksuse soojustusega raudbetoon välisseinapaneeli välisseina soojuslähivusele on esitatud Tabel 4.8. Lisaks koorikute vahelistele sidemetele tuleb arvestada ka tõsteasade ja muude soojustust läbivate osadega, mis suurendavad välisseina soojuslähivust.

Tabel 4.8 Läbimõõduga $\varnothing 5\text{mm}$ roostevabast terasest diagonaalsidemetest põhjustatud täiendav soojuskadu 240mm paksuse soojustusega raudbetoon välisseinapaneeli välisseina soojuslähivusele.

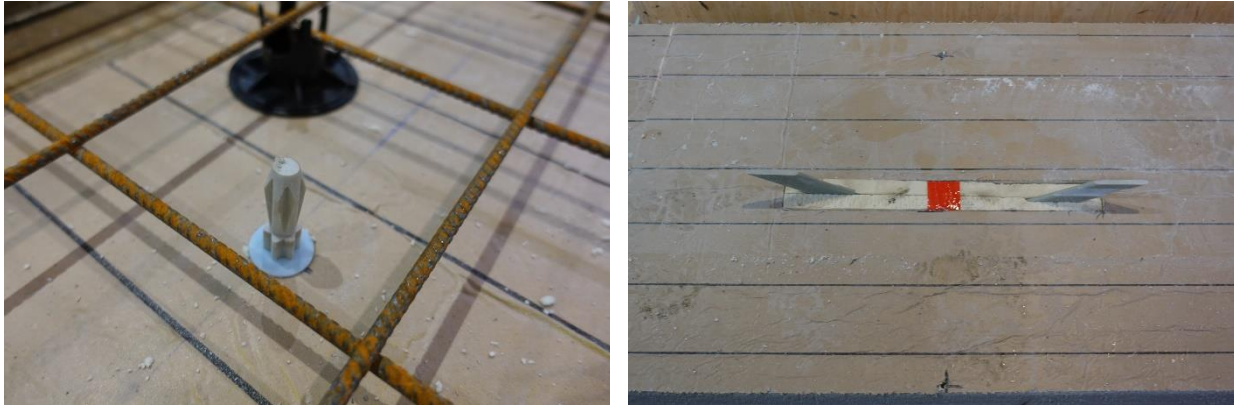
Sidemete samm, m	$\Delta U_f, \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
0,4	0,0077
0,5	0,0061
0,6	0,0051
0,7	0,0044
0,9	0,0034
1,2	0,0026

Diagonaalsidemed jäävad soojustuse vahele, tekitades sinna prao. Probleem on eriti tõsine jäikade soojustuste korral, kuna pehmed soojustused saab pressida peaaegu üksteise vastu nii, et diagonaalsidemed jäävad soojustuse sisse. Jäikade soojustusmaterjalide korral tuleb kõik diagonaalsidemete vahed täita montaaživahuga. See on vajalik nii betooni vuuki valgumise vältimiseks, kuid ennekõike vuugi kui õhuvahet konvektiivse soojuslevi vältimiseks.



Joonis 4.12 Diagonaalsidemetega raudbetoon suurpaneel.

Uuem lahendus on kasutada raudbetoon välisseinapaneeli koorikute ühendamiseks diagonaalsidemete asemel tüüpleid, mille mõju soojuslähivusele on väiksem, joonis 4.14.



Joonis 4.13 Tüüblitega ühendatud fassaadikoorik raudbetoon välisseinapaneelis.

4.5.2 Pinnasega kontaktis olevad piirdetarindid

Pinnasega kontaktis olevad piirdetarindid on: pinnasele toetuv pörand, alt tuulutatav pörand (tagavara kasuks võib seda võib arvutada ka peatükis 4.5.1 kirjeldatud meetodil), keldri sein maaalune osa, keldri pörand. Piirdetarindite soojuslähivuse arvutust käsitleb detailsemalt standardid: EVS-EN ISO 13370. Järgnevalt on esitatud vaid pinnasele toetuva pörand arvutuspõhimõte. Soojuslevi pinnasesse on hoone külgedel kahesuunaline ja hoone nurkades kolmesuunaline. Soojuslevi läbi pörand (keldriseina) sõltub pörand tarindusest (soojustusmaterjal, selle paksus) ja hoone geomeetriast (plaanilahenduse kompaktsus). Ebakompaktne plaanilahenduse tõttu võib pörand soojuslähivus olla korral $\approx +10 \dots +25\%$ suurem ja sokli liitekohta pikkuse lisandumise tõttu võib soojuskadu suureneeda $\approx +10 \dots +60\%$ võrreldes kompaktselt plaanilahendusega hoonega.

Pinnasele toetatud pörand soojuslähivus leitakse valemiga (4.14):

$$U = \frac{1}{R_f + \frac{w}{\lambda_g} + R_g}, \text{ m} \quad (4.14)$$

kus:

R_f on pörandaplaadi soojustakistus (koos sise- ja välispinnatakistustega), kaasa arvatud kõik soojustuskihid plaadi peal, all ja vahel, ning pörandakattematerjali soojustakistus, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ (vt. valemid 4.2 või 4.4);

w on vundamendi sein kogupaksus koos seina kõikide kihtidega, m;

λ_g pinnase soojuserijuhtivus $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$: savi või savimõll: $1,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, liiv või kruus: $2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (võib võtta baasväärtuseks, kui pinnase omadusi täpselt ei ta), homogeenne kivim: $3,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

R_g hoonealuse- ja ümbruse maapinna võrdväärne soojustakistus, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, mis leitakse valemiga (4.15);

$$R_g = \frac{0,457 \times B'}{\lambda_g}, \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \quad (4.15)$$

kus:

B' põranda tunnusmõõt, m, mis leitakse valemiga 4.16. Lõpmatult pika hoone põranda puhul on, B' põranda laius; ruudukujulise põranda korral on B' võrdne põranda ühe külje poole pikkusega.

$$B' = \frac{A}{\left(\frac{P}{2}\right)}, \text{ m}$$

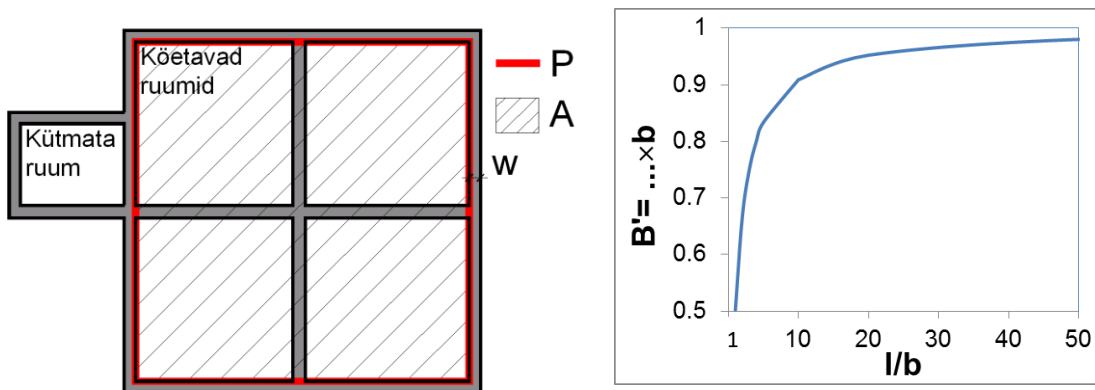
(4.16)

kus:

B' põranda tunnusmõõt, m;

A sisekliima tagamisega ruumide välisseinte vaheline pindala + vaheseinte alune pindala, m²;

P sisekliima tagamisega välisseina perimeeter, m.)

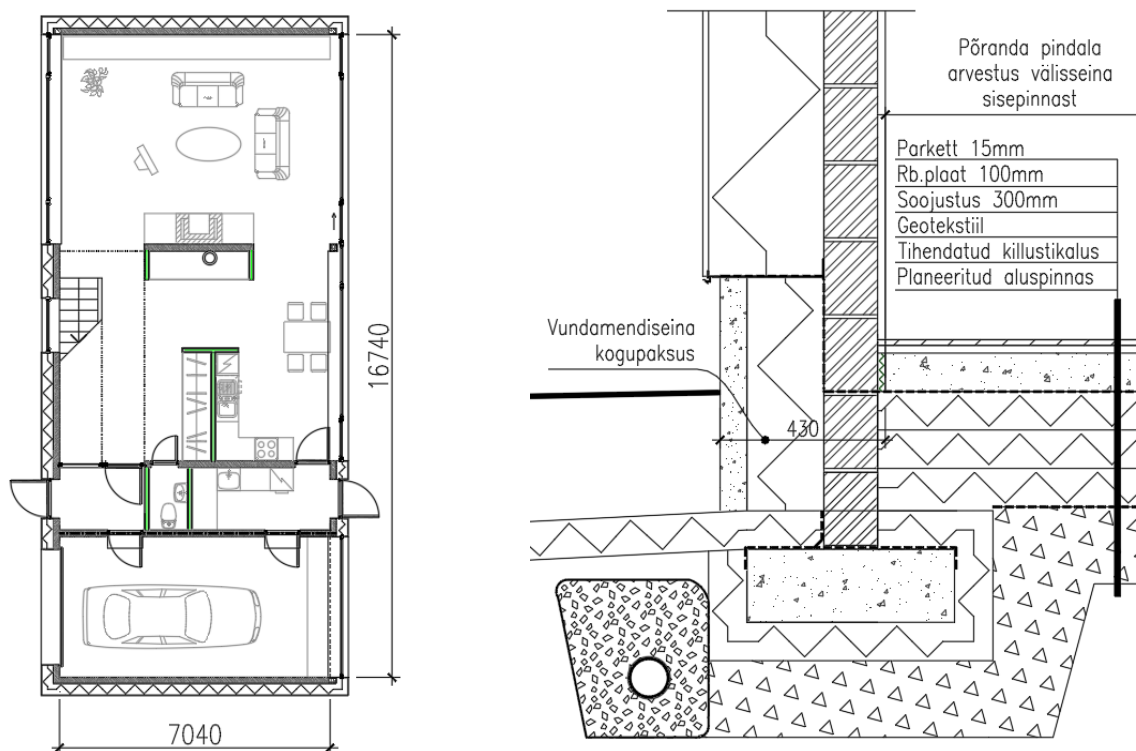


Joonis 4.14 Põranda tunnusmõõdu arvutuseks kasutatavad parameetrid.

Kütmata ruumide (näiteks verandad, garaažid või hoiuruumid) puhul jäetakse P ja A määramisel kütmata ruumid arvesse võtmata (perimeetri määramisel tuleb arvesse võtta kõetava hoone ja kütmata ruumi vahel asuva seina pikkust) ja soojuskadu pinnasesse arvutatakse nii, nagu kütmata ruume ei eksisteeriks.

1.1.1. Pinnasele toetatud põranda soojuslähivuse arvutusnäide

Pinnasele toetatud põranda soojuslähivuse arvutusnäide on esitatud Joonis 4.14-l toodud hoonele.



Joonis 4.15 Arvutusnäites kasutatud hoone esimese korruse plaan(M1:200) ja põranda välisseina liitekoht soklis (M1:20).

Põranda tunnusmõõt B' leitakse valemiga 4.16:

$$B' = \frac{16,74 \times 7,04}{\left(\frac{2 \times (16,74 + 7,04)}{2} \right)} = 4,96 \text{ m}$$

Hoonealuse- ja ümbruse maapinna võrdväärne soojustakistus R_g leitakse valemiga (4.15):

$$R_g = \frac{0,457 \times 4,96}{2,0} = 1,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Põrandaplaadi soojustakistus R_f arvutatakse valemiga 4.2 (soojuslikult homogeenne piirdetarind):

$$R_f = 0,17 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,10}{2,1} + \frac{0,30}{0,035} + 0,04 = 8,94 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Pinnasele toetatud põranda soojusläbivus leitakse valemiga (4.14):

$$U = \frac{1}{8,94 + \frac{0,43}{2,0} + 1,13} = 0,097 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

4.6 PIIRDETARINDITE LIITEKOHTADE JOONSOOJUSLÄBIVUSED

Külmasillad on kohad piirdetarindis, kus soojusjuhtivus on lokaalselt suurem ümbritseva tarindi soojusjuhtivusest. Külmasillad võivad olla geomeetrilised (näiteks välisseina välisnurk, põranda ja välisseina liitumine, välisseina ja akna liitekoht jne.) või põhjustatud ehituskonstruktiiivsest lahendusest (näiteks tarindite liitekohad, soojustusest läbiviigud jne.).

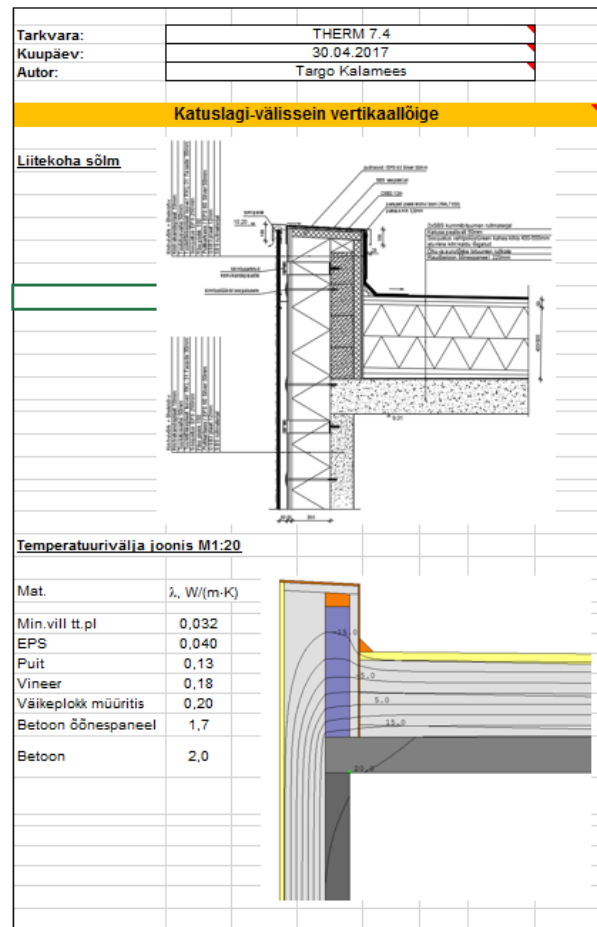
Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu. Liginullenergiahoonete piirdetarindite soojusjuhtivuse üldise vähenemise juures hoone soojuskadudes külmasildade osakaal kasvab.

Tarindite liitekohta soojuslevi ja temperatuurijaotuse arvutusmeetodid on esitatud standardites: EVS-EN ISO 10211, EVS-EN ISO 10077-2 ja ISO 15099.

Kui projekteeritakse tüüptarindite ja tüüpsõlmede abil, mille kohta on usaldusväärsed soojuslikud andmed olemas, siis võib ka neid andmeid kasutada. Selliseid väärtusi on toodud näiteks liginullenergiahoonete joonsoojuslähivuste kataloogis.

Energiatõhususarvutustes kasutatud joonsoojuslähivuse väärtused esitatakse ehitusprojekti vastavalt joonisele Joonis 4.16

Tarkvara:	THERM 7.4		
Kuupäev:	30.04.2017		
Autor:	Targo Kalamees		
Katuslagi-välissein vertikaallõige			
Lähteandmed	$R_s, m^2 \cdot K/W$	$h_s, W/(m^2 \cdot K)$	$\theta_s, ^\circ C$
Välispind (välisõhk)	0.04	25.0	-20.0
Välispind (pinna)	0	1000	-20.0
Sisepind. Joonsoojuslähivuse arvutuseks			
- Horisontaalne soojusvoog (sein)	0.13	7.7	21.0
- Soojusvoog üles (lagi)	0.1	10.0	21.0
- Soojusvoog alla (põrand)	0.17	5.9	21.0
Sisepind. Külmasilla kriitilisuse hindamiseks			
- Horisontaalne soojusvoog (sein)	0.25	4.0	21.0
- Soojusvoog üles (lagi)	0.1	10.0	21.0
Sise- ja väliskesk. temperatuuride vahe, $\theta_s - \theta_e$			41.0 K
Liituvate tarindite soojuslähivused			
1. liituva tarindi soojuslähivus, U_1		0.1142	W/m ² K
2. liituva tarindi soojuslähivus, U_2		0.0781	W/m ² K
Liituvate tarindite arvutusulatus (arvutusmudelid)			
1. liituva tarindi arvutusulatus, l_{11} (sisemõõdud)		1300	mm
1. liituva tarindi arvutusulatus, l_{e1} (välismõõdud)		2040	mm
2. liituva tarindi arvutusulatus, l_{12} (sisemõõdud)		2262	mm
2. liituva tarindi arvutusulatus, l_{e2} (välismõõdud)		2692	mm
Tarindite liitekohta arvutusulatuse läbiv soojusvool, Φ		16.6168	W
Liituvate tarindite arvutusulatuse keskmine soojuslähivus, U		0.1138	W/m ² K
Madalaim sisepinna temperatuur		18.7	°C
Liitekohta arvutusulatuse soojuserikadu ja joonsoojuslähivus		0.405	
Liituvate tarindite arvutusulatuse soojuserikadu (2D arvutusest), L_{2D}		0.405	W/(m·K)
Liituvate tarindite arvutusulatuse ligikaudne (1D) soojuserikadu (sisemõõdud), $U_1 \times l_{11} + U_2 \times l_{12}$		0.321	W/(m·K)
Liituvate tarindite arvutusulatuse ligikaudne (1D) soojuserikadu (välismõõdud), $U_1 \times l_{e1} + U_2 \times l_{e2}$		0.438	W/(m·K)
Tarindite liitekohta joonsoojuslähivus Ψ_1 (sisemõõdud)		0.085	W/(m·K)
Tarindite liitekohta joonsoojuslähivus Ψ_e (välismõõdud)		-0.033	W/(m·K)
Tarindite liitekohta sisepinna minimaalne temperatuurindeks f_{Rsi}		0.944	
Eestis on elamute tarindite liitekohtade temperatuurindeksi piirsuuruseks $f_{Rsi} > 0.8$.			
Eestis on elamute akende temperatuurindeksi piirsuuruseks $f_{Rse} > 0.7$.			



Joonis 4.16 Energiatõhususarvutustes kasutatud joonsoojuslähivuse arvutuse lähteandmete ja tulemuste esituvorm

Tarindite liitekohtades saavad olla nii geomeetrised kui ka konstruktiivsed külmasillad. 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 maani ulatuva akna korral);
- akna seinakinnitus;
- rõdu ja varikatuse kinnitus välisseinale.

Kui projekteeritakse tööprojektist üldisemat staadiumi (eelprojekt või põhiprojekt), kirjeldatakse projektlahenduse elemendid tehniliste omaduste alusel, mis jäävad hilisemates projekteerimisstaadiumites lõpliku valiku aluseks. Projektlahendus on võimalik korralikult joonestada ja ehituslahendus tekstiliselt kirjeldada vaid siis, kui võetakse aluseks ehitamisel realselt kasutatavate toodete joonised (näiteks reaalsed aknaprofiilid). Ainult sel juhul on ehitajal selline projekt, mille järgi ehitada, ja järelevalvel, mille alusel tulemuse kvaliteeti kontrollida. Tarindite liitekohta joonise sobiv mõõtkava on M1:10 või M1:5.

4.7 PIIRDTEARINDITE NIISKUSLIKU TOIMIVUSE TAGAMINE

Hoone projekteerimise käigus töötatakse välja piirdetarindite niiskusturvalisuse tagamise põhimõtted ning soojuslikult ja niiskuslikult toimivate piirdetarindite lahendused. Need peavad tagama, et:

- hoone ei oleks otseselt või kaudselt niiskusest kahjustatud ja niiskus ei ületaks kriitilist niiskust sh. oleks tagatud niiskus- ja hallituskahjustuste ning materjalide lagunemise vältimine;
- suurima niiskuskoormuse tingimustes ei oleks ületatud kriitiline niiskus;
- määratakse:
 - ehitusniiskuse väljakuivamise perioodid, et ehituspakkumise koostamisel saaks arvestada niiskusega seotud tööetappe ning millal toimub väljakuivamine,
 - niiskusturvalisuse saavutamiseks vajalike niiskuse mõõtmiste kava; kavaga määratakse, milliseid mõõtmisi ja millise meetodiga ehitusplatsil tehakse, mõõtegraafik ja mõõtepunktide asukohad,
 - ehitusmaterjalide ja -toodete ilmastikukestvusest tulenev ehitusaegse ilmastikukaitse vajadus.

Niiskusturvalisuse tagamine on tervikprotsess, mis algab hoone kavandamisest ja lõpeb hoone haldamisega. Nii projekteerimisettevõtte kui ka ehitusettevõtte kvaliteedisüsteem peab tagama hoonete niiskusturvalisuse ja piirdetarindite ehitusfüüsikalise toimivuse. Nii projekteerimisprotsessi kui ka ehitusprotsessi peab olema kaasatud ehitusfüüsika spetsialist, kelle ülesanne on tagada piirdetarindite niiskusliku toimivuse ja niiskusturvalisuse tagamine. Ehitusfüüsika spetsialist võib olla ehitusinseneri, arhitekti, energiatõhususe või mõne muu valdkonna taustaga. Peaprojekterija või projekteerimise projektijuhi ülesanne on tagada ehitusfüüsika spetsialisti olemasolu projekteerimisprotsessis. Ehitusprotsessis on ehitusfüüsika spetsialisti olemasolu tagamine peatöövõtja või ehitamise projektijuhi ülesanne. Hooned võib jaotada vastavalt hoone ehitusfüüsikalisele keerukusele klassideks (vt. Tabel 4.9).

Tabel 4.9 Hoone ehitusfüüsikalise projekteerimise klassid (Lehtinen 2001 alusel)

Mõjutegur	Hoone soojus- ja niiskustehnilise projekteerimise keerukusklass		
	EF1	EF2	EF3
Hoone sisene niiskuskoormus	Suure sisemise niiskuskoormusega hooned. Niiskusklass 4, 5 (EVS_EN_15026, EVS_EN_ISO_13788)	Keskmise sisemise niiskuskoormusega hooned. Niiskusklass 3 (EVS_EN_15026, EVS_EN_ISO_13788)	Väikese või väga väikese sisemise niiskuskoormusega hooned. Niiskusklass 1, 2 (EVS_EN_15026, EVS_EN_ISO_13788)

Hoone väline niiskukoormus	Mere lähedal olev hoone; suur kaldvihmakooormus; põhjavee tase on piirdetarindite tasemel, kõrged hooned	Keskmine kaldvihmakooormus (kitsad räästad); mõjub kapillaarne pinnaseniiskus	Väike kaldvihmakooormus (näiteks laiad räästad, madal hoone); väike tuulekooormus; kuiv, vett hästi läbilaskev pinnas
Hoone geomeetria	Keerulise geomeetriaga katused ja fassaadid; palju pinnasega kontaktis olevaid piirdetarindeid ja erineva soojus- ja niiskukoormusega ruume	Erineva kõrgusega katused; sisse- ja väljaastega fassaadid; palju pinnasega kontaktis olevaid piirdetarindeid ja erineva soojus- ja niiskukoormusega ruume	Lihtne vorm; lihtsa geomeetriaga seinad, kastus ja vundament
Niiskusturvalisuse tase	Kõrge: niiskuskahjustuste mõju hoone toimivusele on suur; piirdetarindideid on raske kontrollida, hallata ja remontida	Keskmine: võimalike kahjustuste ala ei ole väike; piirdetarindite olukorda on osaliselt raske kontrollida, hallata ja remontida	Väike: piirdetarindite olukorda on kerge kontrollida ja hallata; võimalike niiskuskahjustuste tagajärjed on väikesed ja piiratud
Sisekliima taotlustase	Sisekliimaklass I Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitav ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, nagu puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed. Ootus parimale sisekliimale.	Sisekliimaklass II Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Ootus normaalsele sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritud hoonetes. Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Ootus mõõdukale sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes.	Sisekliimaklass III Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Ootus mõõdukale sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes.
Hoone kasutusiga	>50	50	<50

Kõikidele ehitusprojekti esitatud piirdetarinditele peab olema tehtud soojus- ja niiskusliku toimivuse kontroll.

Piirdetarindite niiskustehnilist turvalisust on võimalik tagada erinevate soojustusmaterjalidega kõikide soojusläbivuste juures. Niiskustehnilise toimivuse juures on määravaks nii kliimatingimused ja tarindi soojusläbivus kui ka soojustuskihi, õhu- ja aurutõkke- ning tuuletõkkematerjalide omadused. Piirdetarindi soojusläbivuse vähendamisel on suurema soojustakistusega ja veeauru juhtivusega tuuletõkkekihi ja tõhusa õhu- ja aurutõkkekihi kasutamise korral niiskusturvalisus paremini tagatud.

Puitkarkass piirdetarindi niiskustehnilist toimivust parandavad tuuletõkkeplaadi soojustakistuse suurendamine ja aurutakistuse alandamine ning välispiirde siseosa aurutakistuse suurendamine, ning mõningal määral ka soojustuse ja tuuletõkkeplaadi hügroskoopsuse tõstmine. Piirdetarindi projekteerimisel tuleb arvestada sellega, et mida suurem on siseruumide niiskukoormus, seda kõrgem on piirdetarindi niiskustase ning mida väiksema aurutakistusega on õhu- ja aurutõkkekiht, seda kõrgemale tõuseb piirdetarindi niiskustase.

Piirdetarindis kasutatava puidu niiskussisaldus peab ehitusperioodil olema alla 15–18% ning ehituse ajal peab puit olema sademete eest kaitstud.

Vihma välisseina sisse tungimise eelduseks on tõhus vihmakaitse: soojustusest ja tuuletõkkest lahus seisev fassaadikate.

4.8 AVATÄITED

4.8.1 Aknaklaaside päikese- ja valgusläbivus

Lisaks soojusläbivusele on aknaklaasidel kaks keskset omadust, mis kirjeldavad nende valgusläbivust ja päikesevarjestust (joonis 4.17). Kuna nähtav valgus moodustab ainult teatud osa päikesekiirgusest, siis kasutatakse päikesekiirguse läbivuse ja valgusläbivuse kirjeldamiseks eraldi näitajaid. **Aknaklaasi päikeseläbivustegur g (-)** näitab, kui suur osa päikesekiirgusest, mis langeb aknaklaasile, siseneb ruumi nii otse läbi klaasi kui ka klaasidesse neeldudes, selle temperatuuri tõstes ning konvektiivse ja kiirgusliku soojusülekanedena klaasi sisepinnalt ruumi sisenedes. Mida väiksem on aknaklaasi päikeseläbivustegur, seda vähem päikesekiirgust ruumi siseneb. Näiteks kui klaaspaketi päikeseläbivustegur on 0.6, siis 60% aknaklaasile langevast päikesekiirgusest siseneb ruumi ja 40% peegeldub, neeldub ja levib aknaklaasilt tagasi. Kütteperioodil vabasoojuse võimalikult hästi ära kasutamise seisukohalt on otstarbekas valida klaasid võimalikult suure päikeseläbivusteguriga ning ruumide ülekuumenemine tagada vajaduspõhise päikesevarjestusega.

Aknaklaasi valgusläbivustegur τ_{vis} (-) iseloomustab aknaklaasi nähtava valguse läbilaskvust sarnaselt päikeseteguriga. Kui aknaklaasi valgusläbivustegur on 0.8, siis 80% aknaklaasile langevast nähtavast valgusest siseneb ruumi ja 20% peegeldub tagasi ja neeldub. τ_{vis} kehtib otsesele valgusele ja **hajuvalguse läbivusteguri τ** saamiseks korrutatakse τ_{vis} arvuga 0.91. Päevavalguse seisukohalt otstarbekas valida klaasid võimalikult suure valgusläbivusega.

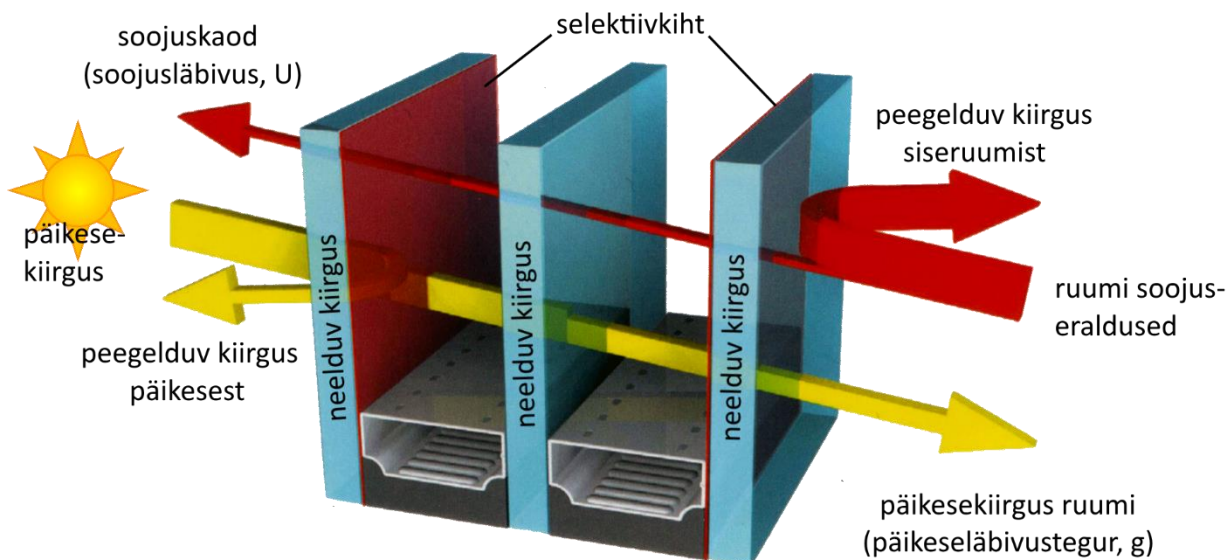
Topeltfassaadide puhul arvutatakse summaarsed päikese- ja valgusläbivustegurid. Näiteks, kui välise klaasi $g = 0.85$ ja akna klaaspaketi $g = 0.5$, siis summaarne $g = 0.85 \cdot 0.5 = 0.43$. Vastavalt arvutatakse ka summaarne valgusläbivustegur. Topeltfassaadi maksimaalseks valgusläbivuseks võib saavutada võimalikult kirkaste klaasidega näiteks $\tau_{vis} = 0.87 \cdot 0.71 = 0.62$, mis annab hajuvalguse läbivusteguriks $\tau = 0.51$. Ilma välise klaasi, ehk ilma topeltfassaadita oleks akna hajuvalguse läbivustegur palju parem, $\tau = 0.65$. Summaarse soojusläbivuse saamiseks tuleb summeerida soojustakistused (soojusläbivuse pöördarv), aga kuna väline klaas on tavaliselt ühekordne ja topeltfassaadi õhkvahe tuulutatud, siis ligikaudsetes arvutustes võib kasutada akna soojusläbivust, ehk teisisõnu, topeltfassaad ei mõjuta akende soojusläbivust.

Energiatõhususe seisukohalt tuleks kasutada võimalikult suure päikeseteguriga ja valgusläbivusega klaaspakette ning ruumide ülekuumenemine tagada vajaduspõhise päikesevarjestusega. See võimaldab kasutada mõistliku pindalaga aknaid, tagades samal ajal hea päevavalguse kasutuse. Teatud määral on akende päikesekiirguse ja valgusläbivus seotud. Samuti on teatud seos soojusläbivusega, sest mitmekihilistes klaaspakkettides valgusläbivus väheneb.

Kuna väiksema päikeseläbivusteguriga ($g < 0.4$) kipub ka valgusläbivus langema, siis väikesest päikesetegurist otstarbekam päikesevarjestus saavutatakse välise päikesevarjestusega. Näiteks välised ribikardinad blokeerivad umbes 90% päikesekiirgusest ($g = 0.1$).

VÄLISKESKKOND

SISERUUM



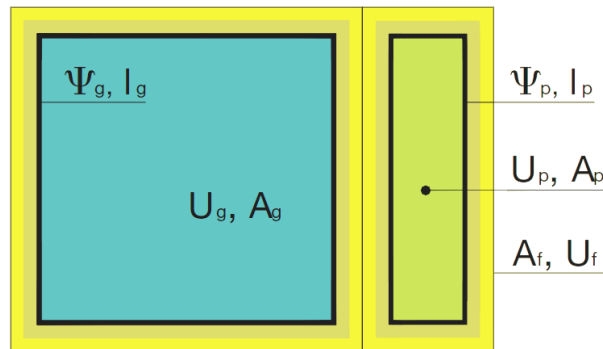
Joonis 4.17 Valgus- ja soojuslevi klaaspaketis. Lühilaineline päikesekiirgus läbib klaase, osa sellest neeldub ja peegeldub ning osa jõuab ruumi. Soojuskaod klaaspaketi läbi põhjustab pikalaineline soojuskiirgus ja konveksioon pindadel ning õhkvahedes, samuti juhtivus läbi klaaside.

4.8.2 Akna soojusläbivus.

Akna 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 (Joonis 4.18). Akna summaarne soojusläbivus U_a , $W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga (4.17):

$$U_a = \frac{U_k A_k + U_r A_r + U_p A_p + \Psi_k l_k}{A_k + A_r}, \quad (4.17)$$

U_k	klaasiosa soojusläbivus, $W/(m^2 \cdot K)$;
A_k	klaasiosa pindala, m^2 ;
U_r	lengi- ja raamiosa soojusläbivus, $W/(m^2 \cdot K)$;
A_r	lengi- ja raamiosa pindala, m^2 ;
Ψ_k	klaasiserva (aknalengi perimeetril) joonkülmasilla soojusläbivus, $W/(m \cdot K)$;
l_k	klaasiserva perimeetri pikkus, m.



Joonis 4.18 Akna soojuslähivuse komponendid.

4.8.2.1 Klaasiosa soojuslähivus

Klaasiosa soojuslähivus U_g mõjutavad omadused on:

- klaaside arv paketiis – mida rohkem klaase ja klaaside vahelkambrid, 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 kiirguse läbilaskvust;
- klaasi pinnaomadused (selektiivklaas, päikesekaitseklaas) – klaasi pind kaetakse õhukese metallkihiga, mis vähendab tema pinnaemissioonitegurit ε ja sellega väheneb soojuslevi kiirguse teel ühelt klaasipinnalt teisele. Klaasi emissioonitegur $\varepsilon_g \approx 0,8-0,9$ väheneb sõltuvalt kasutatavast selektiivkihist $\varepsilon \approx 0,2$ (nn. kõva selektiiv) kuni $\varepsilon \approx 0,03-0,05$ (nn. pehme selektiiv).
- klaaside vahelise gaasi omadused (õhk, argoon, krüptoon) – vääriskaasidel nagu argoon ($\lambda \approx 0,018 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$), krüptoon ($\lambda \approx 0,009 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) või ksenoon ($\lambda \approx 0,006 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) on väiksem soojusjuhtivus kui õhul ($\lambda \approx 0,026 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$). Seetõttu saab nende kasutamisega õhu asemel vähendada klaaspaketi soojuslähivust. Tavapärane on argooni kasutamine klaaspaktis ja efektiivsemate klaaspakettide saavutamiseks krüptooni kasutamine. Aja jooksul gaas difundeerub klaaside vahelt välja ja asendub õhuga. Rusikareeglina võib arvestada gaasi vähenemist 1% aastas.

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

Klaasiosa soojuslähivuse tüüpilised suurused on:

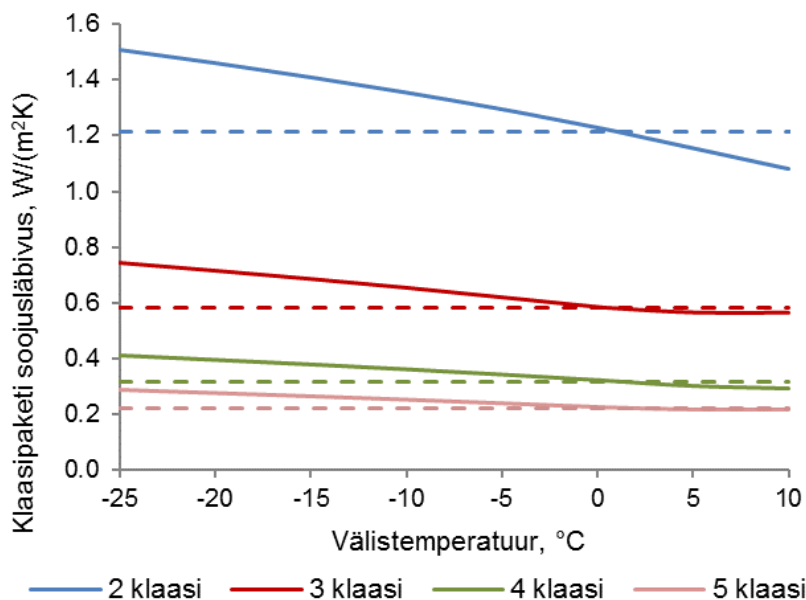
- 2x klaaspakett õhkvahega (tavaklaasid) $U_g = 2,7 \dots 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- 3x klaaspakett õhkvahega (tavaklaasid) $U_g = 1,8 \dots 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- 2x klaaspaket + Ar + low- ε $U_g = 1,1 \dots 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- 3x klaaspakett + Ar + 2x low- ε $U_g = 0,6 \dots 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- 3x klaaspakett + Kr + 2x low- ε : $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- eksperimentaalsed klaasingud, 4x, multifoil, vaakumklaasing $U_g < 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,

Klaaspaketi soojuslähivuse võib:

- arvutada vastavalt standarditele ISO 15099 või EVS-EN 673;
- arvutada kasutades klaasitootjate valikutarkvarasid:
 - Pilkington Spectrum

- online: <http://spectrum.pilkington.com/>
- offline: <http://spectrum.pilkington.com/offline.aspx>
- Calumen
- <http://saphir.saint-gobain-glass.com/calumen/Client/Calumen%20II.application>
- <http://uk.saint-gobain-glass.com/content/calumen-0>
- Glass Calculator
- <http://us.agc.com/glass-calculator>
- arvutada kasutades sisekliima ja energiatõhusus tarkvarasid või üldisi akna omaduste arvutuse tarkvarasid:
 - IDA-ICE detailse akna arvutus (www.equa.se);
 - Window (<https://windows.lbl.gov/software/window/window.html>).

Klaasiosa soojuslähivuse juures on hea teada asjaolu, et klaaspaketi soojuslähivus suureneb välistemperatuuri langedes (temperatuurierinevuse suurenedes), Joonis 4.19. Eriti suurte klaaspindadega hoonete puhul võib see muuta tavapärased varud soojusvarustuse ja küttesüsteemide dimensioneerimisel mittepiisavaks.



Joonis 4.19 Klaasipaketi soojuslähivuse sõltuvus välistemperatuurist (Thalfeldt 2016). Punktiiriga on tähistatud väärtus, mis on arvutatud standardtingimuste juures.

Klaasiosa soojuslähivuse U_g ja raamiosa soojuslähivus U_f määramisel lähtutakse tootja andmetest. Need väärtused esitatakse ehitusprojekti, et vastavalt projekteerimis staadiumile oleks võimalik valida ja fikseerida nõuetele vastavad tooted.

4.8.3 Raami- ja lengiosa soojuslähivus

Aknaprofiilide valik mõjutab akna või klaasfassaadi summaarset soojuslähivust eelkõige raami/klaasiosa suhte ja raami soojuslähivuse kaudu. Raamiosa võib moodustada kogu aknast sõltuvalt profiilidest ja akna suurusest 15% kuni 40%. Kuna raami soojuslähivus on ilma erimeetmeteta suurem, kui klaasi oma, siis on hakatud aknaraame kujundama vaate suunas võimalikult kitsana ja seina paksuse suunas võimalikult laiana ning soojustusega.

Raamiosa soojuslähivust sõltub:

- Raami materjal;

- Raami geomeetria (eelkõige aknalengi ja raami laius risti seina pinnaga);
- Raamis olevate metalltugevduste olemasolu;
- Raami täiendav soojustamine või soojuskatkestuste olemasolu.

Aknaraami ja lengi soojuslähivuse tüüpilised suurused on:

- Kehvem plastraam, soojuskatkestuseta alumiiniumraam $U_f = 2,5 \dots 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- tüüpilised soojuskatkestuseta puit- ja plastraamid $U_f = 1,4 \dots 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- Paremad soojuskatkestuseta puit- ja plastraamid: $U_f = 1,0 \dots 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- Parimad soojuskatkestusega puit- ja plastraamid: $U_f = 0,6 \dots 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

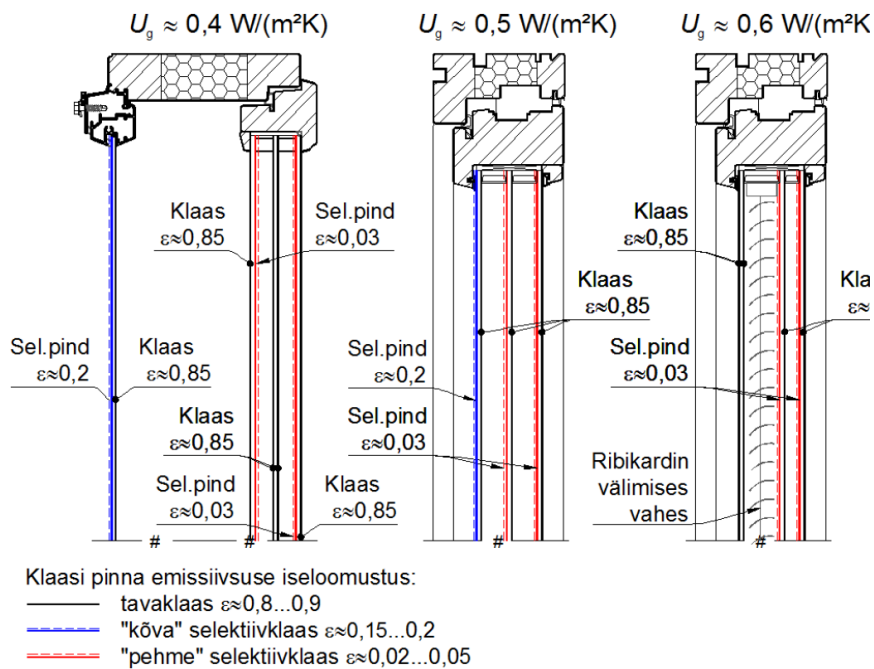
Raami soojuslähivuse esitamine on tootja ülesanne. Projekteerija ülesanne on olla kindel, et energiaarvutustes kasutatud raami soojuslähivus on reaalselt saavutatav selle hoone juures. Raami soojuslähivust saab mõõta katseliselt või arvutada (detailne arvutus vastavalt tegelikule geomeetrialet: EVS-EN ISO 10211 või lihtsustatud arvutus EVS-EN ISO 10077 või ISO 15099). Täpsemate andmete puudumisel võetakse klaasiserva joonkülmasillaks plast- ja puitaknal $0,06 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ja soojuskatkestusega metallprofiilil $0,08 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Klaasfassaadide juures tuleb arvestada asjaoluga, et kui umbosad soojustatakse fassaadiprofiili vahelt, kujuneb fassaadiprofiilist suur külmasild.

4.8.4 Akna kui terviku soojuslähivus

Akende klaasiosa peab liginullenergiahoonetes sisaldama vähemalt kolmekordset klaaspaketti, mille mõlemas inertgaasiga (tavaliselt argoon) 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.

Pehme selektiivkiht, mis lõikab ca 95% soojuskiirgusest, on aldis pinna vigastustele ja seda kasutatakse ainult klaaspaketi sees. Seetõttu kasutatakse välispinnal kõva selektiivkihti, mis on kulumiskindel ja kannatab aknapesu. Kõva selektiivkiht vähendab soojuskiirgust akna välispinna ja taevavõlvi vahel ca 80% ja selle tõttu väheneb oluliselt veeauru kondenseerumine ning härmatise teke akna pinnale, mis muidu pilvitu taeva puhul muudaks hea soojapidavusega aknad pikaks ajaks läbipaistmatuks. Nähtus on paljudele tuttav autoklaaside jäätumise kaudu – sarnaselt ei ole kaasaegees aknas sellist soojuskadu, mis kondensaadi teket väldiks või jääd sulataks. Näiteid selektiivklaaside asukohast akendes esitab Joonis 4.20.

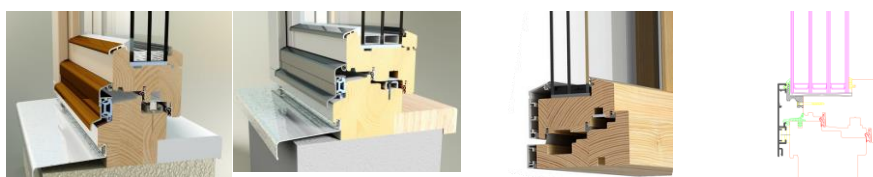


Joonis 4.20 Näiteid selektiivklaaside asukohast aknas. Neljakordse klaaspaketi puhul paiknevad selektiivkihid samamoodi nagu keskmisel joonisel, lisandub seesmine või vahepealne klaas pehme selektiivkihiga.

Tabel 4.10 on arvatatud akna kui terviku soojusläbivused kolme ja neljakordse klaaspaketiga sõltuvalt profiilidest ning raami ja lengi osakaalust. Kolmekordse klaaspaketiga ja 90...120 mm täispuitprofiiliga saavutatakse soojusläbivused $U_w = 0,8...0,7 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ tavapäraste raami ja lengi osakaalude suurusega.

Tabel 4.10 Kolme/nelja klaasiga klaaspaketiga (millest kaks/kolm on selektiivklaasid $\varepsilon \approx 0,025$) akna soojuslähivus erinevate akna ja raami osakaalude juures.

Raami+lengi laius	~80mm	~90mm	~120mm	~150mm
Raami ja lengi soojuslähivus U_f	Ülemine, keskmine ja küljed 1.2 W/(m ² ·K), All: 1.4 W/(m ² ·K)	Ülemine, keskmine ja küljed 1.1 W/(m ² ·K), All: 1.2 W/(m ² ·K)	Ülemine, keskmine ja küljed 0,86 W/(m ² ·K), All: 0,83 W/(m ² ·K)	Ülemine, keskmine ja küljed 0,64 W/(m ² ·K), All: 0,72 W/(m ² ·K)
Klaaspaketi paksus ja soojuslähivus	d~40mm $U_g = 0,63$ W/(m ² ·K)	d~50mm $U_g = 0,56$ W/(m ² ·K)	d~50mm $U_g = 0,56$ W/(m ² ·K)	d~70mm $U_g = 0,36$ W/(m ² ·K)
Klaaspaketi servaliistu joon- 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 ² ·K) (valem 4.17)			
25%	0.88	0.81	0.67	0.52
30%	0.92	0.85	0.68	0.55
35%	0.98	0.91	0.71	0.58
40%	1.04	0.97	0.74	0.62
45%	1.10	1.03	0.77	0.65
50%	1.17	1.09	0.79	0.68
55%	1.22	1.14	0.82	0.72
60%	1.28	1.20	0.85	0.75

5 SUVISE ÜLEKUUMENEMISE VÄLTIMINE JA PÄEVAVALGUS

5.1 ÜLEKUUMENEMINE JA SELLE VÄLTIMINE

Liginullenergiahooned on õhutihedate, väikese soojuslähivusega 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 osas kulukad ning sageli välistuvad 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, piisav päevavalgus ning välditud liigne temperatuuritõus.

Järgnevalt on toodud mõned „rusikareeglid“ ülekuumenemise vältimiseks arhitektuursel projekteerimisel. Lõuna ja lääne suunal (vahemikus kagu kuni loode) kasutatakse kas allpool kirjeldatud väliseid varjestusi või tagatakse järgmised akende ja tuulutusakende omadused:

- Avatavate akende osakaal kogu akna pindalast (OA): > 10%
- Akende osakaal fassaadi (sein+avatäited) pindalast (WWR): < 40%
- Kahe teguri korrutis, WWR^*g : < 0.2
- Akna pindala suhe põranda pindalasse (WFR): < 0.15

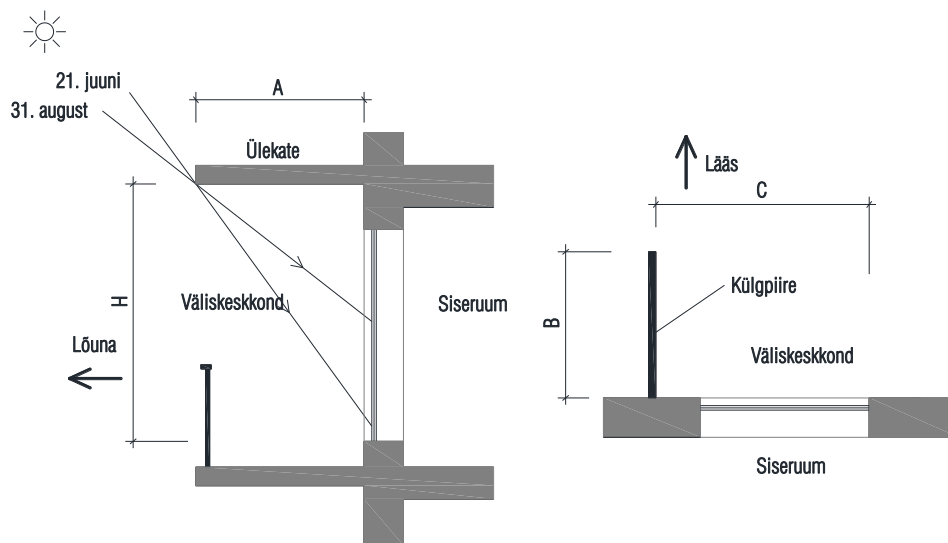
Klaaspakettide päikeselähivustegurit (g) ei ole soovitatav valida alla 0.5, et kasutada vabasoojust päikesest ruumide küttevajaduse vähendamiseks.

Näiteks magamistuba, mille põrandapindala on 12m^2 ($3\text{m} \times 4\text{m}$), tagab nii lääne kui lõuna poole suunatud aknaga suvise ruumitemperatuuri nõude, kui akna pindala on $< 1.8\text{m}^2$ (välisseina mõõtmed $3\text{m} \times 2.7\text{m}$) ja tegemist on varjestamata kirka klaaspaketiga.

Võimalik on liigset päikesekiirgust blokeerida ka erinevate varjestuslahendustega:

- Lõuna ja lääne suunal:
 - Välised ribikardinad (Joonis 5.2)
 - Välised markiisid (Joonis 5.2)
- Lõuna suunal:
 - Konstruktsiooniline ülekate / rõdu, ($A/H > 0.7$, Joonis 5.1, vasak)
- Lääne suunal:
 - Konstruktsiooniline külgnev piire / rõdu ($B/C > 0.7$, Joonis 5.1, parem)

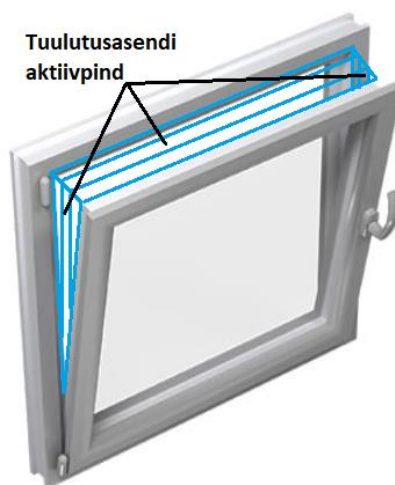
Tõendamaks, et ülekuumenemine on projekteeritavas korterelamus välditud, on kohustuslik teostada suvise ruumitemperatuuri kontrollarvutus tüüpruumidele. Selleks valitakse välja vähemalt kaks tüüpset eluruumi – üks magamistuba ja üks elutuba – millele teostatakse dünaamilise simulatsioonitarkvara abil suveperioodile tunnipõhine ruumitemperatuuri arvutus vastavalt EV määrusele „Hoone energiatõhususe arvutamise meetoodika“. Vastavalt määrusele on võimalik eluhoonete korral arvestada avatavate akende tuulutusega (Joonis 5.3), arvutusnäide on toodud pt 5.1.1. Simulatsiooniarvutuse põhjal saadud tunnipõhised ruumitemperatuuri väärtustest kraadtundide arvutuspõhimõte on näidatud Joonis 5.3.



Joonis 5.1 Konstruktsioonilised varjestuslahendused: lõuna suunal (vasak) ja lääne suunal (parem).



Joonis 5.2 Välise varjestuse näiteid (www.sunorek.ee, www.sundecor.ee, www.avaekspendid.ee, www.veepisar.ee).



Joonis 5.3 Avatava akna tuulutusasendi aktiivpind.

Kuupäev	Kellaeg	Temp, °C	Kraadtunnid	
...	
15.juuli	10:00	26.4	0	
15.juuli	11:00	26.8	0	
15.juuli	12:00	27.2	0.2	} 4.9 °Ch
15.juuli	13:00	27.6	0.6	
15.juuli	14:00	27.8	0.8	
15.juuli	15:00	28.5	1.5	
15.juuli	16:00	28.8	1.8	
15.juuli	17:00	27.5	0	
15.juuli	18:00	26.9	0	
15.juuli	19:00	26.2	0	
15.juuli	20:00	25.5	0	
...	
			$\Sigma = 92.5$	$\leq 150^\circ\text{Ch}$

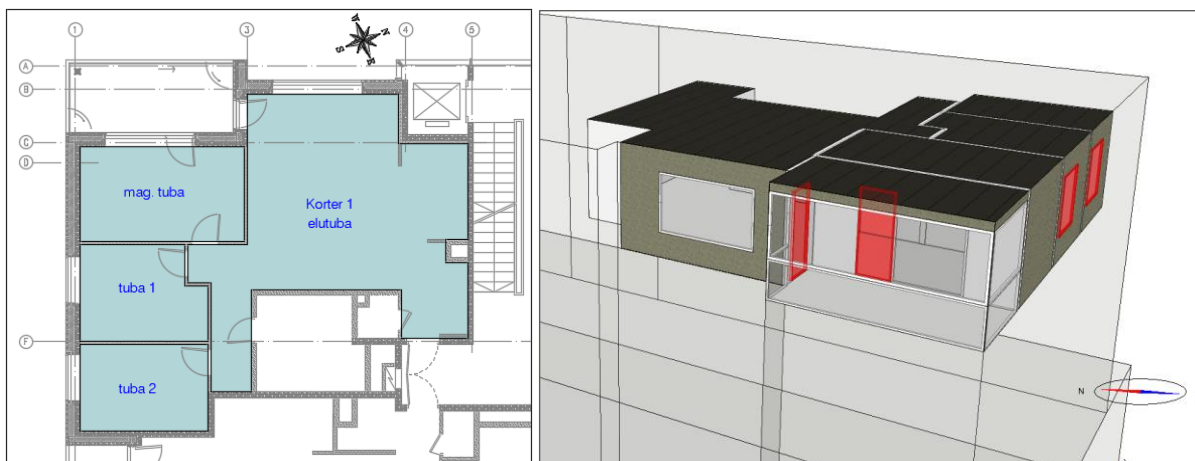
Joonis 5.4 Kraadtundide arvutuspõhimõte.

5.1.1 Suvise ruumitemperatuuri kontrollarvutuse näide

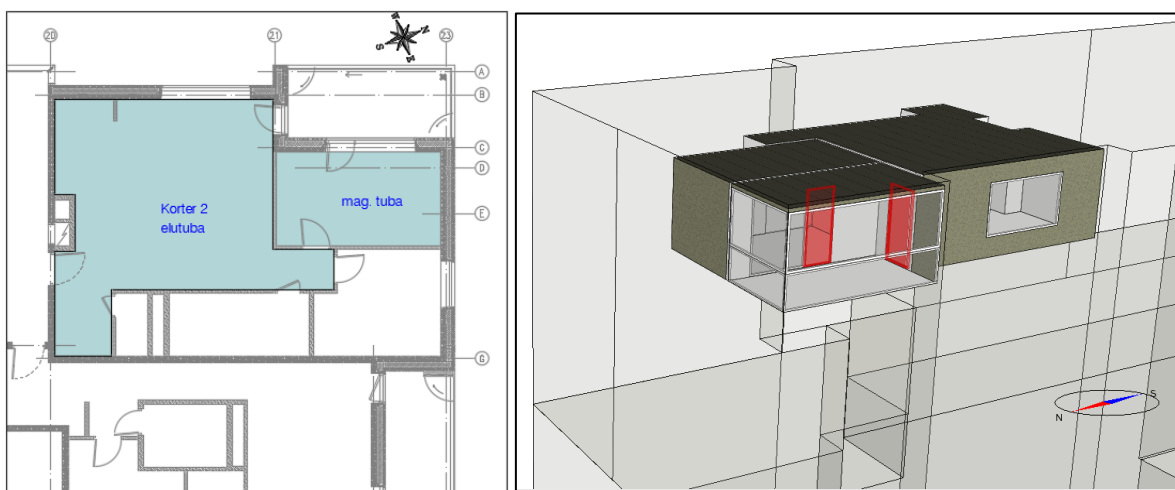
Käesolevas näites on teostatud suvise ruumitemperatuuri kontrollarvutus viiekorruselise korterelamu ülekuumenemise seisukohalt kriitilistele ruumidele kahe korteri näite põhjal. Lisaks eluruumide kontrollarvutusele on analüüsitud hoone trepikodasid ja liftišahte, mis läände orienteeritud klaasfasaadi tõttu on kõrge ülekuumenemise riskiga. Kontrollarvutuste aluseks on hoone arhitektuur-ehituslik eelprojekt, millele analüüsi tulemuste põhjal on tehtud muudatusettepanekud suvise ruumitemperatuuri nõude täitmiseks.

Analüüsitud on kahte viienda korruse korterit, millele näiteks ümbritsevad hooned ega kõrghaljastus päikesekaitset ei võimalda. Mõlemal juhul on tegemist nurgakorteritega: korteri nr 1 eluruumide aknad on suunatud lõunasse ja läände ning korteri 2 analüüsitud ruumide aknad läände, mistõttu on tegemist potentsiaalselt „kriitiliste tüüpruumidega“. Joonis 5.5 ja Joonis 5.6 kajastavad korterite mudeli tsoonide plaanilahendust ja 3D vaadet. Arhitektuuriprojekt näeb ette klaasitud rõdu, mille klaasosa on arvutustes arvestatud avatuna. Analüüsitud trepikojad ja liftišahtid on näidatud Joonis 5.8.

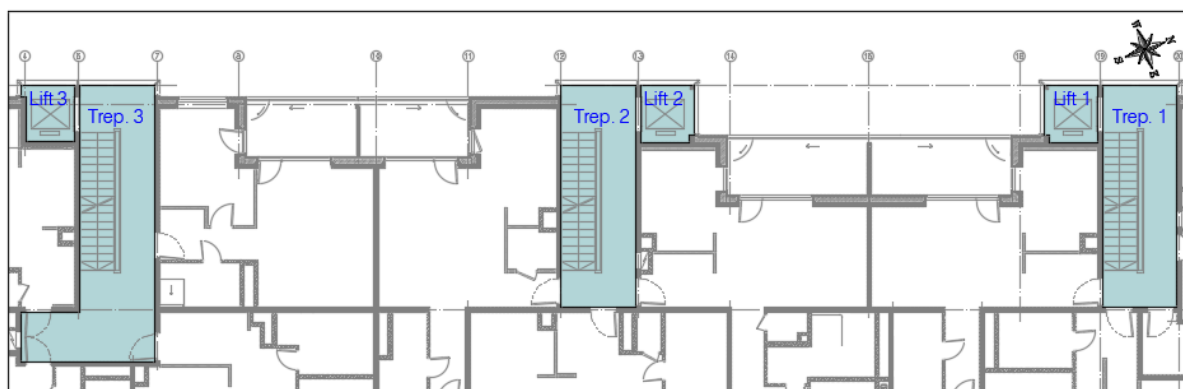
Erinevalt energiaarvutuse jaoks koostatavast mudelist on suvise ruumitemperatuuri kontrollarvutuseks modelleeritud ainult valitud ruumid. Kasutatud on määrusejärgseid infiltratsiooni ja ventilatsiooni õhuvooluhulkasid. Hoone tarindid on defineeritud arvutustarkvaras vastavalt arhitektuur-ehituslikule projektile, sh arvestades tarindite massiivsust. Avatavate akende kaudu tuulutuse arvestamisel on tehtud arvutused tuulutuse aktiivpinna määramiseks (Joonis 5.9), mis on arvestatud simulatsioonarvutuses avatava akna osakaaluna.



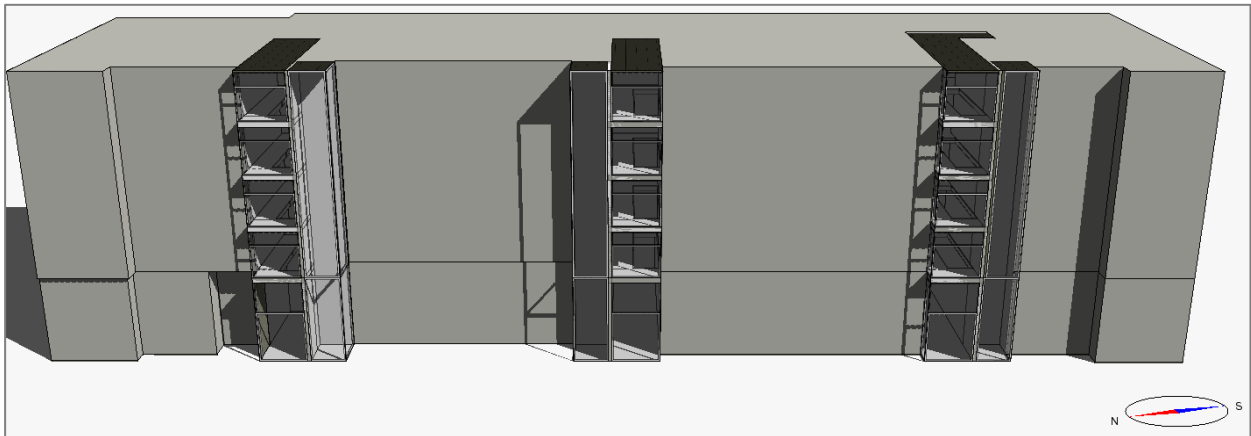
Joonis 5.5 Analüüsitud korteri nr 1 ruumide plaan (vasakul) ja simulatsioonimudel (paremal). Punase värviga on märgitud avatavad aknad/rõdu ukсед.



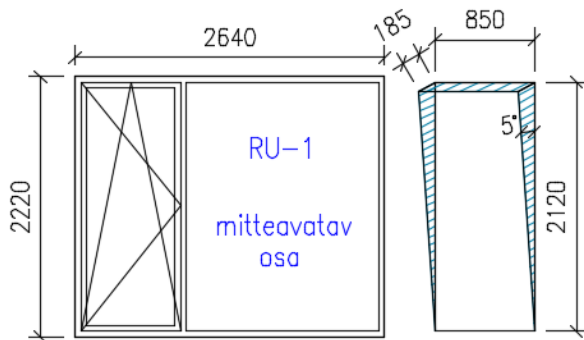
Joonis 5.6 Analüüsitud korteri nr 2 ruumide plaan (vasakul) ja simulatsioonimudel (paremal). Punase värviga on märgitud avatavad aknad/rõdu ukсед.



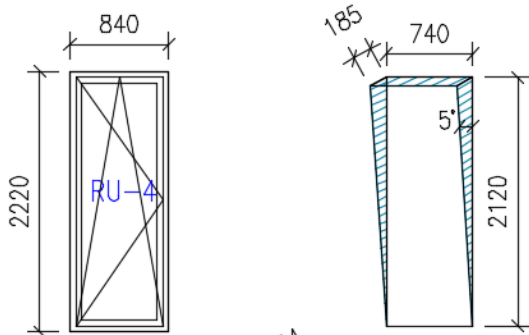
Joonis 5.7 Analüüsitud trepikodade ja liftišahtide plaan.



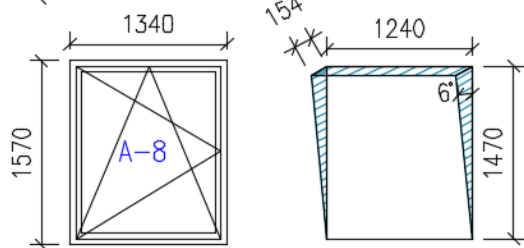
Joonis 5.8 Analüüsitud trepikodade ja liftišahtide simulatsioonimudel.



Avatäide: RU-1
 Avatäite pindala: $2.64 \cdot 2.22 = 5.86 \text{m}^2$
 Klaasi osa pindala: $3.48 + 1.52 = 5.00 \text{m}^2$
 Raami osakaal: $(5.86 - 5.00) / 5.86 \cdot 100\% = 15\%$
 Avatava osa pindala: $0.85 \cdot 2.12 = 1.82 \text{m}^2$
 Tuulutusasendi kaldenurk: $6^\circ \rightarrow$ ava laius 185mm
 Tuulutussava pindala (aktiivpind): $0.85 \cdot 0.185 + 0.185 \cdot 2.12 = 0.55 \text{m}^2$
 Aktiivpinna osakaal avatäite pindalast: $0.55 / 5.86 \cdot 100\% = 9\%$



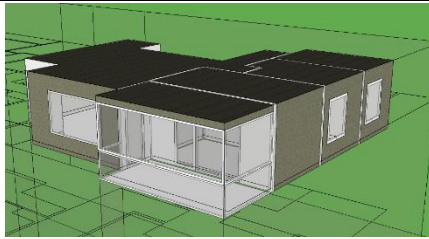

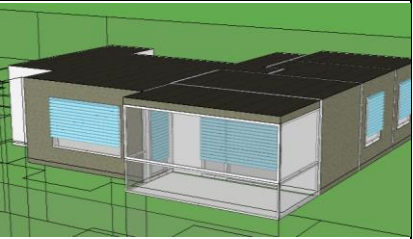
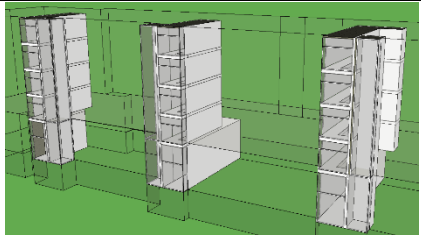
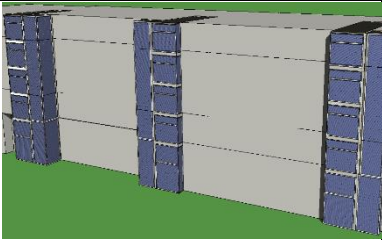
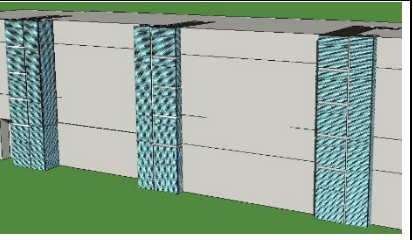
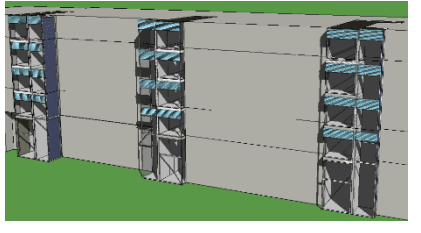
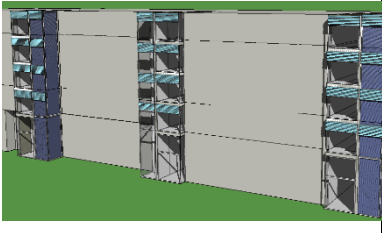
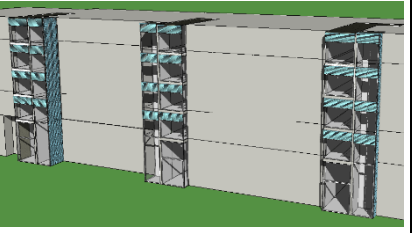
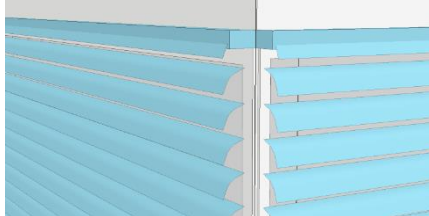
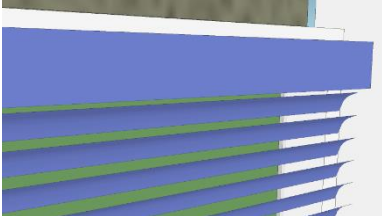

Avatäide: RU-4
 Avatäite pindala: $0.84 \cdot 2.22 = 1.86 \text{m}^2$
 Klaasi osa pindala: 1.29m^2
 Raami osakaal: $(1.86 - 1.29) / 1.86 \cdot 100\% = 31\%$
 Avatava osa pindala: $0.74 \cdot 2.12 = 1.57 \text{m}^2$
 Tuulutusasendi kaldenurk: $6^\circ \rightarrow$ ava laius 185mm
 Tuulutussava pindala (aktiivpind): $0.74 \cdot 0.185 + 0.185 \cdot 2.12 = 0.53 \text{m}^2$
 Aktiivpinna osakaal avatäite pindalast: $0.53 / 1.86 \cdot 100\% = 28\%$



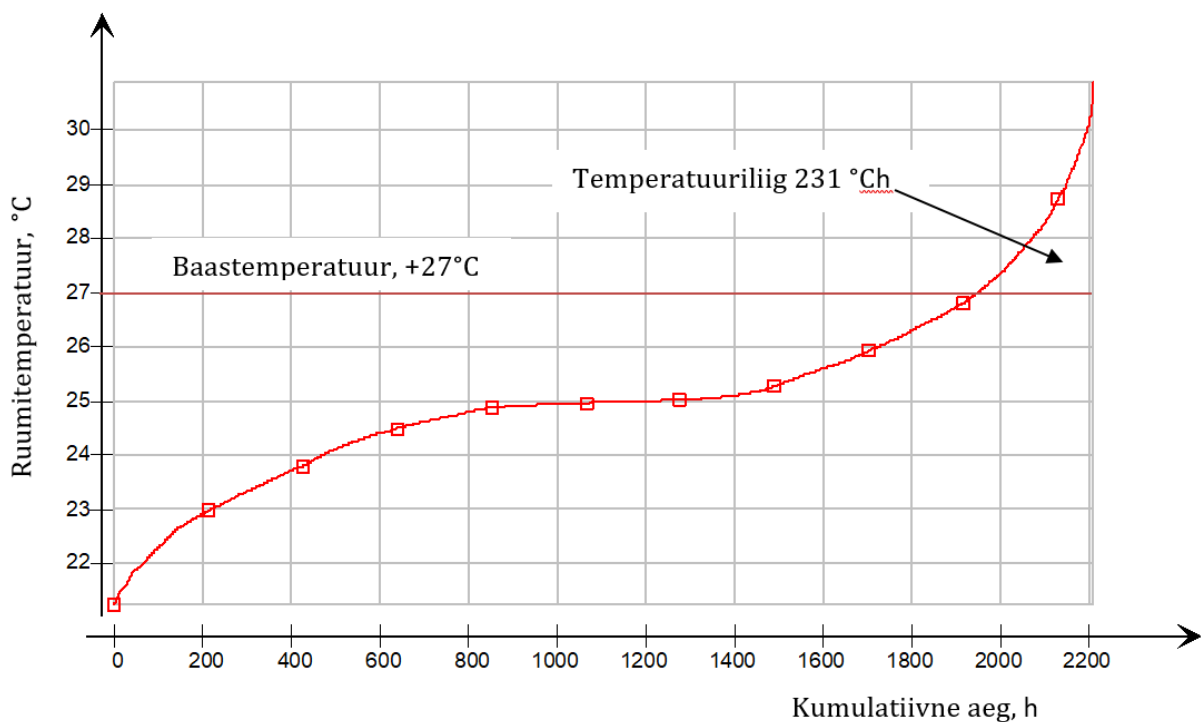
Avatäide: A-8
 Avatäite pindala: $1.34 \cdot 1.57 = 2.10 \text{m}^2$
 Klaasi osa pindala: 1.56m^2
 Raami osakaal: $(2.10 - 1.56) / 2.10 \cdot 100\% = 26\%$
 Avatava osa pindala: $1.24 \cdot 1.47 = 1.47 \text{m}^2$
 Tuulutusasendi kaldenurk: $6^\circ \rightarrow$ ava laius 154mm
 Tuulutussava pindala (aktiivpind): $1.24 \cdot 0.154 + 0.154 \cdot 1.47 = 0.42 \text{m}^2$
 Aktiivpinna osakaal avatäite pindalast: $0.42 / 2.10 \cdot 100\% = 20\%$

Joonis 5.9 Avatavate akende tuulutussava aktiivpinna arvutamine.

Tabel 5.1 Analüüsitud variantide ja lahenduste visualiseering.

K0 K1 K2 K3	K4 K5	K6
		
T0 T1 T2	T3 T4	T5 T6
		
T7	T8	T9
		
Välised ribikardinad (100-100 45°)	Sisemised ribikardinad (30-25 45°)	Välised rulood
		

Simulatsioonarvutuse tulemuseks saadakse tunnikeskised ruumitemperatuuri väärtused, mida esitatakse kestuskõveral. Näitena on toodud korter nr 1 elutoa ruumitemperatuuri kestuskõver analüüsitud variandile K2 (Joonis 5.10).



Joonis 5.10 Simulatsioonarvutuse tulemus korteri nr 2 magamistoa variandile K2.

Korterelamu kahe kriitilise korteri ruumide simulatsioonarvutuste tulemused on toodud Tabel 5.2. Analüüsi tulemustest järeldub, et esialgne arhitektuurne lahendus ei taga suvise ruumitemperatuuri nõude täitmist üheski uuritud korteri ruumis. Korteri nr 2 ruumide korral on nõude täitmine võimalik nt madalama päikeseläbivusteguriga klaaspakettide kasutamisel, teise korteri ruumide korral aga oleks vaja liigse päikesekiirguse blokeerimiseks ette näha sobiv varjestuslahendus.

Tabel 5.2 Korterite suvise ruumitemperatuuri kontrollarvutuse tulemused.

Nr	Kirjeldus	Temperatuuriliig üle baastemperatuuri +27°C, °Ch					
		Korter 1				Korter 2	
		elutuba	mag. tuba	tuba 1	tuba 2	elutuba	mag. tuba
K0	Algolukord* (päikesefaktor g=0.5)	1342	1187	2374	3050	1220	513
K1	g0.4	710	659	1335	1776	477	232
K2	AA	524	489	333	363	301	231
K3	AA +g0.4	281	322	184	202	111	90
K4	AA + SV	454	204	145	252	272	26
K5	AA +SV +g0.4	252	145	80	146	111	4
K6	AA + VV	59	130	3	4	4	6
K7	AA +SV +g0.4 +rõdu välisvarjestus	129	142	77	145	111	4

*algolukord – hoone mudel on simuleeritud akende avamiseta ning ilma päikesekaitse lahendusteta.

Kasutatud lühendid: K0...K7 – analüüsitud lahendus; AA – akende avamine; SV – sisemine varjestus (rulood);g0.4 – klaaspaketi päikesefaktor g=0.4;VV – väline varjestus (ribikardinad).

Trepikodade ja liftišahtide arvutuste tulemused on toodud Tabel 5.3. Algne lahendus avatavaid aknaid trepikodadesse ette ei näinud. Analüüsitud variantides on avatavateks akendeks, olenevalt variandist, valitud kas 2. korrusel ja 5. korrusel [2k 5k] või 2.-5. korrusel [2k 3k 4k 5k], aknad

pindalaga 1.77m² (aktiivpinnaga 1.04m²) ning liftišahtide korral aknad pindalaga 1.15m² (aktiivpinnaga 0.68m²). Avatavatele akendele on välja poole ette nähtud žalusiid.

Tabel 5.3 Trepikodade ja liftišahtide simulatsiooni tulemused.

Nr	Kirjeldus	Temperatuurilii üle baastemperatuuri +27°C, °Ch					
		Trep. 1	Trep. 2	Trep. 3	Lift 1	Lift 2	Lift 3
T0	Algolukord* (mitteavatavad aknad)	35900	33450	35230	31610	22760	32130
T1	AA [2k 5k]	232	192	102	929	204	554
T2	AA [2k 3k 4k 5k]	97	70	33	574	122	338
T3	SV	22880	21830	21280	23710	16910	21420
T4	AA [2k 5k] +SV	7	5	1	895	279	494
T5	VV	454	435	341	805	882	632
T6	AA [2k 5k] +VV	0	0	0	23	6	8
T7	AA [2k 3k 4k 5k], Liftid 1 ja 3 +SV (lõuna)	3	2	0	491	101	262
T8	AA [2k 3k 4k 5k], Liftid 1 ja 3 +SV (lõuna ja lää)	2	2	0	329	101	169
T9	AA [2k 3k 4k 5k], Liftid 1 ja 3 +VV	2	2	0	121	65	108

*algolukord – hoone mudel on simuleeritud akende avamiseta ning ilma päikesekaitse lahendusteta.

Kasutatud lühendid: T0...T9 – analüüsitud lahendus; AA – akende avamine; 2k – 2 korrus; SV – sisemine varjestus (ribikardinad); VV – väline varjestus (ribikardinad).

Simulatsioonitulemuste põhjal tehakse järgnevad muudatused arhitektuur-ehituslikus eelprojekti:

- Lõuna ja läände orienteeritud akendega korteritele paigaldatakse välised automatiseeritud rulookardinad, mida on võimalik juhtida korterist ja automaatselt sõltuvalt tuule kiirusest ja päikesekiirguse intensiivsusest (mõõdetakse hoone katusele paigaldatava ilmajaamaga) tsentraalselt;
- Hoone trepikojad varustatakse automaatselt sissepoole avatavate akendega, millede juhtimine toimub temperatuurianduriga ja vajadusel manuaalselt, avatavatele akendele nähakse ette lisaks välised žalusiid.
- Hoone liftišahtidele nähakse ette väline varjestus.

5.2 PÄEVAVALGUSE PARAMEETRID

Päevavalgus ehk loomulik valgus koosneb päikese- ja taevavalguse kombinatsioonist. Päikesevalgus on otsese päikesekiirguse nähtav osa ehk otsene päikesekiirgus, millel on selge suund. Taevavalgus on taeva hajuskiirguse nähtav osa, millel selge suund puudub. Lihtsustatult võib öelda, et otsene päikesekiirgus tekitab esemetele varju, hajuskiirgus aga mitte. Samamoodi jaotatakse nõuded päevavalgusele kaheks:

- hajuvvalguse nõuet iseloomustab enamasti päevavalgustegur;
- otsese päikesekiirguse nõuet iseloomustab insolatsioon ja selle kestus.

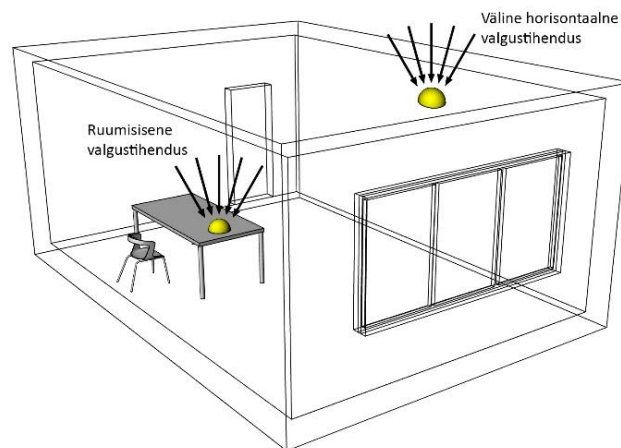
5.2.1 Päevavalgustegur

Päevavalgustegur on ruumisisesest ja -välisest horisontaalse valgustustiheduse suhte väljendatuna protsentides (Joonis 5.11). Päevavalgusteguri väärtus arvutatakse töötasapinna kõrgusel. Päevavalgusteguri arvutamisel eeldatakse, et taeval on standardse pilvkatttega taevale iseloomulik

heledusjaotus, s.t taevas on pilvkattega täielikult kaetud. Päevavalgusteguri mõõtmisel/arvutamisel on eeldatud, et otsese päikesekiirguse mõju sisesele ja välisele valgustustihedusele on välistatud. Kokkuvõtlikult öelduna iseloomustab päevavalgustegur ruumi valgusküllasust pilvise ilma tingimustes.

Päevavalgustegur D

$$D = \frac{\text{Ruumisisene valgustihedus}}{\text{Väline horisontaalne valgustihedus}} \cdot 100$$



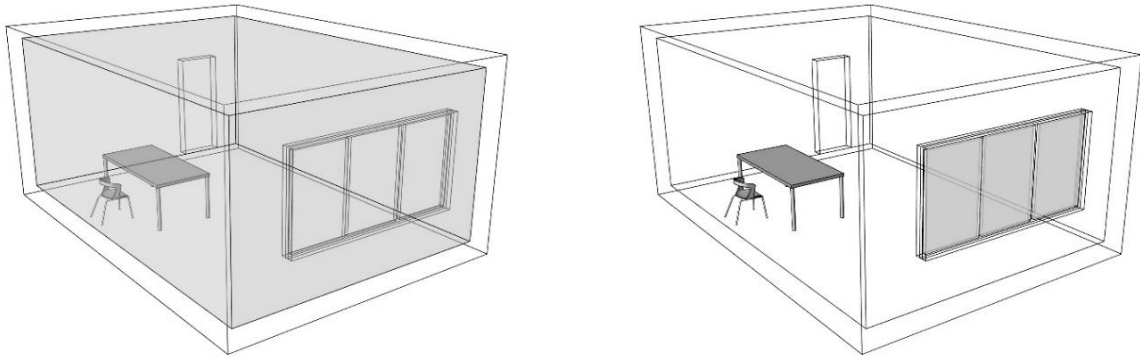
Joonis 5.11 Päevavalgustegur on ruumisisese ja -välise horisontaalse valgustustiheduse suhe töötasapinna kõrgusel väljendatuna protsentides.

Päevavalgustegur jaguneb keskmiseks ja minimaalseks päevavalgusteguriks. Keskmist päevavalgustegurit on võimalik käsitsi arvutada kasutades järgmist valemit:

$$D = \frac{T \cdot A_w \cdot \theta \cdot m}{A \cdot (1 - R^2)}$$

Kus:

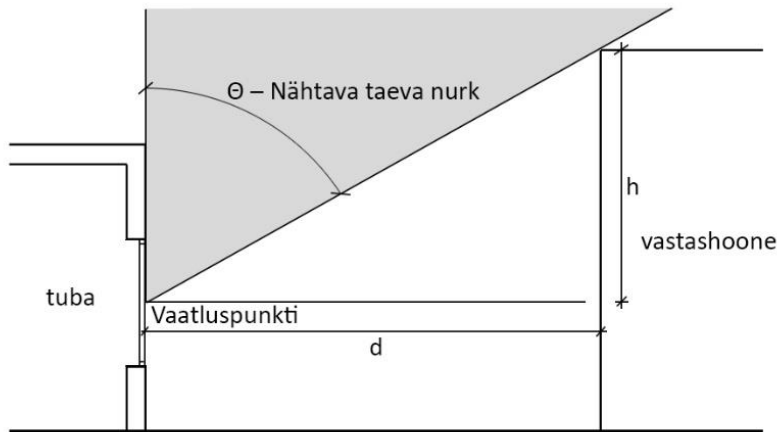
- D – keskmine päevavalgustegur;
- T – on klaaside haj valguse läbivustegur;
- θ – on nähtava taeva nurk (kraadides);
- m – on aknaklaasi määrdumise mõju (tavaliselt 0.9);
- A – on lae, põranda ja seinte kogupindala (sisaldades aknaid), m²;
- A_w – on kogu akna klaasitud ala (m²), mis asub tööpinnast kõrgemal; (aknaraamid tuleb maha arvestada);
- R – on sisepindade peegeldustegurite kaalutud keskmine. Valgete lagede ja keskmise peegelduvusega ruumide puhul võib esialgsetes arvutustes selle väärtuseks võtta 0,5.



Joonis 5.12 Ruumi kogupindala A (vasakul) ja akna klaasitud ala A_w (m^2), mis asub tööpinnast kõrgemal (paremal)

Nähtava taeva nurka (θ) mõõdetakse vertikaalpinnal, mis on klaasi suhtes täisnurga all. Nähtava taeva nurka mõõdetakse aknaklaasi keskelt. Vertikaalsuunas arvestatuna alates töötasapinna kõrgusest (0,9 m). Töötasapinnast madalamal asuv aknaala ei suurenda märkimisväärselt tööpinnale langeva päevalguse kogust, kuna akende alumisest osast tulev valgus peab enne tööpinnale jõudmist peegelduma vähemalt kahel ruumipinnal ja tavaliselt on allpool tööpinda ka igasugused takistused nagu näiteks mööbel, radiaatorid jne. Nähtava taevanurga arvutamisel, tuleb arvesse võtta rõdusid ja muid varjestuselemente. Nähtava taeva nurka on võimalik arvutada kasutades järgmist valemit, (vaata ka Joonis 5.13):

Nähtava taeva nurk $\theta = \arctan(h/d)$



Joonis 5.13 Keskmise päevalgusteguri arvutamisel kasutatud nähtava taeva nurk θ

Kus:

d – vaatluspunkti ja vastashoone vaheline vahemaa;
 h – mõõtepunkti vastas asuva hoone kõrgus.

Vastavalt standardile "Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides" on ruumide keskmise päevalgusteguri minimaalsed väärtused järgmised:

- Eluhoone - magamistoad 1%
- Eluhoone - elutoad 1.5%
- Eluhoone - köögid 2%
- Kontor – Bürooruumid 2%

- Koolieelsete lasteasutuste mänguruumid 2%
- Koolide klassiruumid 2%

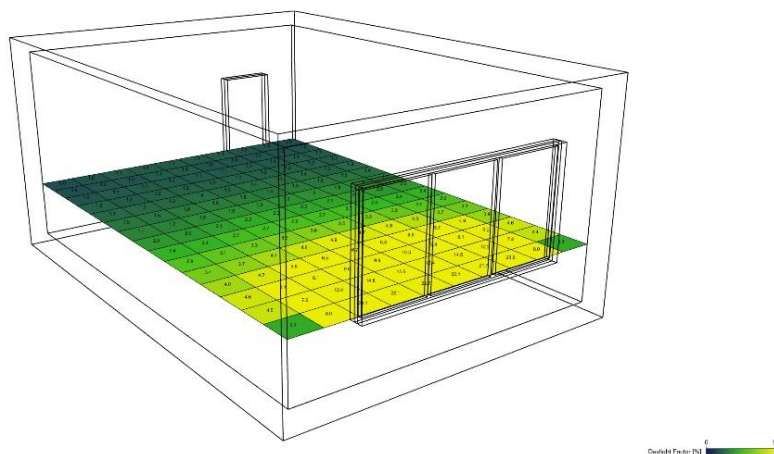
Kui ruum täidab rohkem kui ühte otstarvet, peaks minimaalne keskmine päevavalgustegur vastama suurima väärtusega ruumi tüübile. Kui näiteks ruumi kasutatakse nii elutoa kui ka köögina, peaks minimaalne keskmine päevavalgustegur olema 2%.

Esitatud keskmise päevavalgusteguri arvutusvalemit saab edukalt kasutada töötasandi kohal asuva aknapinna leidmiseks, mis iseloomustab vajaliku aknaklaasi pindala m² soovitud keskmise päevavalgusteguri saavutamiseks. Selleks tuleb kasutada valemit järgmisel kujul (valemid tähised on lahti seletatud keskmise päevavalgusteguri valemi juures):

$$Aw = \frac{\bar{D} \times A \times (1 - R^2)}{T \times \Theta \times m}$$

Minimaalne päevavalgustegur on nn. minimaalne päevavalgustegur viibimis- või töötsoonis. Minimaalse päevavalgusteguri arvutamiseks tuleb kasutada arvutusprogramme. Minimaalset päevavalgustegurit arvutatakse ruumis nt. m² kaupa (Joonis 5.14). Standardis "Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides" on soovitatud, et elutubades ruumi punktis, mis on ruumi keskel, tööpinna kõrgusel, tagaseinast 1 m

kaugusel, võiks päevavalgustegur olla vähemalt 0,4%. Samuti alaliste töökohtadega tööruumides võiks päevavalgustegur ruumi punktis, mis on ruumi keskel, tööpinna kõrgusel, tagaseinast 1 m kaugusel, olla vähemalt 1%. Selliseid soovitusi mitte täitvate ruumide puhul saab neid ruume pidada ebapiisava loomuliku valgusega pindadeks ja sellist olukorda tuleks ruumide kavandamisel vältida. Nimetatud soovitusi on võimalik analüüsida vaid arvutusprogramme kasutades. Samuti tuleks arvutusprogramme kasutada olukordades, kus ruumi aknad asuvad ruumi erinevatel külgedel ja kui ruumil on katuseaknad.



Joonis 5.14 Minimaalne päevavalgustegur, arvutatud kasutades arvutusprogramme Radiance ja DIVA Rhino.

5.2.2 Rusikareeglid hajuvalguse arvutamiseks

Ruumi hajuvalgusküllasus sõltub mitmest kriteeriumist, nagu näiteks akna klaasitud ala ja välisseina suhe, akna klaasitud ala suhe põrandapinna kohta, aknaklaasi hajuvalguse tegurist, sisepindade peegeldustegurist, hoone vastas asuvast teisest hoonest või muust varjestusest nagu rõdud.

Järgnevalt mõned rusikareeglid ja soovitused, mida võiks hoonete kavandamisel jälgida, et lõpptulemusena saavutada hajuvalgusküllaseid ruume.

Ruumi päevavalgustsoon ehk ruumi soovitusliku sügavust saab külvalgustusega ruumi korral arvutada järgmiselt. Ruumis, kus aknad on ainult ühes seinas, tuleks täita võrratus:

$$a_{D,max} \leq 2,5 \times (h_{Li} - h_{Ta})$$

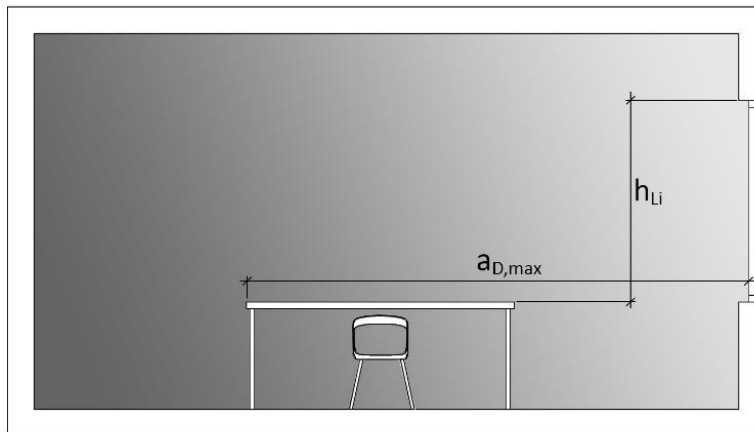
kus:

$a_{D,max}$ – on ruumi võimalik päevavalgustsooni sügavus:

h_{Li} – on aknaava ülemise ääre kõrgus põrandast;

h_{Ta} – on tööpinna kõrgus (0,9 m).

Juhul kui akna kohal kasutatakse horisontaalset varjestust tuleks kasutada valemit $a_{D,max} \leq 2 \times (h_{Li} - h_{Ta})$ kuna lisaks otsese päikesekiirguse blokeerimisele vähendab varjestuse kasutamine paraku ka hajuskiirguse jõudmist ruumi.



Joonis 5.15 Külvalgustusega ruumi soovitusliku sügavuse/päevavalgustsooni leidmine.

- Kogu akna klaasitud ala ja nähtava taeva nurga (θ) korrutis võiks vastata järgmisele põhimõttele [3]:

$$\theta \cdot WFR > 2000$$

Kus:

θ – on nähtava taeva nurk (kraadides);

WFR – on akna ja põrandapinna suhe, %.

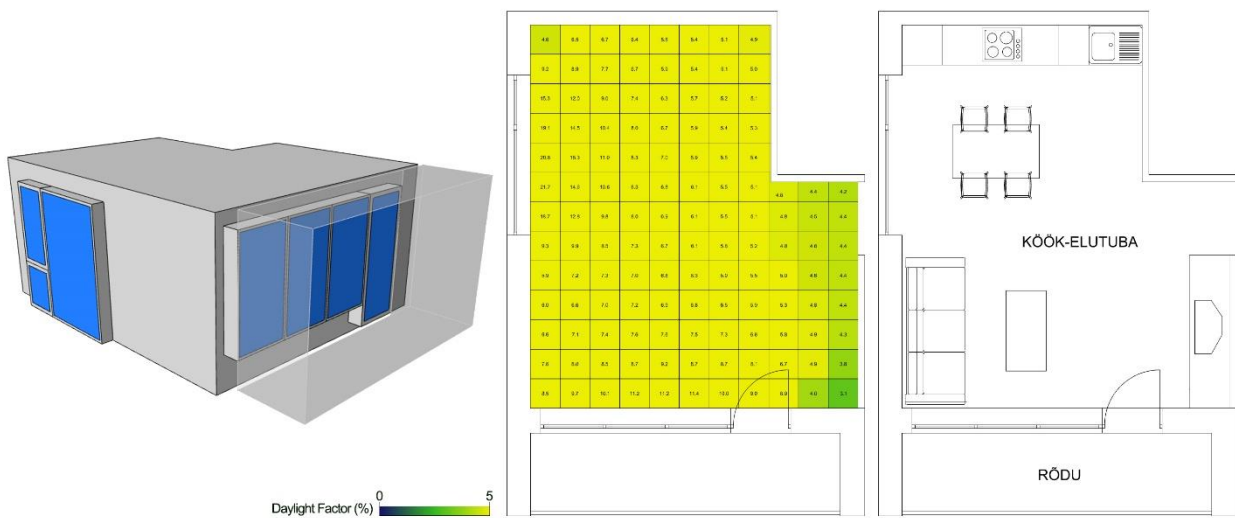
- Järgnevas tabelis nr 1 on esitatud minimaalne akna ja põrandapinna suhe erinevates ruumitüüpides, et tagada standardis "Loomulik valgustus elu- ja büroorumides" esitatud keskmise päevavalgusteguri soovitused.

Tabel 1. Minimaalne akna ja põrandapinna suhe tagamaks minimaalse keskmise päevavalgusteguri nõudeid.

		Aken ühes seinas		Aknad kahes seinas	
		Rõdu puudub	Rõdupiire akna kohal/ Varjestus	Rõdu puudub	Süvendiga rõdu (varjestus ülal ja külgedel)
Magamistuba	Min akna ja põranda suhe	6.9	8.7	7.2	9.7
Elutuba	Min akna ja põranda suhe	6.9	10.4	8.4	14.4
Köök	Min akna ja põranda suhe	8.7	13.0	14.4	14.4
Elutuba + köök	Min akna ja põranda suhe	8.7	11.6	10.8	14.4
Kontor; kool; lasteaed	Min akna ja põranda suhe	8.7	13.0	14.4	14.4

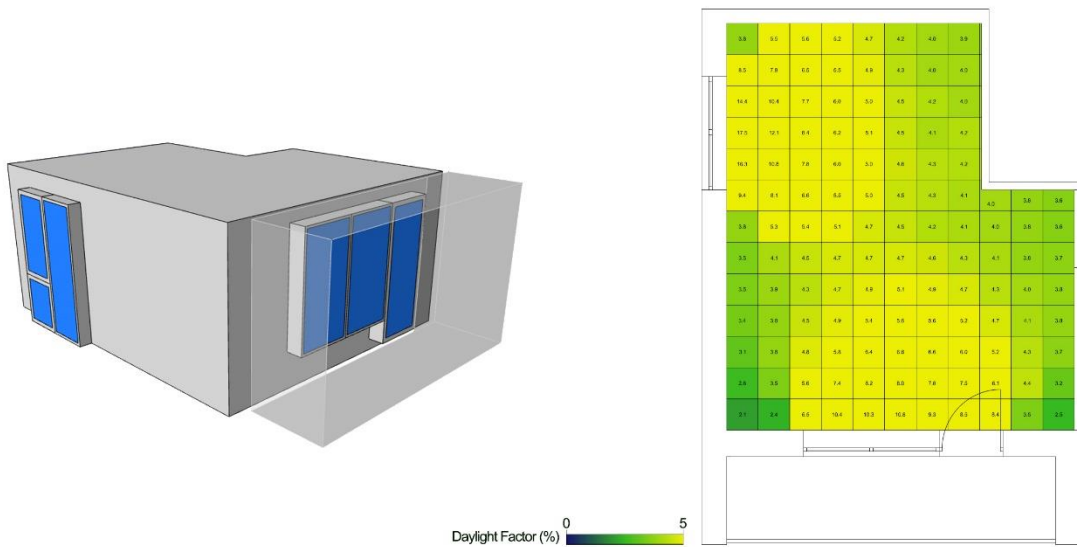
5.2.3 Akna kuju ja suuruse mõju päevavalgusele

See peatükk käsitleb akna kuju ja suuruse mõju päevavalgusele ning selle jaotusele ruumis. Arvutusnäited on tehtud köök-elutoale, milles on põrandast laeni aknad. Üks aken on kööginurga juures ja teine elutoa seinas, mis avaneb lodžale. Algse ruumi akende osakaal välisseina pindalast (WWR) on 46.6% ja keskmine päevavalgustegur on 7.44% (Joonis 5.16).



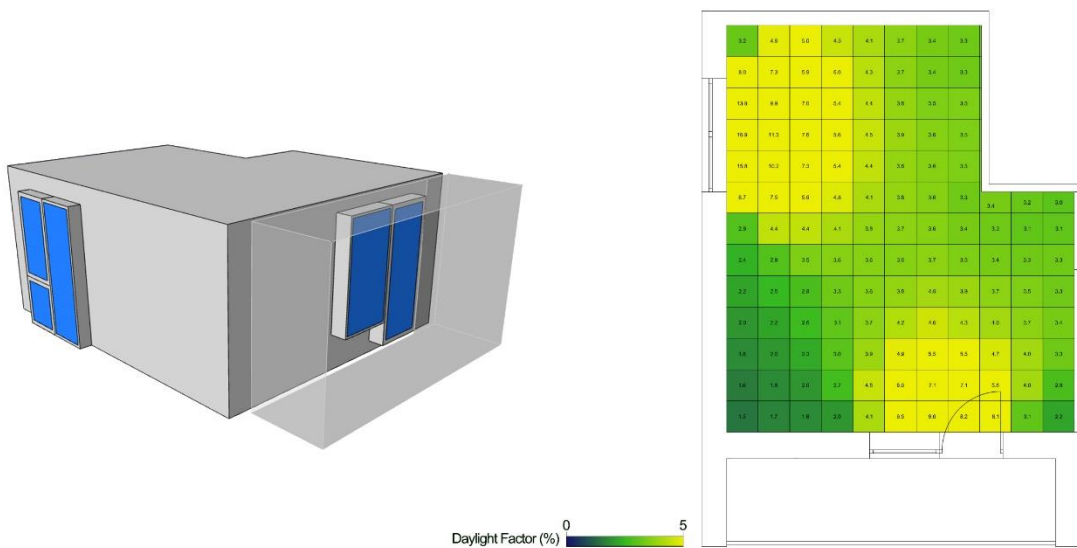
Joonis 5.16 Päevavalgustegur ja päevavalguse jaotus ruumis. Ruumi mudel ja plaan koos algsete akendega.

Esimese näitena vähendatakse akna laiust nii köögi kui ka elutoa aknal. Ruumi akende osakaal välisseina pindalast on 33.5% (WWR muutus 46.6% → 33.5%) ja keskmine päevavalgustegur on 5.56% (muutus 7.44% → 5.56%) (Joonis 5.17).



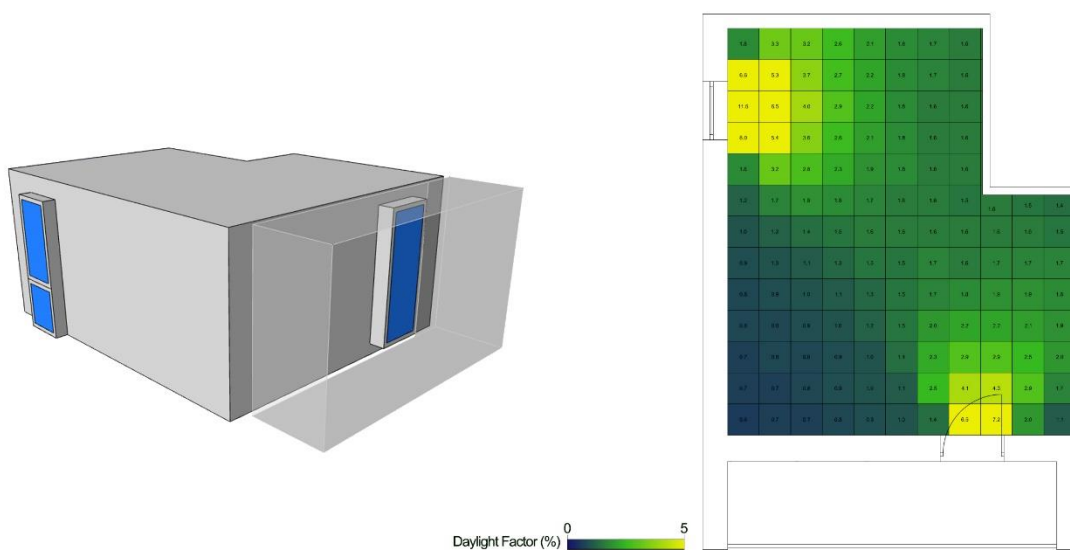
Joonis 5.17 Esimese näite (WWR 46.6% → 33.5%) päevavalgustegur ja päevavalguse jaotus ruumis.

Järgmise näite korral vähendatakse elutoa akna laiust ning köögi akna suurus vastab esimesele näitele. Ruumi akende osakaal välisseina pindalast on 27.0% ja keskmine päevavalgustegur on 4.5% (Joonis 5.18).



Joonis 5.18 Teise näite (WWR 46.6% → 27%) päevavalgustegur ja päevavalguse jaotus ruumis.

Kolmanda näite korral vähendatakse nii köögi kui ka elutoa akna laiust. Ruumi akende osakaal välisseina pindalast on 13.8% ja keskmine päevavalgustegur on 2.06% (Joonis 5.19).



Joonis 5.19 Kolmanda näite (WWR 46.6% → 13.8%) päevavalgustegur ja päevavalguse jaotus ruumis..

Esitatud näidete põhjal on võimalik oluliselt vähendada akende suurust tagades nõutud päevavalgusteguri ruumis. Vastavalt standardile "Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides" toodud keskmise päevavalgusteguri minimaalne nõue 2% oli tagatud kui akende osakaal välisseina pindalast muutus algselt 46.4% kuni kolmandas näites toodud 13.8%.

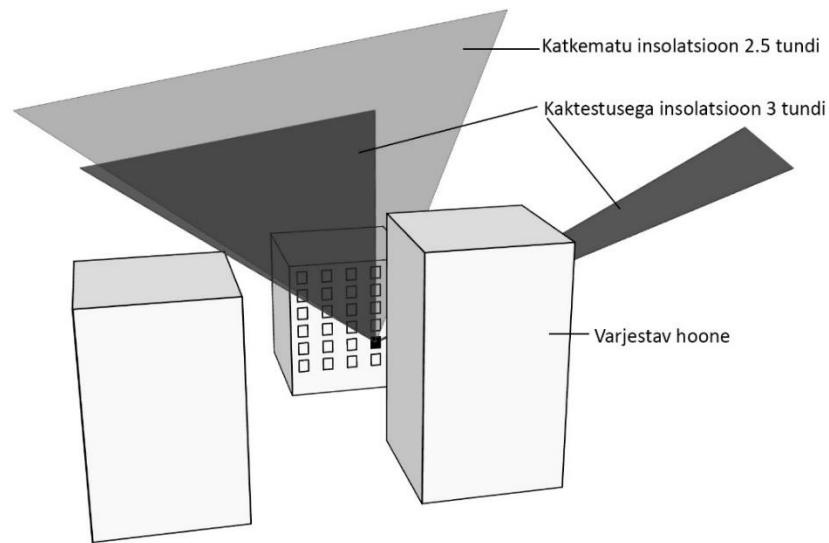
5.2.4 Insolatsioon

Insolatsioon tähendab sisuliselt otsest päikesekiirgust. Aega, mille jooksul päikesekiired pääsevad ruumi, nimetatakse insolatsiooni kestuseks. Insolatsiooni ja selle kestust saab analüüsida, kasutades erinevaid graafilisi meetodeid või simulatsiooniprogramme nagu IDA-Ice, Ecotect, IES, EnergyPlus jt. Vastavalt standardile "Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides" eristatakse insolatsiooni nõudeid uutele elamutele ja olemasolevatele elamutele. Kontorihoonetele insolatsiooni nõuded puuduvad. Kontorihoonetes tuleks hea päevavalgustuse huvides blokeerida otsene päikesekiirgus, kuid projekteerida fassaad nii, et see võimaldaks ära kasutada võimalikult palju haj valgust.

Planeeringute koostamisel tuleb hoonete asukoht ja orientatsioon valida selliselt, et oleks tagatud piisav insolatsioon päevas ajavahemikul 22. aprillist kuni 22. augustini. Insolatsiooni kestus eluruumides on piisav kui 2,5-tunnine katkematu insolatsioon või 3-tunnine katkestustega insolatsioon on tagatud kuni 3-toaliste korterite puhul vähemalt ühes toas, nelja või enama tubade arvuga korterite puhul vähemalt kahes toas, vaata joonis 6. Toaks loetakse ka kööktoad ja kööginurgaga toad. Insolatsiooni kestus on piisav ka siis, kui 2-tunnine katkematu insolatsioon on tagatud 2- ja 3-toaliste korterite puhul vähemalt kahes toas, 4 ja enama tubade arvuga korterite puhul kolmes toas.

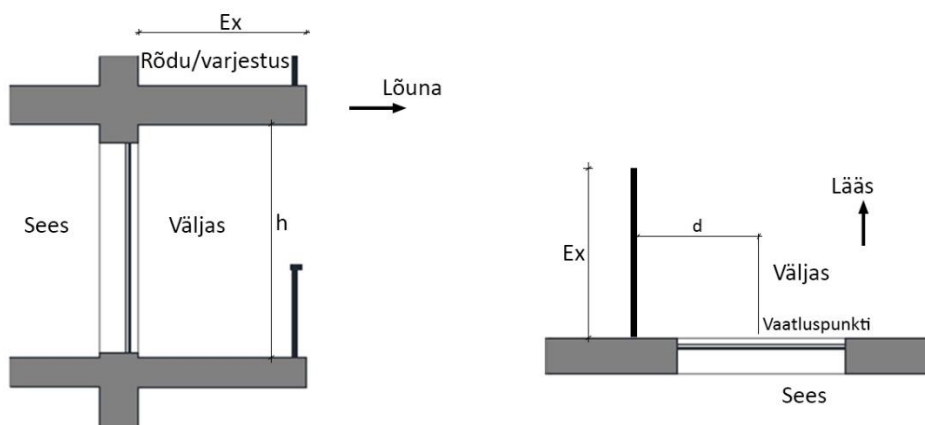
Uusehitiste planeerimisel ja projekteerimisel tuleb olemasolevates korterites tagada piisava insolatsiooni säilimine, kusjuures insolatsiooni kestuse vähenemine ei tohi ületada 50% esialgsest kogukestusest vaadeldavas toas.

Päikese otsekiirgus läheb insolatsioonina arvesse, kui päikese tõusnurk on vähemalt 6° ja nurk päikese asimuudi ja vaadeldava fassaadi vahel on vähemalt 10°. Insolatsiooni kestuse hindamisel on vaatluspunkt sein välispinnal akna keskel 90 cm kõrgusel ruumi põrandast.



Joonis 5.20 Katkematu 2,5 tunnine insolatsioon 21 juunil (helehall) versus 3 tunnine katkestusega insolatsiooni kestu 22 aprill/august (tumehall). Erinevus on põhjustatud päikese kõrgusnurkade erinevusest erinevatel kuudel.

On suur tõenäosus, et lähitulevikus insolatsiooni soovitused uutele elamutele muutuvad. Suure tõenäosusega soovitatakse insolatsiooni soovitusi järgida 22 aprillil/augustil ja võimalik, et kaovad soovitused insolatsiooni tagamiseks ülejäänud perioodil kaasa arvatud 22 juunil. Põhjus seisneb selles, et uued energiatõhusad eluhooned kipuvad suvekuudel väga kergesti ülekuumenema. Ülekuumenemise vältimiseks on üks võimalus kavandada rõdusid otsese päikese blokeerimiseks suveperioodil nii, et insolatsiooni nõuded on tagatud (päike kuni insolatsiooni vaatluspunkti 0,9 meetri kõrguseni), ent on akna enamuses osas blokeeritud. Järgmine näide on nii horisontaalse varjestuse kohta, mis sobiks paremini lõuna ilmakaarde ja vertikaalse varjestuse kohta, mis sobiks paremini ida või lääne ilmakaarde



Joonis 5.21 Ülekatte põhimõtted kasutamiseks lõuna, ida/lääne ilmakaartes.

Lõunasse orienteeritud ruumid:

- Ülekatted, nt rõdud võiks olla kavandatud järgides põhimõtet: $Ex \leq 0.4 \times h$
- Itta või läände orienteeritud ruumid võiksid olla kavandatud järgides põhimõtet: $Ex \leq 7 \times d$

6 TEHNOSÜSTEEMID

6.1 VENTILATSIOON

Eluruumide hea sisekliima sõltub hoone ventilatsioonist. Õhuvahetus hoones on vajalik nii ruumiõhu puhtuse tagamiseks kui ka niiskusprobleemide tekke vältimiseks. Sõltumata ventilatsioonisüsteemi tüübist tuleb hoone kõigis ruumides tagada vajalik õhuvahetus. Sealjuures ei tohi värske õhu joad põhjustada inimestele ebamugavust tuuletõmbuse ja ruumi pindade liigse jahutamise näol. Et saavutada rahuldavat sisekliimat, peab ventilatsioonisüsteemid projekteerima lähtuvalt eluhoonetele kehtestatud ventilatsiooninõuete järgi. Hea sisekliima tagamiseks tuleb teha paremini, kui normide miinimumnõuded ette kirjutavad.

Korterelamu ventilatsiooni projekteerimise alustamiseks on üldiselt vaja eelnevalt teha järgnev:

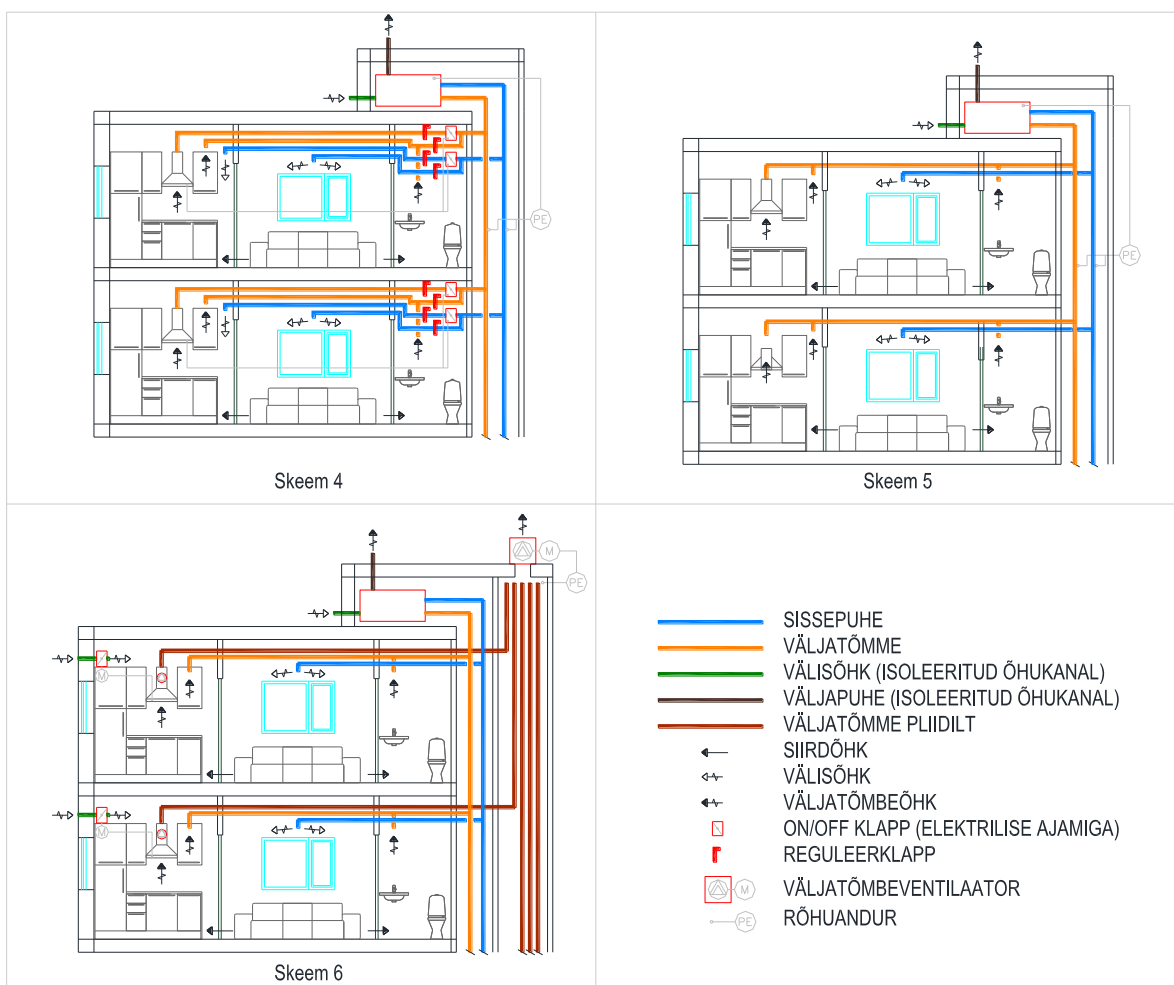
- selgitada välja ventilatsioonisüsteemi skeemid, mis on tehniliselt teostatavad. Selleks on peamiselt vaja uurida hoone arhitektuurset lahendust ja olukorda võimalike ventilatsioonikanalite kulgemiseks hoones ning korterites;
- energia- ja majandusarvutuste põhjal valitakse välja ventilatsioonisüsteemi skeem, mille abil täidetakse seatud energiatõhususe nõuded ja mille elukaarekulud on väikseimad;
- põhinedes kogutud informatsioonile valitakse koostöös tellijaga ventilatsioonisüsteemi tüüp, mida hakatakse projekteerima.

Korterelamu ventilatsioonisüsteemi on võimalik lahendada kas korteripõhiselt või tsentraalselt. Lisaks tuleb lahendada väljatõmme köögipliitidelt pliidikubuga. Kogu hoone ventileerimiseks on võimalikud erinevad skeemid:

1. lahendus korteripõhiste ventilatsiooniseadmetega on näidatud skeemidel nr. 1; 2; 3; (Joonis 6.1): ventilatsiooniseade paigaldatakse igasse korterisse; õhuvõtt seadmesse toimub läbi fassaadile paigaldatava õhuhaardereesti; heitõhk ventilatsiooniseadmest juhitakse katusele või heitõhukambrisse, kust toimub vajadusel õhu väljavise väljatõmbeventilaatoriga; sissepuhe eluruumidesse, väljatõmme sansõlmedest ja köögist; pliidikubu lahendus:
 - a. pliidikubu ühendatakse ventilatsiooniseadmega, pliidikubust toimub pidev väljatõmme, heitõhk läbib plaatsoojusvahetiga ventilatsiooniseadme soojustagastit;
 - b. pliidikubu ühendatakse ventilatsiooniseadmega, pliidikubust toimub ajutine väljatõmme, heitõhk juhitakse ventilatsiooniseadmes rootorsoojustagastist mööda, väljatõmmatav õhk kompenseeritakse sissepuhkega ja väiksema väljatõmbega teistest ruumidest;
 - c. pliidikubu on varustatud söefiltriga, pliidi kohalt võetav õhk puhastatakse ja läbi kubu liikuv õhk puhutakse tagasi ruumi;
 - d. juhul kui pliidikubu juhitakse eraldi torustikuga katusele või alarõhulisse heitõhukambrisse ja väljatõmmatav õhk kompenseeritakse värskeõhuga peab väljatõmmatava õhu kompenseerimine toimuma läbi elektrilise ajamiga varustatud värskeõhuklapi. Antud lahendus on kirjeldatud Skeemil 6, Joonis 6.2, kuid seda ei soovitata kasutada liginullenergiahoonetes.
2. lahendus hoone- või trepikojapõhise (tsentraalse) plaatsoojusvahetiga ventilatsiooniseadmega skeemid nr. 4; 5; 6 (Joonis 6.2): ventilatsiooniseade paigaldatakse tehnilisse ruumi või katusele; õhuvõtt seadmesse toimub läbi fassaadile paigaldatava või seadme juures oleva õhuvõtturesti; heitõhk seadmest juhitakse katusele; sissepuhe korteritesse ja väljatõmmatav õhk korteritest juhitakse läbi jaotustorustiku magistraalkanalisse ja ühisesse seadmesse; pliidikubu ühendatakse reeglina ventilatsiooniseadmega.



Joonis 6.1 Mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemide põhimõttelised skeemid korteripõhiste ventilatsiooniseadmetega.



Joonis 6.2 Enam levinud mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemide põhimõttelised skeemid hoonepõhiste ventilatsiooniseadmetega.

Skeemil nr. 4 (vt Joonis 6.2) esitatud hoonepõhise ventilatsiooniseadmega lahendus on leidnud kasutust Skandinaaviamaades. Tegemist on lahendusega, mis võimaldab reguleerida elektrilise ajamiga lahti/kinni-tüüpi reguleerklapiga korterite sissepuhke-väljatõmbe õhuvooluhulkasid sõltuvalt köögikubu kasutusest. Tavaliselt paiknevad Skeemil 4 näidatud klappid pliidikubus ning kubuga koos töötava lisasissepuhke harus. Kui pliidikubu klapp avatakse (käsitsi, sulgub taimeriga) avab kubu pingesignaal ühe lisasissepuhkelemendi klapi, et hoida õhuvooluhulgad ligikaudselt tasakaalus. Pliidikubude kasutamise ajal õhuvooluhulk korterites suureneb, mille võimaldamiseks hoitakse rõhuanduriga püstikutes konstantset rõhku ja lisatakse ventilaatori kiirust (rõhuandur nii sissepuhkes kui väljatõmbes). Antud süsteem on oluliselt lihtsam ja töökindlam kui muutuvate õhuvooluhulkadega VAV süsteem, mille puhul oleks iga korter varustatud kahe VAV klapiga, mida tuleks regulaarselt hooldada.

Skeemi 4 lihtsustatud, ilma ajamita variant on toodud Skeemil 5. Pliidikubu avamisel väljatõmbeõhk suureneb, püstiku rõhuandur lisab väljatõmbeventilaatori kiirust ning õhuvooluhulga mõõtmise funktsionaalsusega ventilaatorid võimaldavad lisada sissepuhkeventilaatri kiirust nii, et süsteemi tasemel on õhuvooluhulgad tasakaalus.

Reeglina toimub ventilatsioonisüsteemi projekteerimine järgmiselt:

- hoone õhuvahetuskeemi valik (ventilatsioonisüsteemi põhimõtteline skeem);
- vajalike õhuvooluhulkade arvutus;
- ventilatsiooniseadme paiknemise määramine koos õhuvõtu ja heitõhu avadega;
- ventilatsiooniseadme õhuvõtu- ja heitõhu lõppelementide ning torustiku paiknemine;
- tehniliste šahtide vajadus;
- ventilatsioonitorustiku paiknemine korrustel ja korterites;
- lõppelementide valik ja ventilatsioonitorustiku paiknemine;
- ripplae vajaduse määramine korterites – ripplagede vajaduse määramisel tuleb arvestada korterite jaotustorustikuga (võimalike ristumistega õhutorud omavahel ja teiste kommunikatsioonidega) ning ventilatsioonisüsteemi väljaehitamiseks vajaliku puhta kõrguse arvestamisega ripplae kohal;
- süsteemi elementide dimensioneerimine, vajaliku isolatsiooni määramine;
- tuletõkkeklappide ja tuletõkkeisolatsiooni määramine;
- ventilatsioonisüsteemi puhastus- ning hooldusluukide määramine;
- ventilatsioonisüsteemi tasakaalustamine ja rõhulangu arvutus;
- ventilatsiooniseadme lõplik valik;
- müraarvutus lähtuvalt ventilatsiooniseadmest ja süsteemi seadistusest;
- mürasummutite dimensioneerimine ja valik ning kontroll.

6.1.1 Õhuvooluhulkade arvutus

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 ning väljatõmbega varustatud ruumidesse jäetakse ruumide uste lävepakkude konstruktsioonidesse õhupilud (ukse laiuse pilu kõrgus $h \geq 15 \text{ mm}$) või siirdõhurestid vajaliku siirdõhuvoolu kindlustamiseks.

Kui puuduvad muud saasteallikad, peab ruumide välisõhu vooluhulk inimese kohta olema vähemalt 6 l/s. Uute elamute projekteerimisel saab lähtuda Tabel 6.1 toodud õhuvooluhulkade projekteerimise vaikeväärtustest. Vaikeväärtused lähtuvad keskmisest õhuvahetuskordsusest $0,6 \text{ h}^{-1}$ ruumis, mis on 2,5m kõrge ja minimaalselt kahest inimesest magamis- ja elutoas.

Tabel 6.1 Elu- ja abiruumide õhuvooluhulkade projekteerimise vaikeväärtused ja õhu liikumiskiirused.

Ruumi kasutusotstarve	Õhuvooluhulkade projekteerimise vaikeväärtus		Õhu liikumiskiirus	
	Välisõhu vooluhulk, l/s	Väljatõmme, l/s	Kütteperioodil, m/s	Jahutusperioodil, m/s
Elu-, magamistuba, pindala $>15 \text{ m}^2$	14		0.13	0.30
Elu-, magamistuba, pindala $\leq 15 \text{ m}^2$	12		0.13	0.30
Magamistuba, pindala $<11 \text{ m}^2$	8		0.13	0.30
WC		10		
Pesuruum		15		
Koduhoid/majapidamisruum		6		
Garderoob		5		

Tehniline ruum*	5*	5		
1-toalise korteri pesuruum		10		
Köögi üldventilatsioon**		8		
1-toalise korteri köögi üldventilatsioon		6		
Ajutine kohtäratõmme pliidikubust		25		
Vähim sisekliimaga tagatavate ruumide õhuvooluhulga keskvärtus korteripõhise seadmega***	0.42	0.42		
Vähim sisekliimaga tagatavate ruumide õhuvooluhulga keskvärtus hoonepõhise seadmega***	0.50	0.50		

*Juhul kui väljatõmmatava õhu kompenseerimiseks ei ole võimalik kasutada siirdõhku

**Väljatõmbe õhuvooluhulk võib olla väiksem, juhul kui vähim korteri õhuvooluhulga keskvärtus on tagatud

***Ühik $l/(s \cdot m^2)$

6.1.2 Õhukanalite läbimõõtude määramine

Õhukanalite läbimõõtude määramisel tuleb lähtuda õhukanalit läbivast summaarsest õhuvooluhulgast ja õhu liikumise kiirusest. Õhu liikumise kiirus tuleb valida nii, et ei oleks ületatud soovituslik rõhukadu ja õhukanalis tekkiv müratase.

Tabel 6.2 esitab soovituslikud maksimaalsed kiirused erinevates torustiku osades. Ventilatsioonitorustiku läbimõõdud tuleb valida nii, et summaarne õhuvooluhulk ei tekitaks torustikus liigset rõhulangu ning müra. Üldiselt võib ümarates õhukanalites lubada suuremaid kiirusi kui kandilistes õhukanalites. Kohtades, kus õhujoad pörkuvad vastu õhukanali seina või omavahel, tuleks valida väiksema kiiruse tagamiseks pigem suurema läbimõõduga õhukanal. Väljatõmbeplafoonid asuvad tavaliselt ruumides, kus on lubatud kõrgem müratase kui elu- ja magamistubades ning sel juhul võib väljatõmbekanalites ette näha pisut suuremaid kiirusi. Lisaks võib suuremaid kiirusi lubada mürasummutitest ventilatsiooniseadme poole jäävates õhukanalites ning heitõhu ja õhuvõtu õhukanalites.

Tabel 6.2 Maksimaalsed kiirused elamu sissepuhke õhukanalites

	Maksimaalne kiirus, m/s	Õhuvooluhulk soovituslikul maksimaalsel kiirusel, l/s					
		Ø100	Ø125	Ø160	Ø200	Ø250	Ø315
Õhukanalid korteris pärast mürasummutit	2.5	20	31	50	79	123	195
Kandiline õhukanal	3	24	37	60	94	147	234
Ümar õhukanal	4	31	49	80	126	196	312
Ümar peakanal ¹	5	39	61	101	157	245	390

¹ Tsentraalse ventilatsioonisüsteemi püstikutes

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

6.1.3 Ventilatsiooniseadme komponendid

Tagamaks aastaringselt kontrollitud õhuvahetust hoones on vaja see varustada mehaanilise ventilatsioonisüsteemiga, milles nii sissepuhke kui ka väljatõmbe pool on varustatud ventilaatoriga. Vältimaks liigset soojustarvet ning kasutamaks ära väljatõmbeõhus olevat energiat, peab ventilatsioonisüsteem olema varustatud soojustagastiga. Korteri põhised ventilatsiooniseadmed võivad olla varustatud kas rootor- või plaatsoojusvahetitega, kuid tsentraalsed ventilatsiooniseadmed ainult plaatsoojusvahetitega, sest rootorid tagastavad ka näiteks suitsu ja

muid lõhnasid. Lisaks ventilaatoritele ja soojustagastile peab ventilatsioonisüsteem olema varustatud filtritega. Hoonesse sissevõetavat välisõhku peab puhastama peenosakekestest ja väljatõmbeõhku puhastatakse kaitsmaks seadmeid mustumise eest. Määrduvad filtrid avaldavad mõju ventilatsioonisüsteemi elektrikasutusele. Õhuhaarded tuleb paigutada ja teostada selliselt, et sissevõetav välisõhk on võimalikult puhas ning heitõhk ei põhjusta probleeme hoone kasutajatele ja naaberhoonetele.

Külmal ajal sissepuhke õhu temperatuuri tõstmiseks vajaliku temperatuurini varustatakse ventilatsioonisüsteem peale soojustagastit järelküttekalorifeeriga.

Energiatõhususarvule avaldab ventilatsioonisüsteem mõju ventilaatorite elektritarbega ja välisõhu soojendamiseks kuluva soojusenergiatarbega.

Ventilaatorid kasutavad õhu transportimiseks elektrit. Tõhusa soojustagastusega hoonetes võib ventilatsioonisüsteemile vajalik aastane elektrikogus sageli osutada suuremaks ventilatsioonisüsteemi poolt tarvitatavast soojusest.

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 ventilatsiooniõhu liigutamiseks.

SFP on arvatav kasutades valemit:

$$SFP = \frac{P_{vent,SP} (kW) + P_{vent,VT} (kW)}{\text{Suurim õhuvoolumahust } L_{SP} \left(\frac{m^3}{s}\right) \text{ või } L_{VT} \left(\frac{m^3}{s}\right)}$$

$P_{vent,SP}$ on sissepuhkeventilaatori arvutuslik elektrivõimsus

$P_{vent,VT}$ on väljatõmbeventilaatori arvutuslik elektrivõimsus

L_{SP} on arvutuslik sissepuhke õhuvoolumahust

L_{VT} on arvutuslik väljatõmbe õhuvoolumahust

Liginullenergiahoonetes peab ventilatsioonisüsteem olema väikese elektritarbega ehk SFP peab olema $\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Vähendamaks soojusenergia tarbimist on lisaks ventilaatoritele komplekskes sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooniseadmes soojustagasti. Elamutes kasutatakse põhiliselt rootor- ja plaatsoojustagasteid.

Ventilatsiooni soojustagastuse tõhusust iseloomustab kaks näitajat:

- temperatuuri suhtarv,
- aastane kasutegur.

Soojustagasti temperatuuri suhtarv võrdub jagatisega, mille lugejas on sissepuhkeõhu temperatuuri tõus soojustagastis ja nimetajas temperatuuride vahe väljatõmbeõhus enne tagastit ning sissepuhkeõhus enne tagastit.

$$\eta_t^{st} = \frac{t_{pt}^{sp} - t_{et}^{sp}}{t_{et}^{vt} - t_{et}^{sp}}$$

6.1

η_t^{st} soojustagasti temperatuuri suhtarv, -

t_{pt}^{sp} sissepuhkeõhu temperatuur pärast tagastit, °C

t_{et}^{sp} sissepuhkeõhu temperatuur enne tagastit, °C
 t_{et}^{vt} väljatõmbeõhu temperatuur enne tagastit, °C

Soojustagasti aastane kasutegur avaldub järgmise valemiga:

$$\eta_a = 1 - \frac{Q_{tagastiga}}{Q_{tagastita}}$$

6.2

$Q_{tagastiga}$ soojuskasutus soojustagastiga, kWh/a
 $Q_{tagastita}$ soojuskasutus, kui tagastit poleks kasutatud, kWh/a

Soojustagasti saab jääda juhul, kui niiske väljatõmbeõhk puutub kokku soojustagasti pinnaga, mille temperatuur on madalam väljatõmbeõhu küllastustemperatuurist. Õhus sisalduv veeaur kondenseerub soojustagasti pinnale ning kui soojustagasti pinnatemperatuur on alla külmumistemperatuuri, hakkab kondenseerunud vesi soojustagastis jäätuma. Soojustagasti väljatõmbeõhu poolel tekkinud jää vähendab soojustagasti efektiivsust, tekitab väljatõmbeõhu poolele märgatava õhuvooluhulga vähenemise ja suurendab soojustagasti õhutakistust. Kui jäätmisvastaseid meetmeid õigel ajal kasutusele ei võeta, siis ummistab jää soojustagasti lühikese aja jooksul. Peamised soojustagasti jäätmist soodustavad tingimused on madal välisõhu temperatuur, väljatõmbeõhu kõrge niiskussisaldus, välisõhu suurem õhuvooluhulk võrreldes väljatõmbeõhu vooluhulgaga ning kõrge vastuvooluplaatsoojustagasti temperatuuri suhtarv. Kõrge temperatuuri suhtarvuga soojustagasti puhul on vee väljakondenseerumise kiirus suurem ning ka soojustagasti pind jahedam. Lisaks sõltub soojustagasti jäätumine ka soojustagasti suurusest ning paigutusest ventilatsiooniseadmes ja soojustagasti pinna omadustest.

Roorsoojusvahetid tagastavad kondenseerunud niiskust sissepuhkeõhku (aitavad vältida kuiva õhu probleemi talvel) ning ei ole tundlikud jäätmise suhtes. Äärmuslikes tingimustes välditakse jäätmist rootori pöörlemiskiiruse vähendamisega. Plaatsoojusvahetites, mis on jäätmise suhtes väga tundlikud, on kondenseerunud vee jäätmise vältimiseks välja töötatud mitmeid tehnoloogilisi lahendusi:

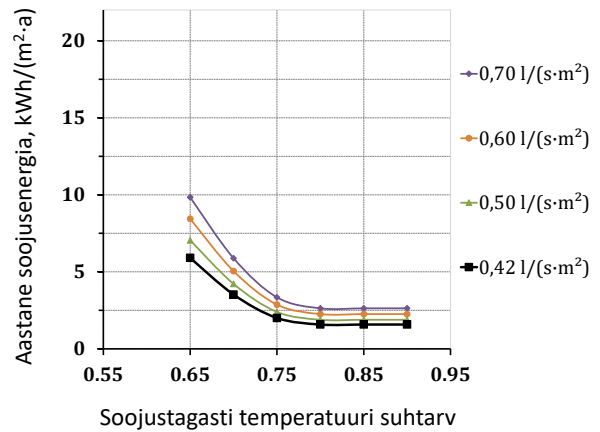
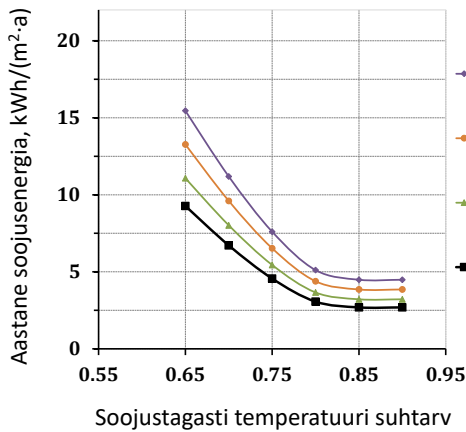
- Sissepuhke õhuvooluhulga vähendamine/peatamine – kui soojustagasti läheb sulatusrežiimi, siis väljatõmme töötab edasi, kuid sissepuhke väheneb ja välisõhuklapp osaliselt sulgub. Sellises olukorras tekib hoonesse alarõhk, infiltratsioon suureneb ja sissepuhke vähenemisel ei ole tagatud vajalik õhuvahetus.
- Sissepuhke ümberjuhtimine – juhul kui tekib risk soojustagasti jäätmiseks, siis osa sissepuhkeõhust suunatakse ümber eelküttekalorifeerile, kus õhku soojendatakse.
- Soojusvaheti pinna katmine hüdrofoobse/hüdrofiilse materjaliga – võrreldes tavalise soojustagastiga tekib hüdrofoobse või hüdrofiilse pinnaga kaetud soojustagastis jäätumine hiljem, jääkristallid paiknevad hõredamalt ja nad ei kasva nii kõrgeks.
- Soojustagasti disain ja paigutus – kuna kondenseerunud vesi on peamine põhjus jäätmiseks, siis peavad soojustagastid ehituslikult küljest tagama kondensaadi äravoolu enne selle jäätmist. Kui paigaldada väljatõmbeõhu osa ülespoole, siis on kondensaadi äravool tõhusam.
- Sissepuhkeõhu juhtimine möödaviiguga soojustagastist mööda – soe sissepuhkeõhk sulatab tekkinud jää ära ning soojustagasti saab tavarežiimi tagasi pöörduda. Samas on vajalik ka eel-

või järelküttekalorifeer valida vastavalt sulatusrežiimi temperatuuriparameetritele. Seega peab seadmele valitud kalorifeer olema valitud varuga.

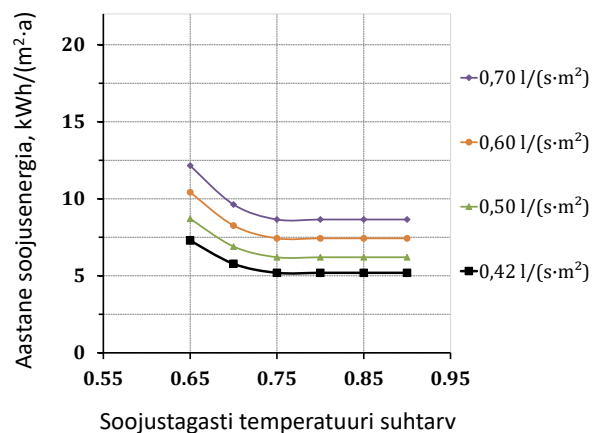
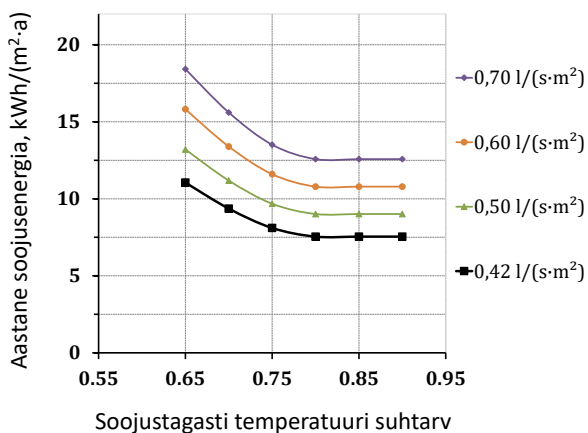
Korterelamu ventilatsioonisüsteemi aastane netoenergiakulu sõltub:

- ventilatsiooni õhuvoolumulgast
- soojustagasti temperatuuri suhtarvust
- sissepuhkeõhu temperatuurist
- väljatõmbeõhu temperatuurist
- heitõhu jäätumisvastasest temperatuurist.

Järgnevatel graafikutel (Joonis 6.3 ja Joonis 6.4) on korterelamu ligikaudne aastane ventilatsiooni netosoojuse tarve olenevalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust, õhuvoolumulgast, heitõhu jäätumisvastasest ja väljatõmbeõhu temperatuurist. Sissepuhkeõhu temperatuur on kõigis variantides 18 °C eeldusel, et järelküttekalorifeer soojendab sissepuhkeõhu temperatuurini 17 °C ja ventilaatoris soojeneb õhk lisaks 1 °C.



Joonis 6.3 Ventilatsioonisüsteemi aastane soojuse netokasutus olenevalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja õhuvoolumulgast ning väljatõmbeõhu temperatuurist, kui jäätumisvastane heitõhutemperatuur on 0 °C. Sissepuhkeõhu temperatuur on 17 °C, väljatõmbeõhu temperatuur on vasakpoolsel graafikul 21 °C ja parempoolsel 23 °C.



Joonis 6.4 Ventilatsioonisüsteemi aastane soojuse netokasutus olenevalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja õhuvoolumulgast ning väljatõmbeõhu temperatuurist, kui jäätumisvastane heitõhutemperatuur on 5 °C.

Sissepuhkeõhu temperatuur on 17 °C, väljatõmbeõhu temperatuur on vasakpoolsel graafikul 21 °C ja parempoolsel 23 °C.

Energiatõhususarvu määramisel lähtutakse soojustagasti temperatuuri suhtarvust, sissepuhkeõhu temperatuurist ja soojustagasti jäätumise piiramisest.

Soojusvaheti jäätumise vältimise tõttu lisanduv võimsus- ja energiavajadus tuleb arvesse võtta ventilatsioonisüsteemi energiakasutuse arvutuses. Soojusvaheti jäätumise vältimiseks piiratakse energiasimulatsioonides üldjuhul heitõhu minimaalset temperatuuri. Täpsemate andmete puudumisel võib energiaarvutustes kasutada tingimust, et piiratakse heitõhu miinimumtemperatuuri:

- 1) +5 °C-ni plaatsoojusvaheti korral;
- 2) 0 °C-ni rootorsoojusvaheti või niiskustagastusega plaatsoojusvaheti korral.

Liginullenergiahoonetes peab väljatõmbeõhu jääksoojus olema kasutatud maksimaalselt, ventilatsiooniseadme soojustagasti temperatuuri suhtarv peab olema ≥ 0.8 ning soojustagasti jäätumise vältimine/sulatamine peab olema lahendatud efektiivselt, külmasse kliimasse sobivate tehniliste lahendustega.

Lähtudes soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja jäätumise vältimisest on korterelamutes otstarbekas kasutada korteripõhise ventilatsiooni lahenduse korral rootorsoojustagastiga ventilatsiooniseadet ja tsentraalse ventilatsiooni lahenduse korral eelistada sektsioonisulatusega plaatsoojusvahetiga ventilatsiooniseadet.

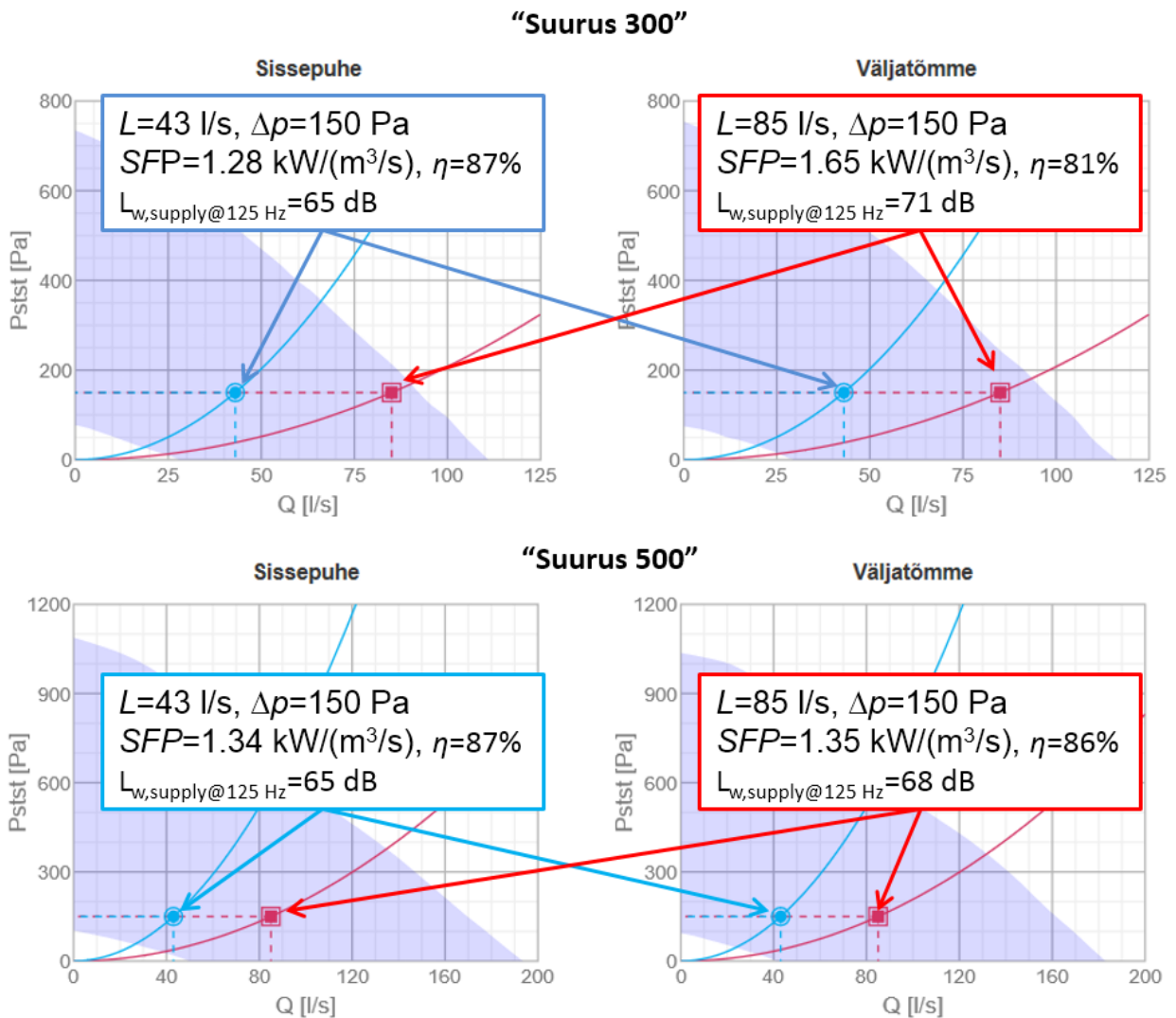
6.1.4 Ventilatsiooniseadme valik

Ventilatsiooniseadme valikul on vaja juba teada ventilatsioonisüsteemi tüüpi ja ala, mida ventilatsiooniseade või -seadmed teenindama hakkavad. Ventilatsiooniseadme tootlikkuse saamiseks tuleb kokku liita eelnevalt ruumide või korterite kaupa välja arvatud õhuvooluhulgad. Teine oluline parameeter ventilatsiooniseadme valikul on eeldatav vajalik rõhutõus ventilatsioonitorustikus, mis tuleneb õhukanalites, lõppelementides, mürasummutites, reguleer- ja tuleohutusarmatuuris, ja õhuvõtu ning heitõhu elementides tekkivast rõhukaost. Korterpõhise ventilatsioonisüsteemi teenindava ventilatsiooniseadme vajalik rõhutõus on madalam kui tsentraalse ventilatsiooniseadme puhul. Esialgseks väärtuseks võib võtta 150 Pa. Kui teenindatav ala on suurem, näiteks kortermaja tsentraalse ventilatsiooni puhul, siis võiks esialgseks torustiku rõhulanguks võtta 200 Pa. Projekteerimise hilisemas faasis tuleb torustikule teha aerodünaamiline arvutus, et välja selgitada tegelik vajalik rõhutõus ja kontrollida süsteemi tasakaalustamise võimalikkust.

Näide ventilatsiooniseadmete valikuks, mille arvutuslikud õhuvooluhulgad on vastavalt 43 ja 85 l/s. Kumbgi seade teenindab näiteks ühte korterit ja seade paigaldatakse korterisse, mille torustiku pikkus on suhteliselt lühike. Esialgseks torustiku rõhulanguks nii sissepuhkel kui ka väljatõmbel võib võtta näiteks 100 Pa. Valime näiteks rootorsoojustagastiga ventilatsiooniseadme ja vastavalt energiaarvutusele ei tohi soojustagasti temperatuurisuhtarv olla väiksem kui 80%.

Ventilatsiooniseadme valikul on näitena toodud ventilatsiooniseadmete tootja kodulehel asuva valikuprogrammi abil seadmed nimisuurustega „300“ ja „500“. Tootjapoolsete programmide kasutamisel tuleb tähelepanu pöörata, millistel tingimustel valikud tehakse. Antud programm annab ventilaatorite eritarbimise (SFP) ainult puhaste filtrite puhul. Energiaarvutuses tuleks arvestada

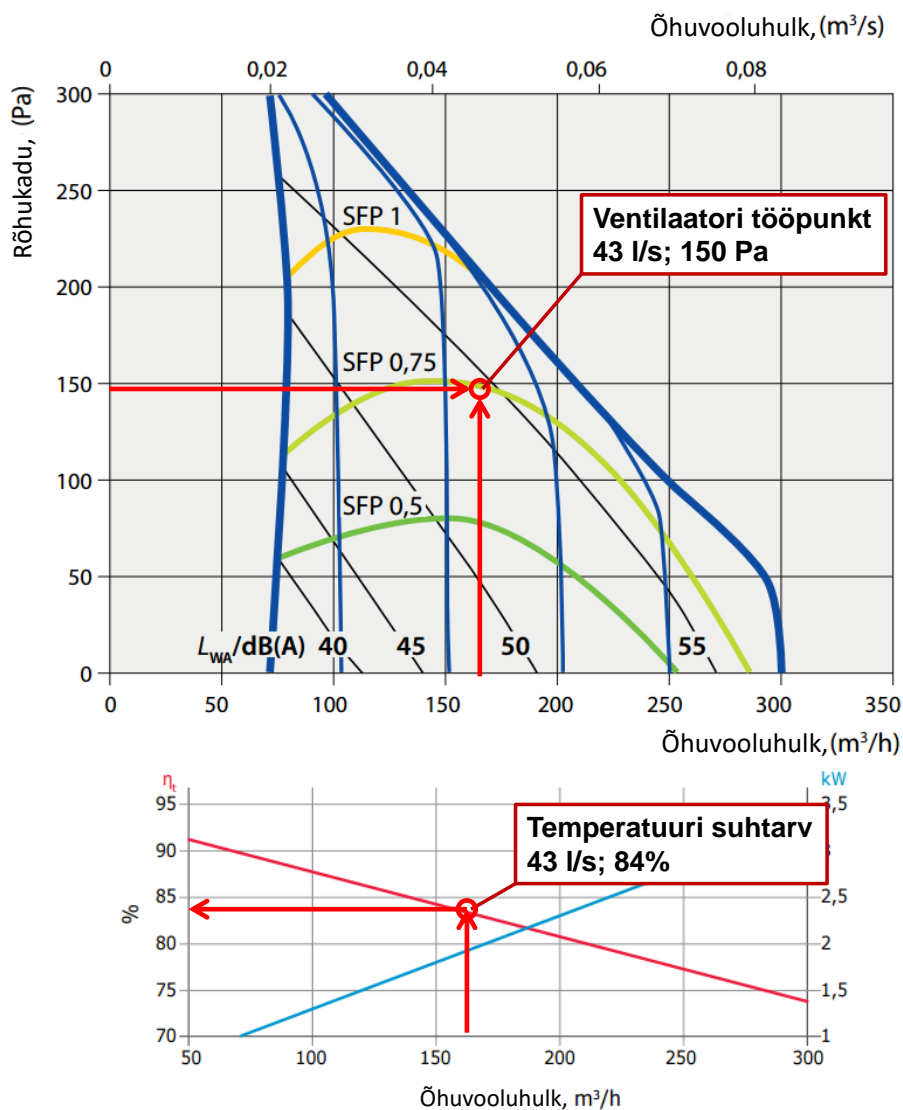
keskmiselt mustunud filtritega. Seega lisasime nii sissepuhke- kui ka väljatõmbetorustiku rõhulangule 50 Pa, mis on hinnanguliselt filtrite rõhulangu suurenemine keskmisel mustumisel. Joonis 6.5 esitab kahe erineva suurusega ventilatsiooniseadme ventilaatorite ja soojustagastite efektiivsused arvutuslikel tingimustel.



Joonis 6.5 Roorsoojustagastiga vertikaalsete ventilatsiooniseadmete võrdlus õhuvooluhulkadel 43 l/s ja 85 l/s.

Väiksema õhuvooluhulga juures on valiku aluseks olnud tingimused täidetud mõlema seadme korral. Sobiv ventilatsiooniseade on nimisuurusega „300“, mis on efektiivsem ventilaatorite elektritarbimise seisukohast ja on eeldatavasti ka odavam. Suurema õhuvooluhulga juures tuleb valida seade nimisuurusega „500“. Väiksem seade täidab soojustagasti temperatuuri suhtarvu, aga ei ole täidetud SFP nõue.

Joonis 6.6 kirjeldab, kuidas määrata ventilatsiooniseadme SFP-d ja soojustagasti temperatuurisuhtarvu kataloogis toodud nomogrammide põhjal. Vastavalt joonisele on ühe ventilaatori SFP 0,75 kW/(m³/s), mis tuleb kogu seadme SFP leidmiseks kahega läbi korrutada. Seega on antud seadme SFP 1,5 kW/(m³/s). Samal jooniselt leiab ka soojustagasti temperatuuri suhtarvud, mis on tegelikul õhuvooluhulgal vastavalt 84%.



Joonis 6.6 Roorsoojustagastiga ventilatsiooniseadme valik kataloogis toodud nomogrammide põhjal. Ventilatori SFP-d on ülémisel ning soojustagasti temperatuuri suhtarv alumisel joonisel.

6.1.5 Ventilatsioonisüsteemi müra

Ventilatsioonisüsteemi projekteerides tuleb kindlasti teostada müraarvutused. Müraarvutustega tuleb kontrollida, et ruumides ei oleks ületatud tehnosüsteemide poolt tekitatud lubatud müratase. Lisaks tuleb kontrollida, et läbiviigud ja õhukanalid ei vähendaks ruumidevahelist heliisolatsiooni. Müra ja heli võib kanduda edasi mööda ventilatsioonikanalit ühest ruumist teise ja tekitada probleeme, kui helid kanduvad ühest korterist teise. Seega on oluline teha müra arvutus nii ventilatsioonisüsteemile kui ka ventilatsioonikanalite kulgemisest tulenevatel võimalikule mõjudele. Ventilatsiooniseadme poolt ruumis tekitava mürataseme arvutamiseks saab kasutada kas vastavat tarkvara või arvutustabeleid. Ventilatsiooniseadme poolt ruumides tekitatava mürataseme nõuetele vastavuse kontrolliks tuleb välja valida kriitiline ruum või ruumid.

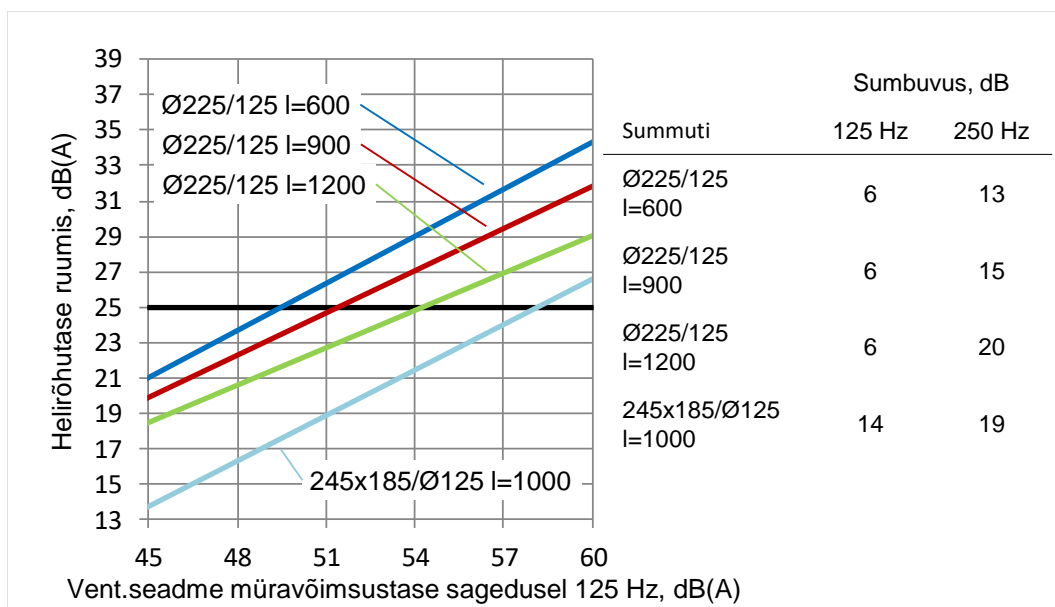
Kriitilise ruumi välja valimiseks tuleb arvestada järgnevat:

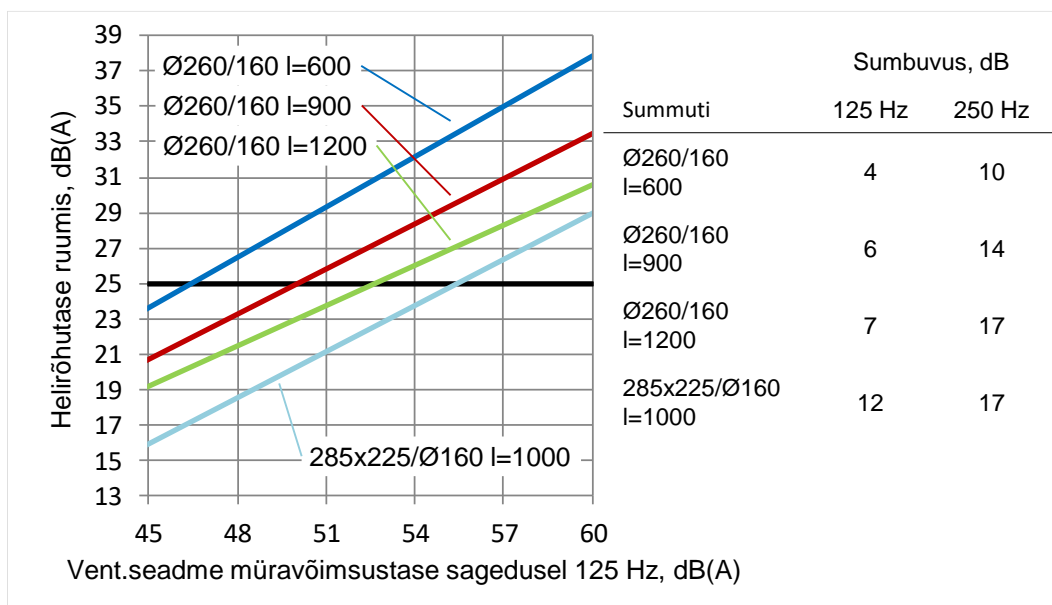
- ventilatsiooniseadme müra on suurem seadmele lähemal asuvates õhujagajates ja plafoonides;

- suuremate mõõtmetega ventilatsioonitorustikes sumbub müra kehvemini ja seega on liigse mürarisk kõrgem suurema õhuvahetusega ruumides;
- väiksemad ja kõvemate pindadega ruumid summutavad müra kehvemini;
- ventilatsioonitorustiku lõppelemendi sumbuvus sõltub tüübist ja suurusest.

Tavaliselt osutub kriitiliseks ruumiks ventilatsiooniseadmele lähim ruum. Ventilatsioonisüsteemi poolt kriitilises ruumis tekitava mürarõhutaseme jaoks tuleb välja selgitada ventilatsiooniseadme poolt kanalisse tekitatav müravõimsustase ning sellest maha lahutada torustiku ning selle komponentides toimuv sumbuvus. Lisaks toimub müra sumbuvus ka ruumis. Ruumi sumbuvus sõltub ruumis olevatest helineelavatest pindadest. Soovitus on projekteerida süsteem nii, et müra tase oleks täidetud ilma ruumi arvestamata ja ruumi sumbuvus jätta tagavaraks.

Ruumis ventilatsioonisüsteemi poolt põhjustatud helirõhutaseme sõltub otseselt ventilatsiooniseadme müravõimsustasest. Tavaliselt osutub kriitiliseks müratase sagedusel 125 Hz ja teades ventilatsiooniseadme müravõimsustaset sellel sagedusel, saab teha esialgse mürasummuti valiku. Esialgse valiku aitab teha Joonis 6.7, kus on toodud näiteks mürarõhutaseme ruumis sõltuvalt ventilatsiooniseadme müravõimsustasest sagedusel 125 Hz ja mürasummuti tüübist ning pikkusest. Valdavalt osutub kriitiliseks müratase sagedusel 125 Hz ja toodud graafikud töötavad hästi sellistel juhtudel. Kõrgematel sagedustel sõltub sumbuvus mürasummuti pikkusest rohkem, kui madalama sageduse müra puhul. Joonisel on punase ringiga tähistatud üks ventilatsiooniseade, mille korral osutusid kriitiliseks sagedused 250 või 500 Hz sõltuvalt mürasummutist. Antud seadme puhul on pikemate mürasummutitega ruumis keskmisest madalam ja lühemate mürasummutite puhul kõrgem. Seega sobib toodud joonis ainult mürasummuti esialgseks valikuks ja iga projekti puhul tuleb teha ka eelpool kirjeldatud müraarvutus.





Joonis 6.7 Mürasummuti esialgne valik ventilatsiooniseadme müravõimsustaseme järgi sagedusel 125 Hz.

Tavapäraselt tehakse müraarvutus põhiprojekti tasemel, aga tihti kasutatakse ehitamisel teistsuguseid tooteid. Ruumide helirõhutaset mõjutavad ventilatsioonitorustiku elementidest peamiselt ventilatsiooniseadme müratase ja mürasummuti ning õhujagaja sumbuvus. Seetõttu tuleks nende toodete asendamisel kontrollida, kas pärast muudatusi ruumides nõutud helirõhutase on tagatud või mitte. Selleks tuleb võrrelda esialgse ja muudatusena välja pakutud lahenduste mürandmeid sagedustel 125, 250 ja 500 Hz. Juhul kui pakutud asenduste müratase on kõrgem kui varem valitud komponentidel, tuleb kogu süsteemi müraarvutus uuesti teha ja kontrollida, et ei ületata lubatud müratasemeid.

Ventilatsiooni süsteem on üks süsteem kõikidest hoone tehnosüsteemidest. Kui tehakse kontrollarvutusi ventilatsioonisüsteemi mürale, siis tuleb arvestada, et ruumides kehtestatud müra normtasemed kehtivad kõikidele tehnosüsteemidele. See tähendab, et summaarne müra tase ei tohi tehnosüsteemide samaaegsel töötamisel ületada müra normtasemeid.

6.2 MÜRA NORMTASEMED

Tehnosüsteemide müra hoonetes ja hoonete välisterritooriumil ei tohi ületada normtasemeid. Tehnosüsteemidest põhjustatud müra normtasemed elu- ja magamisruumides on kehtestatud ööpäevaringselt ning ülejäänud ruumides vastavalt ruumi kasutamise otstarbele. Tabel 6.3 esitab eluruumide müra normtasemed, täpsemalt on tehnosüsteemide müra erinevates ruumides käsitletud standardis EVS 842.

Tehnosüsteemideks loetakse hoonete kütte-, jahutus-, ventilatsiooni-, konditsioneerimis-, elektri-, andmeside-, vee- ja kanalisatsioonisüsteemid, gaasipaigaldised ning liftid ja eskalaatorid. Hoonete välisterritooriumi müra nõuded kehtivad krundi piiril ning pikaajaliseks viibimiseks ette nähtud kohtades nagu terrassidel ja rõdudel.

Tabel 6.3 Tehnosüsteemide müra normtasemed hoonetes ja hoonete välisterritooriumil.

Ruum	Müra normtasemed	
	$L_{pA,eq,T}$, dB(A)	$L_{pA,max}$, dB(A)
Elutubades	28	32
Magamistubades	25	30
Elamu välisterritooriumil	päeval ¹ 45 öösel 40	öösel 45

¹Päevased nõuded kehtiva kell 7:00–23:00 ja öised nõuded kell 23:00–7:00

6.3 SOOJUSVARUSTUS JA KÜTE

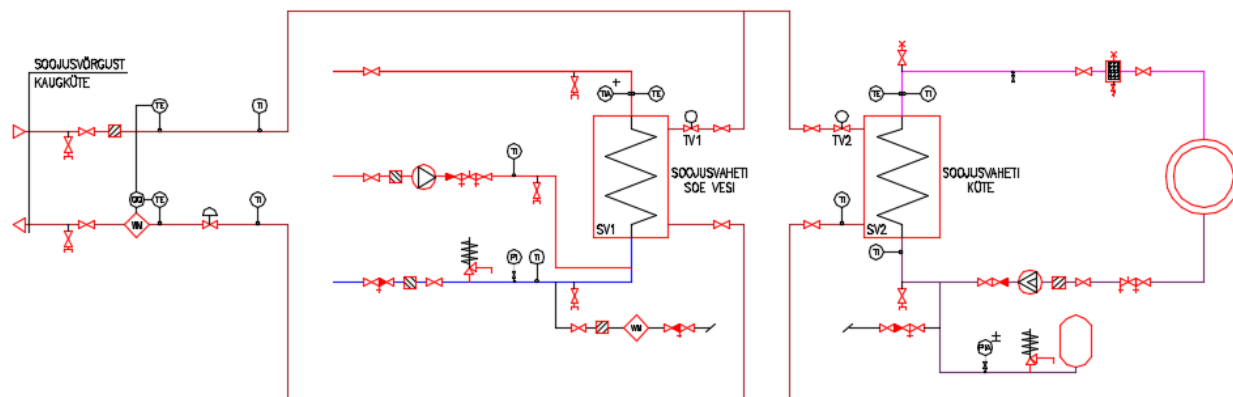
Hoone küttesüsteemis eristatakse soojusallikat (nt soojuspump, katel, päikesekollektor) ja soojuse jaotamise süsteemi (nt radiaatorküte, põrandküte). Tänapäeva korterelamute levinuimad soojusallikad on:

- kaugküte
- soojuspump
- keskküttekatel
- taastuvad energiaallikad

6.3.1 Kaugküte

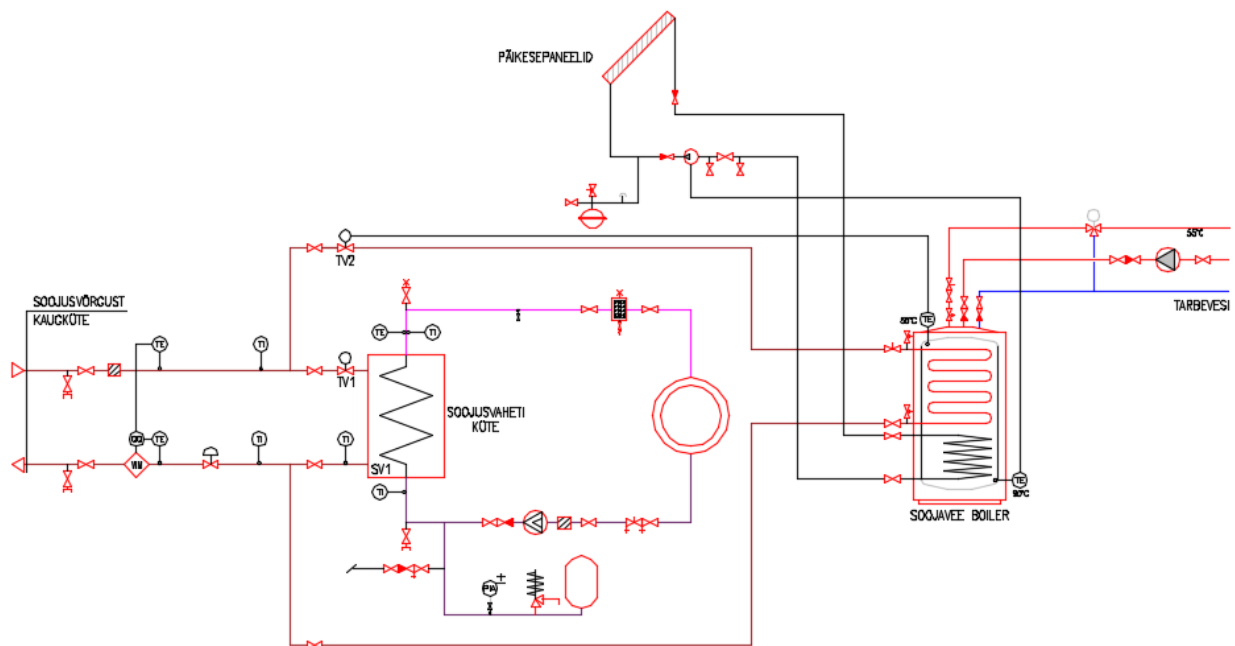
Kaugküte on korterelamutele levinuim soojusallikas linnades ja suuremates asulates. Kui kohalik omavalitsus on tuginedes kaugkütteseadusele kehtestanud kaugküttepiirkonna(d), siis tuleb elamu soojusvarustuse kavandamisel lähtuda kaugküttepiirkonnale kehtestatud tingimustest. Nende tingimustega võib olla sätestatud, et kaugküttepiirkonnas paikneva uue elamu soojusallikaks saab olla ainult kaugküte.

Soojust toodetakse piirkonna katlamajas, millest soojusvõrgu kaudu transporditakse soojuskandjat tarbijatele. Kaugküttesüsteemide olemasolu loob võimaluse soojuse- ja elektrikoostootmiseks, mis on oluliselt vähem energiamahukam kui kütuste baasil elektri ja soojuse eraldi tootmine. Kaugküte kaalumistegur on 0.9, mis annab energiatõhususarvu osas eelise võrreldes korterelamu keskküttekatlas mittetaastuvatest kütustest toodetud soojusega. Kortereelamu ühendatakse kaugküttevõrguga hoones paikneva soojussõlme kaudu, kus toimub hoone küttesüsteemi jaoks ettenähtud temperatuuridega soojuskandja ja sooja tarbevee valmistamine. Sõltumatu ühendusskeemi korral, mis on levinuim ühendusviis, on kaugküttevõrgu vesi eraldatud hoone küttesüsteemist soojusvahetiga. Oluline on soojussõlme automaatika toimimine: küttesüsteemi mineva vee temperatuuri reguleerimine olenevalt välisõhu temperatuurist ja sooja tarbevee temperatuuri reguleerimine. Kaugküte kavandamisel on vaja lähtuda kaugküte ettevõtte poolt väljastatud tehnilistest tingimustest. Näide kaugküte soojussõlme tüüpskeemist on toodud joonisel (Joonis 6.8). Kaugküte varustab soojusega nii kütte- kui a sooja tarbeveesüsteemi. Nii kütet kui sooja tarbevett valmistatakse kiirsoojusvahetites. Automaatika reguleerib ventiili TV2 abil sõltuvalt välisõhu temperatuurist küttesüsteemi mineva vee temperatuuri. Ventiil TV1 reguleerimisega tagatakse soojatarbevee ühtlane temperatuur (nt 55°C).



Joonis 6.8 Kaugkütte baasil soojussõlme tüüpskeem.

Liginullenergiahoones võib osutada vajalikuks lahendada tarbevee tootmine osaliselt päikesekollektorite abil, mis täpsemate andmete puudumisel võib arvestuslikult moodustada kuni 50% sooja tarbevee tootmisest, kui peamine energiaallikas on kaugküte, siis kollektoritega on võimalik toota $30 \cdot 0.5 = 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ja kaugkütte baasil valmistatud sooja tarbevee kaalutud energiakasutus oleks $(30-15) \cdot 0.9 = 13.5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ [sh määrusejärgne sooja tarbevee netoenergiavajadus korterelamule on $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$]. Näide Põhisoojusallikaks on kaugküte. Küttesüsteemi tarbeks valmistatakse soojuskandjat kiirsoojusvahetiga. Automaatika reguleerib ventiili TV1 abil sõltuvalt välisõhu temperatuurist küttesüsteemi mineva vee temperatuuri. Sooja tarbevett valmistatakse mahtboileris, mille soojusallikaks on kaugküte ja päikesekollektor. Juhul, kui boileri alumises tsoonis on sooja tarbevee temperatuur madalam päikesekollektorist saadava soojuskandja temperatuurist, lülitub tööle päikesekollektori pump ja toimub boileri soojendamine päikeseenergiaga. Päikesekollektoriga võib boileris soojendada vee kuni 90°C -ni. Segamisventiil TV2 tagab sooja tarbevee ühtlase temperatuuri (nt 55°C), olukorras, mil päike on kütnud boileris vee temperatuuri lubatud sooja tarbevee temperatuurist (nt 55°C) kõrgemaks. Kui päikesekollektoritest saadavast soojusest ei piisa, tõstatab kaugküte boileris oleva vee temperatuuri ette nähtud väärtuseni (nt 55°C).



Joonis 6.9 Kaugkütte baasil soojussõlm koos päikesekollektoritega sooja tarbevee tootmiseks.

6.3.2 Soojuspumbad

Soojuspumba abil on võimalik ümbritsevast keskkonnast ammutada madalama temperatuurilist energiat ja saada sellest kõrgema temperatuurilist soojuskandjat. Näiteks võib temperatuuriga $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ välisõhust toota sooja vett temperatuuriga $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja kõrgemat. Energias võib ammutada maast, veekogust, välisõhust, ventilatsiooni heitõhust jm. Soojuspumba näol ei ole tegemist igiliikuriga ja oma tööks vajab ta elektrienergiat. Soojuspumba töö efektiivsust iseloomustab soojustegur, mis näitab kui palju saab ühest ühikust elektrienergiast soojusenergiat. Näiteks kui soojuspumba soojustegur on 3, tähendab see, et 3 kWh soojuse saamiseks kulub 1 kWh elektrienergiat ja 2 kWh energiat saadakse ammutatavast keskkonnast. Soojusteguri kohta kasutatakse sageli ingliskeelset lühendit COP (coefficient of performance) ja sissehoo soojusteguri kohta SPF (seasonal performance factor). Tihti reklaamitakse õhk-vee ja õhk-õhk soojuspumpasid välistemperatuurile $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ vastava soojusteguriga, mis erineb kardinaalsest tegelikust, aasta keskmisest soojustegurist.

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

Sõltuvalt ammutatavast keskkonnast võib soojuspumbad tinglikult jagada maasoojuspumpadeks ja õhksoojuspumpadeks.

Suuremate korterelamute korral võib osutada vajalikuks paigaldada mitu soojuspumpa, mis üldjuhul töötavad kaskaadi põhimõttel.

6.3.2.1 Maasoojuspump

Maasoojuspumbad ammutavad soojust maast. Selleks on maasse paigaldatud spetsiaalne soojusvahetusüsteem (nn kollektorid), milledes voolab mittekülmuv vedelik. Torudes olev vedelik on maapinna temperatuurist madalama temperatuuriga ja seetõttu siirdub maas olev soojus vedeliku. Maakollektorid võivad olla horisontaalse või vertikaalse paiknemisega.

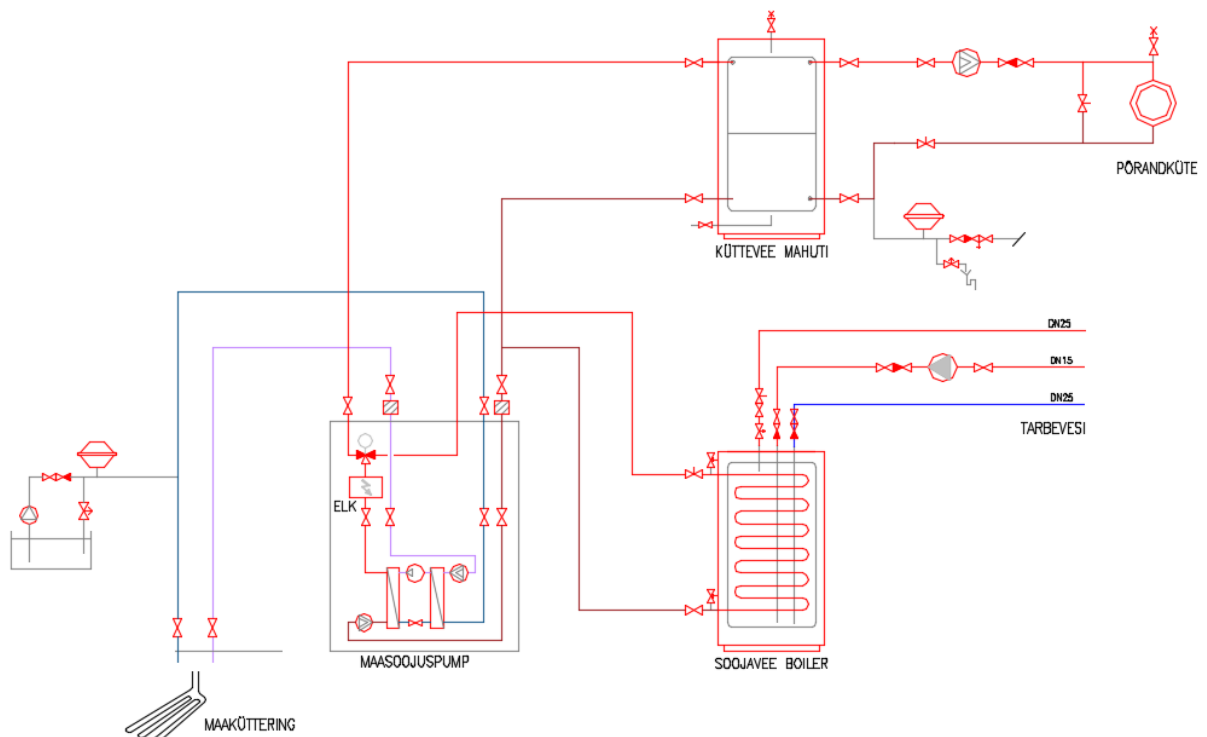
Vertikaalsete kollektorite (nn energiakaevud) jaoks on vaja rajada spetsiaalsed puurkaevud. Kas ja millise sügavuseni võib rajada puurkaevud, sõltub piirkonna geoloogilistest iseärasustest ja kohaliku omavalitsuse keskkonnakaitse ametkonna poolt väljastatud tingimustest. Energiakaevust saadav soojusvõimsus sõltub oluliselt pinnase soojustehnilistest omadustest, kaevude sügavusest ja paiknemisest. Ligikaudu võiks arvestada, et 1 kW installeeritud soojuspumba poolt väljastatava soojusvõimsuse jaoks on vaja 25 jm energiakaevu. Energiakaevude soovituslik vahekaugus peaks olema vähemalt 7,5 m.

Horisontaalsed kollektorid paigaldatakse ca 1 m sügavusele. Torustike vahekaugus on 1...1,2 m. Maapinnast saadav soojushulk ja võimsus sõltub konkreetse maapinna soojustehnilistest parameetritest. Ligikaudu võiks arvestada, et 1 kW installeeritud soojusvõimsus tarbeks on vaja horisontaalse kollektori jaoks maapinda ca 60...90 m²

Horisontaalseid kollektoreid on võimalik paigaldada mitte põhjani külmuvatesse veekogudesse (näiteks järve). Sel juhul tuleb arvestada keskkonnakaitse tingimustega ja vältida kollektori vigastamise ohtusid (laevade ankrud, sõukruvi poolt tekitatavad keerised jms).

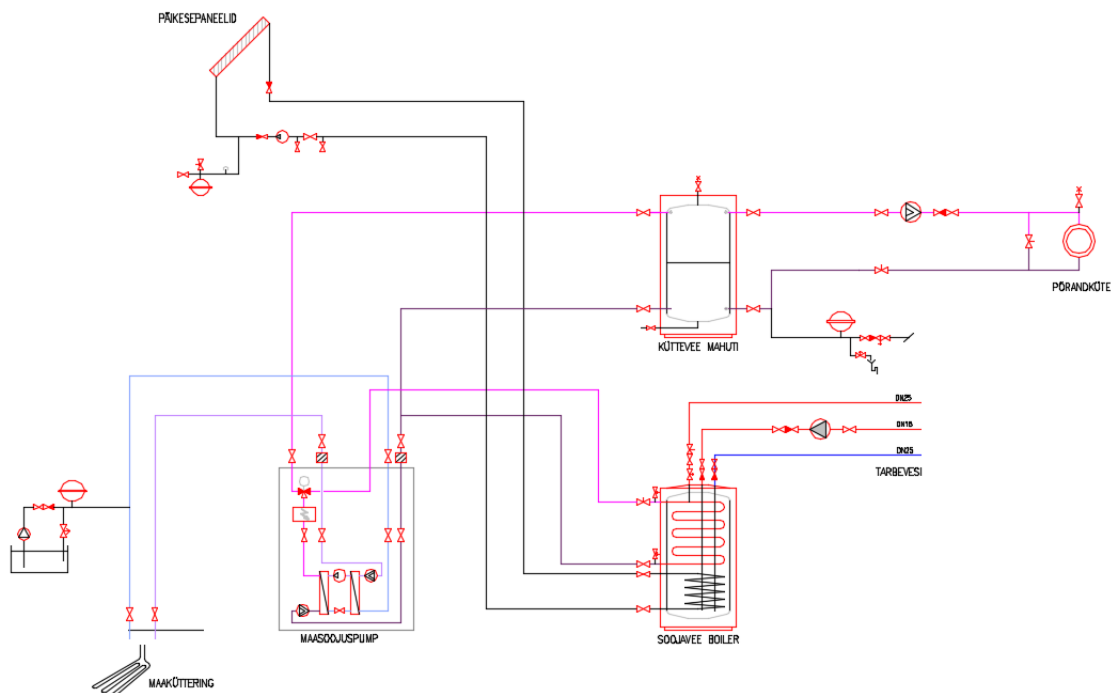
Tavaliselt ei dimensioneerita korterelamute maasoojuspumpasid 100 % kütte arvutusliku võimsuse järgi, vaid soojuspumbaga toodetakse ca 50...60 % vajalikust küttesoojusvõimsusest, mis katab ca 90...95% aastasest soojusenergiatarbimisest. Ülejäänud tipuvõimsus tagatakse elektriga või suuremate hoonete puhul katlaga ning see võetakse ka energiaarvutuses arvesse vastava kasu- ja kaalumisteguriga.

Üks võimalik lahendus kortermaja soojuspumpsüsteemist on toodud Joonis 6.10. Hoone põhiliseks soojusallikaks on maasoojuspump, 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 kütteevee temperatuurist, annab lisasoojuse 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.



Joonis 6.10 Kortterelamu soojusallikas maasoojuspump, tipuvõimsus elektriga.

Joonis 6.11 esitab analoogsela lahendusega, lisatud on päikesekollektorid. Päikesekollektor on ühendatud soojavee boileriga. Kogu soojusvarustuse süsteemi töö juhivad soojuspumbaautomatikad. Juhul, kui boileri alumises tsoonis on sooja tarbevee temperatuur madalam päikesekollektorist saadava soojuskandja temperatuurist, lülitub tööle päikesekollektori pump ja toimub boileri soojendamine päikeseenergiaga.



Joonis 6.11. Kortterelamu soojusallikas maasoojuspump, tipuvõimsus elektriga + päikesekollektorid..

6.3.2.2 Õhk-vesi soojuspumbad

Õhksoojuspumbad ammutavad soojust õhust, kas välisõhust või ventilatsiooni heitõhust. Liginullenergia korterelamus on vajalik kõrge efektiivsusega ventilatsiooni soojustagastus, mistõttu ventilatsiooni heitõhu temperatuur on suhteliselt madal ning heitõhust soojuse ammutamine soojuspumba tarbeks on üldjuhul ebaotstarbekas.

Välisõhu õhksoojuspumba korral peab välisõhus paiknema ventilaatoriga varustatud soojusvaheti, mis ammutab välisõhust soojuspumba tarbeks soojust. Välisseadme asukoha valikul peab arvestama seadme poolt tekitatava võimaliku müra ja vibratsiooniga.

Toodetakse ka nn passiivseid väliseid soojusvaheteid, kus puudub ventilaator. Nende mõõtmed on oluliselt suuremad. Probleemiks võib osutada välise soojusvaheti liigne jäätumine ja sellest tingitud ebaefektiivne soojuspumba töö.

Kuna õhksoojuspumbad ei vaja krundil erilist ruumis, siis saab neid kasutada olukordades, kus krundil pole piisavalt pinda maakollektorite paigaldamiseks.

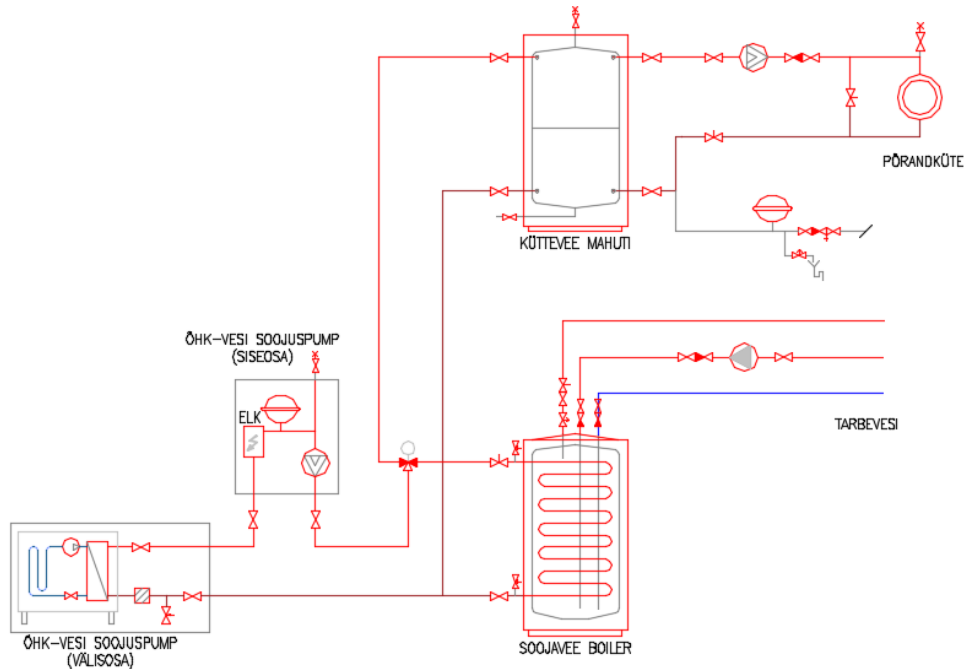
Õhksoojuspumbast saadav küttevõimsus on sõltuv välisõhu temperatuurist, mida külmem on välisõhu temperatuur, seda väiksem on küttevõimsus ja soojustegur. Näiteks kui õhk-vesi tüüpi soojuspump toodab soojust põrandküttele on keskmine soojustegur välisõhu temperatuuri + 2°C juures suurusjärgus 2,7 ja temperatuuri -7°C juures 2,1, sooja tarbevee tootmiseks suurusjärgus 2,3. Tuleb arvestada, et väga madalate välisõhu temperatuuride korral ei pruugi õhksoojuspump korrektselt töötada ja seadme tootjad ei anna selliste temperatuuride korral garantiid. Sõltuvalt tootjast võib madalaim välisõhu temperatuur olla -15...-25°C. Seetõttu on vaja õhksoojuspumba korral 100 %'st muu kütteviisi (näiteks elekterküte, katel) olemasolu. Majanduslikult ei ole otstarbekas õhksoojuspumba valikul lähtuda arvutuslikust kütte võimsust, vaid sellest väiksemast. Tavaliselt peaks õhksoojuspump tagama soojusvajaliku võimsuse kuni välisõhu temperatuurini -5...-10°C. See tähendab, et sellest temperatuurist külmemate ilmade korral on alati vajalik lisaküte. Õhk-vesi soojuspumpadel on sageli juba pumbasüsteemis endas täiendav elekterkütte element, mis katab hoone soojusvajaduse ka olukorras, kus soojuspump ei tööta.



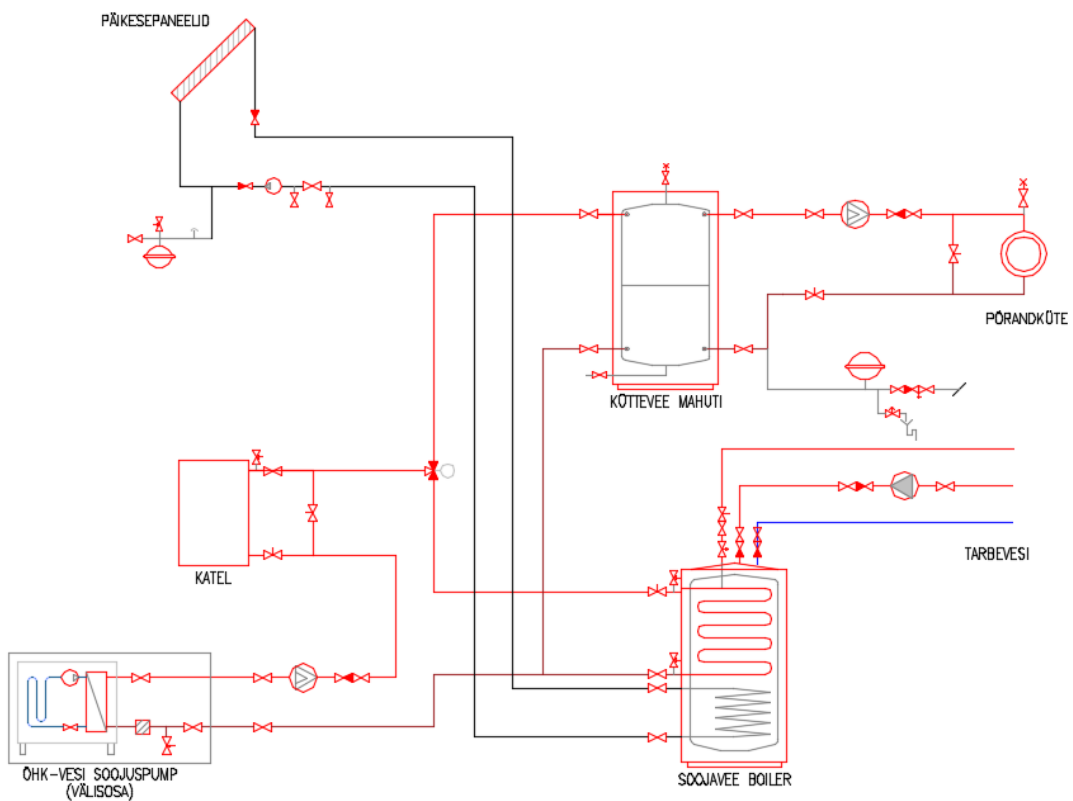
Joonis 6.12 Näiteid korterelamu õhk-vesi soojuspumpsüsteemi välisosadest (www.airwave.ee; ait-nord.ee).

Joonis 6.13 esitab ühe võimaliku soojusvarustuse lahendus õhk-vesi soojuspumba baasil. Süsteemi toimimispõhimõte on analoogne maasoojuspumbaga. Erinevus ainult soojuspumba tüübis. Hoone põhiliseks soojusallikaks on õhk-veisoojuspump, mis katab ca 50-70% hoone arvutuslikust küttevõimsusest. Soojuspumba automaatika juhivad sõltuvalt välisõhu temperatuurist küttesüsteemi mineva vee temperatuuri. Juhul, kui soojuspumba kondensaatorist väljuva vee temperatuur on madalam vajalikust küttevee temperatuurist, annab lisasoojuse 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. Joonis 6.14 esitab analoogse lahendus eelmisega (Joonis 6.13), lisatud on päikesekollektorid.



Joonis 6.13 Soojusallikas õhk-vesisoojuspump, tipuvõimsus elektriga.



Joonis 6.14 Soojusallikas õhk-vesisoojuspump, tipuvõimsus elektrikatlaga + päikesekollektorid.

6.3.3 Keskküttekatalad

Üheks korterelamu soojuse saamise viisiks on oma keskküttekatel. Keskküttekatel peab üldjuhul paiknema spetsiaalses katlaruumis. Liginullenergiaelamutes on korteripõhiste gaasikatelde kasutus problemaatiline. Tavaliselt on korteri küttesüsteemi arvutuslik võimsus, rääkimata kütteperioodi keskmisest võimsusest, oluliselt väiksem gaasikatla minimaalsest võimsusest, st katel töötab eeldatust oluliselt väiksema kasuteguriga. Lisaks peab ruumis, kus katel paikneb, olema gaasiohutuse seisukohast loomulik ventilatsioon ehk aasta läbi avatud avaus välispiirdes, mis tuleb arvesse võtta energiatõhususarvutustes.

Suitsugaaside eemaldamiseks peab olema korsten. Enam levinud kütusteks korterelamutes on puit, pelletid, gaas ja kergekütteeõli. Katla kolde tüüp ja kasutegur sõltub kütusest. Puidu, pelletite ja kergekütteeõli korral on vajalik lisaruumi/pinda kütuste hoiustamiseks.

Puitu ja puidupelleteid loetakse taastuvateks kütusteks ning nende puhul rakendatakse energiatõhususearvu määramisel kaalumistegurit 0,75, fossiilsetel kütustel (gaas, kergekütteeõli) kaalumistegurit 1.

Katla töö efektiivsust iseloomustab kasutegur. Kogu kütuses sisalduvat soojust ei saa ära kasutada kasuliku soojuse tootmiseks – osa soojusest läheb paratamatult kadude (soojuskaod läbi katla pindade, suitsugaasides sisalduv soojus jms) näol raisku. Katla kasutegur näitab 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 kõrgem on katla kasutegur seda efektiivsem on katel. Kaasaegsete katelde aasta keskmine kasutegur võib olla üle 90 %. Saavutamaks paremat energiatõhusust tuleks eelistada taastuvaid kütuseid kasutavaid katlaid ja kondensaatkatlaid. Parema kasuteguri saavutamiseks peab kondensaatkatelde korral kasutama küttesüsteemis madalama temperatuuriga soojuskandjat.

6.3.4 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.

6.3.4.1 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 pealevoolutemperatuur olla üle 40...45 °C.** Kondensaatkatelde kasutegur on seda suurem, mida madalam on küttesüsteemist tagastuva soojuskandja temperatuur. Soovitatavalt võiks see arvutuslikel tingimustel olla alla 50 °C.

Traditsioonilistes elamutes pidi radiaator hea sisekliima tagamiseks paiknema akna all. Liginullenergiahoonetes, kus akna soojusläbivus (U) on väiksem kui 1,0 W/(m²·K), võib küttekeha paikneda ka mujal, näiteks siseseinal.

Energiatõhususarvu määramisel tuleb võtta radiaatorküttesüsteemi kasuteguriks 0,97.

6.3.4.2 Põrandküte

Põrandküte korral on põrandapinna temperatuur kõrgem ruumiõhu temperatuurist ja tänu sellele toimub ruumide kütmine. Põranda konstruktsioonis paiknevad torustikud, milles voolab soojuskandja, vesi. Soovituslikult võiks põrandapinna temperatuur elu ja magamistubades jääda alla

27 °C. Üldjuhul ei tohiks pörandakütte korral olla soojuskandja pealevoolutemperatuur üle 40...45 °C. Seetõttu sobib pörandakütte soojusallikaks väga hästi soojuspump.

On olemas ka elekterpörandaküte, kus torustike asemel on pörandas elektrikaablid, kuid liginullenergiahoonetes ei tohiks otsest elekterkütet kasutada.

Kui puuduvad täpsemad andmed pörandakütte kasuteguri kohta, võib lähtuda määruses nr. 58 toodud väärtustest:

- plaat pinnasel või alttuulutav pörand 0,85
- vahelaes 1,00

6.3.5 Küttesüsteemi ringluspumba elektritarve

Liginullenergiahoonetes tuleb kasutada suure kasuteguriga sagedusmuunduriga pumпасid, mida juhitakse hoone soojuskasutuse järgi. Ringluspumba elektrikasutus on suhteliselt väike ning esialgsetes ja ligikaudsetes arvutustes võib võtta tsirkulatsioonipumba elektrikasutuse energiatõhususarvu komponendiks 0,5 kWh/(m²·a) (Tabel 6.4).

Tabel 6.4 Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurid ning abiseadmete elektritarbimine

Hoone tüüp	Kütteviis	Kasutegur	Veeküttesüsteemi ringluspumba elektritarbimine ¹ , kWh/(m ² ·a)
Korterelamu	Radiaator	0,97	0,5
	Pörandaküte, plaat pinnasel või alt tuulutatav pörand	0,85	1
	Pörandaküte vahelaes	1,0	1
	Laeküte katuslaes	0,90	1
	Laeküte vahelaes	1,0	1

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

6.4 AUTOMAATIKA JA MONITOORING

Hoone toimivuse monitooring eeldab energiabilansi põhiliste kulukomponentide eraldi mõõtmist. Selle jaoks paigaldatakse vajalik arv energiaarvesteid soojuse ja elektri mõõtmiseks ning projekteeritakse hoone elektrisüsteem seda võimaldaval viisil. Eluhoonetes tuleb eraldi mõõta järgmisi kulukomponente:

- ruumide kütte ja ventilatsiooniõhu soojendamise soojusenergia
- soe tarbevesi
- valgustuse ja elektriseadmed elekter
- PV paneelide elektritoodang

Soojuspumbaga hoones peab soojuspump olema varustatud **eraldi soojus- ja elektriarvestiga**. Juhul kui ventilatsioonisedmed on varustatud elektriliste eelküttekalorifeeridega peab ventilatsiooniseadmetele paigaldama **eraldi elektriarvesti**, et oleks võimalik jälgida võimalikke probleeme eelküttekalorifeeridega.

Kui korterelamute koosseisus on äripinnad, siis varustatakse need eraldi mõõtmistega kõikide kulukomponentide osas.

Tehnosüsteemid peavad olema varustatud vajaliku juhtimisautomaatikaga ning otstarbekas on valida seadmed, kus vajalik automaatika sisaldub soojusallikate ning ventilatsiooniseadmete tarne kompleksuses. Suuremate hoonete seadmed ühendada ühtsesse juhtimis- ja jälgimissüsteemi, mis kirjeldatakse automaatika projektiga. PV-paneelide mõõtmise tingimused on kajastatud liitumise tehnilistes tingimustes.

7 LOKAALNE TAASTUVENERGIA

7.1 PÄIKESEENERGIAKASUTUS

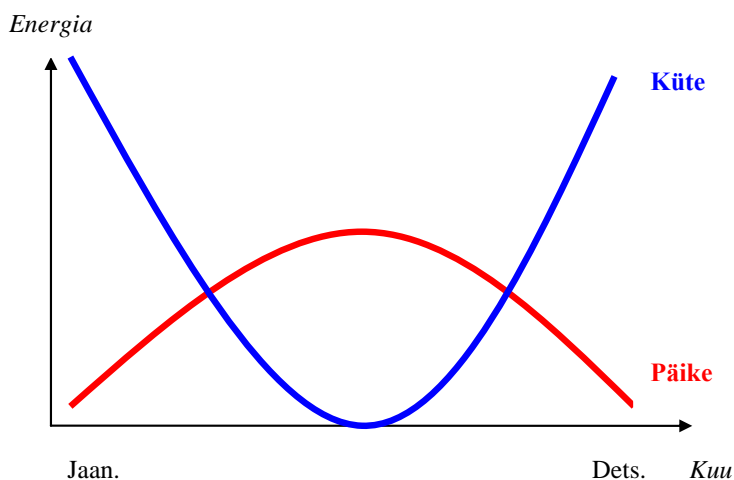
Päikese näol on tegemist kiirgusliku soojusallikaga, mille energiat saab elamus kasutada kolmel põhimõttel:

- 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 vaakumpaneelideks. Korteralamute soojusvarustuseks võib kasutada mõlemat tüüpi paneele.

Võrreldes tavakorteralamutega on liginullenergiaelamutes kütteperiood oluliselt lühem, st kütteperiood lõppeb varem ja algab hiljem. Korteralamu küttevajadus ja kollektorile tulev päikesekiirgus on aasta lõikes vastasfaasis. Talvel on küttevajadus suur aga päikesekiirgust vähe, suvel vastupidi (vt. Joonis 7.1).



Joonis 7.1 Päikeselt saadav energia ja korteralamu küttevõimsus on aasta lõikes vastasfaasis.

Seetõttu ei saa Eesti kliimas kasutada päikesekollektoreid korteralamu põhilise kütteallikana. Päikesepaneelid sobivad igati korteralamu sooja tarbevee valmistamiseks. Aastaset tarbevee soojusest võib õigesti ja optimaalselt paigaldatud päikesepaneelidega katta ligikaudu 50...70 %. Päikesekollektorid paigaldatakse üldjuhul hoone katusele või (lõuna)fassaadile. Asukoha valikul tuleks arvestada järgmiste asjaoludega:

- Kollektorite orientatsioon ja kaldenurk;
- Kollektorite pinnale ei tohi tekkida ka talvekuudel naaberhoonetest, puudest, korteralamu konstruktsioonidest jms varjusid.

Selleks, et tagada meie oludes paneelide kollektorite, tuleb need suunata lõunasse (soovitav kõrvalekalle mitte üle $\pm 15^\circ\text{C}$) ja maapinna suhtes nurgaga 30... 45°.

Kui neid tingimusi eiratakse väheneb päikesekollektori efektiivsus ja päikselt saadav soojushulk.

Päikesekollektorite kavandamisel korteralamu sooja tarbevee saamiseks võib esialgse lähenduses lähtuda järgmistest ligikaudsetest näitajatest:

- ühe korter kohta on vaja 2...4 m² päikesekollektori pinda;

- ühe kollektor m² kohta on vaja ca 50...100 l akumulatsioonipaagi mahtu.

Näiteks 10 korteriga elamu soojavee tarbeks oleks vaja ligikaudu õigesti paigaldatud kollektorit 30...40 m² ja akumulatsioonipaagi maht peaks olema ca 3 m³.

Päikesekollektorite kavandamisel tuleb vältida olukorda, et soojavee tarbimise puudumisel (näiteks elanikud ei viibi kodus) suvisel perioodil, hakkab vedelik paneelides keema. Kortterelamutes, kus soojusallikateks on nii maasoojuspump kui ka päikesekollektorid, võib kaaluda päikesekollektorite poolt toodetud sovine liigsoojuse juhtimist soojuspumba maakollektoritesse. Sellega soojendatakse täiendavalt maapinda, mis omakorda suurendab soojuspumba soojustegurit.

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, konstruktsioonidest jms. varjusid;
- selleks et tagada Eesti oludes kollektorite efektiivsus, tuleb need suunata lõunasse (soovitav kõrvalekalle mitte üle ±15°) ja maapinna suhtes nurgaga 40...45°.

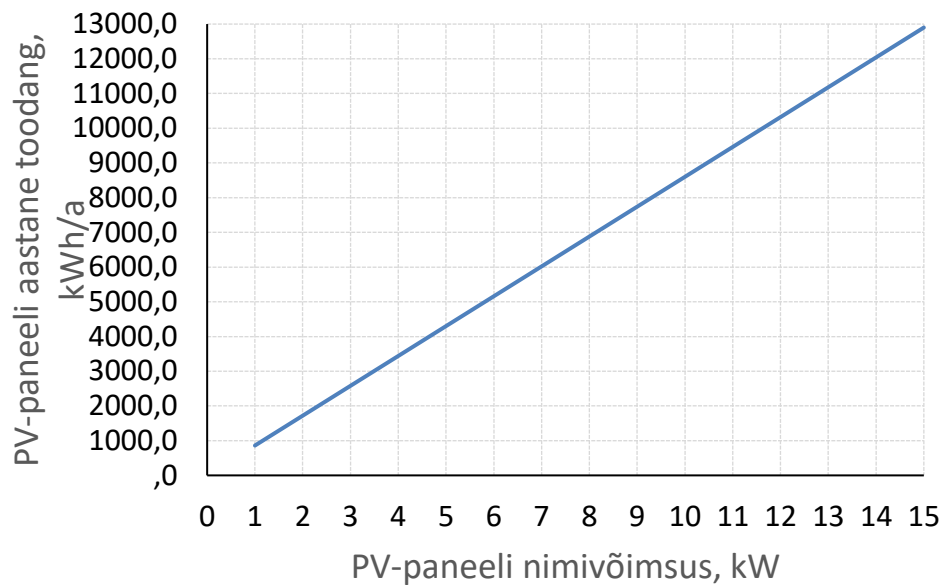
Kui neid tingimusi eiratakse, väheneb päikesekollektori tõhusus ja päikeselt saadav soojushulk.



Joonis 7.2 Näide päikesekollektorite paigaldusest kortterelamu katusele.

7.1.2 Päikesepaneelid (PV-paneelid)

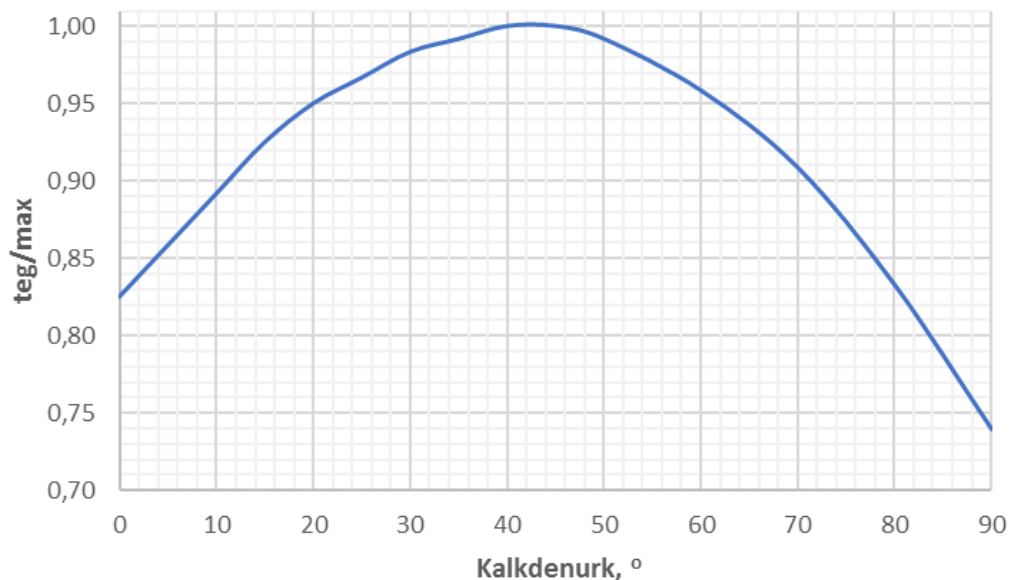
Elektrit saab toota päikesepaneelidega, mida sageli nimetatakse PV-paneelideks (lühend PV ingliskeelsest terminist *photovoltaic*). PV-paneelide kasutegur, mis näitab, mitu protsenti paneeli pinnale langenud päikesekiirgusest muundatakse elektriks, on suurusjärgus **15...20%**. Ühest ruutmeetrist paneeli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



Joonis 7.3 PV-paneelide ligikaudne aastane elektritoodang paneelide maksimaalse võimsuse järgi ilma varjustuseta, lõunapoolse orientatsiooniga kaldenurgaga 40°.

Paneelide asukoha valikul ja paigaldamisel tuleb lähtuda samadest põhimõtetest nagu päikesekollektorite puhul, kusjuures soovituslik paigaldusnurk maapinna suhtes on 40°. Tegelikult pole aastases toodangus märkimisväärset vahet, kui paneelide kaldenurk jääb vahemikku 30 – 45°.

Järgnev graafik iseloomustab lõunasse suunatud paneelile langeva päikesekiirguse muutust sõltuvalt paneeli kaldenurgast (Joonis 7.4).

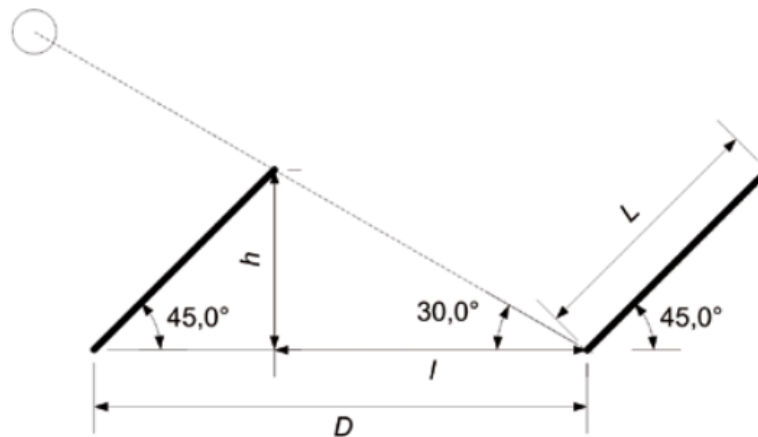


Joonis 7.4 Lõunasse suunatud paneelile langeva päikesekiirguse muutus sõltuvalt paneeli kaldenurgast.

Näiteks, kui lõunasse suunatud paneeli kaldenurk on 15°, siis moodustab aastane PV-paneeli pinnale langenud kiirgus 93% võrreldes 40 kraadise kaldenurgaga paneelile langenud aastases kiirgusest. 15 kraadise kaldenurga korral mõjub paneelide võrreldes 40-45 kraadise kaldenurgaga oluliselt väiksem tuulekoormus, st paneelide kinnitus on oluliselt lihtsam ja odavam.

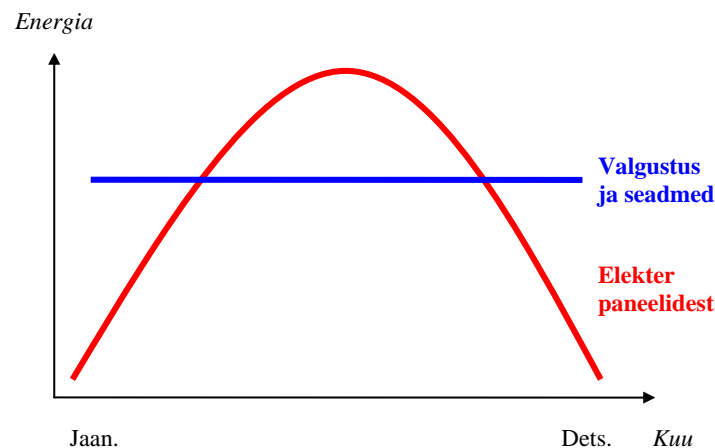
Kogu aastasest horisontaalsele pinnale langevast päikesekiirgusest umbes 85% langeb suveperioodi, s.o. aprillist septembrini. Seepärast tuleks paneelide vahekauguste planeerimisel arvestada sellega, et suveperioodi jääva halvima kiirgusega kuus e. septembris on päikese kõrgus horisondist umbes 30°. See tähendab, et varju pikkus l on umbes 1,75-kordne varjutava objekti kõrgus h . Lubatav vahemik $l=(1,75 \dots 1,8) * h$ (vt. Joonis 7.5). 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 7.5 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 (vt. Joonis 7.6).



Joonis 7.6 Elamu elektrikasutus standardtingimustel on kuude arvestuses praktiliselt muutumatu, paneelid toodavad suvel elamu kasutusest rohkem, talvel vähem.

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



Joonis 7.7 Näide katusele paigaldatud (vasakul) ja fassaadile integreeritud (paremal) PV-paneelidest.

PV-paneelide poolt toodetud aastase energia määramisel tuleb arvestada järgnevaga:

- kui objekt (nt puu, kanalisatsiooni tuulutuse, antenn, õhuliin) varjab kas või osaliselt paneeli, väheneb elektritoodang oluliselt. Väga oluline on õigesti kavandada paneelide omavaheline elektriline ühendamine ja grupeerimine. Näiteks kui jadaühenduses on 20 paneeli või nende sektsiooni, siis kas või ainult ühele paneelile või sektsioonile tekkiv vari vähendab drastiliselt kõigi tavalises jadaühenduses oleva 20 paneeli toodangut
- mida kõrgem on PV-paneeli temperatuur, seda väiksem on toodang, st paneele on vaja loomuliku tuulutuse teel jahutada
- päikesepaneeli pinna saastumine vähendab energiatoodangut
- päikesepaneeli eluaja jooksul väheneb elektritoodang ca 20%.

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

8 TEHNILISTE LAHENDUSTE KULUEFEKTIIVSUSEST

Tehniliste lahenduste kuluefektiivsuse hindamisel on simulatsioonide ja arvutuste tegemisel lähtutud valitud näidishoonetest. Korteralamute arvutuste aluseks on valitud kaks hoonet. Näidishoonete tehnilised näitajad on toodud Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Hoonete tehnilised näitajad

	Ridaelamu	Suurem korteralamu
Ehitisealune pindala (m ²)	643	1618
Maapealse osa korruste arv	2	5
Maa-aluste korruste arv	0	1
Kõrgus (m)	6.6	17.8
Pikkus (m)	53.2	54.3
Laius (m)	22.9	35.7
Suletud netopindala (m ²)	676.8	6373
Köetav pindala (m ²)	565.8	6373
Maht (m ³)	2180	25900
Üldkasutatav pindala (m ²)	16	2009.2
Tehnoruumide pindala (m ²)		62.2
Eluruumide pindala (m ²)	676.8	3713.8
Kokku eluruume	6	51

8.1.1.1 Ridaelamu

Valitud hoone on kahekorruseline. Hoones on 6 eraldi sissepääsuga majaosa. Hoone on ristkülikukujulise alusplaani, mõningaste eenduvate osadega esifassaadil. Hoone välisseinad on puitkarkassil seinaelementidest kaetud seestpoolt kipsplaadiga, majaosade vahelised seinad puitkarkassil seinaelemendid, siseseinad metallkarkassil kipsplaadist.

8.1.1.2 Suurem kortermaja (kuuekorruseline korteralamu üldpinnaga üle 5000 m²)

Valitud hoone on 5-korruseline maa-aluse parkimiskorrusega korteralamu. Hoone on U-kujulise põhiplaani. Hoone on põhiosas 5-korruseline ja tiibades 3-4 korruseline. Hoone all on kinnine parkla, lisaks on parkimiskohad hoone hooviküljel eenduvate osade all. Hoone on betoonist kandekonstruktsiooniga, kivi- ja betoonseintega.

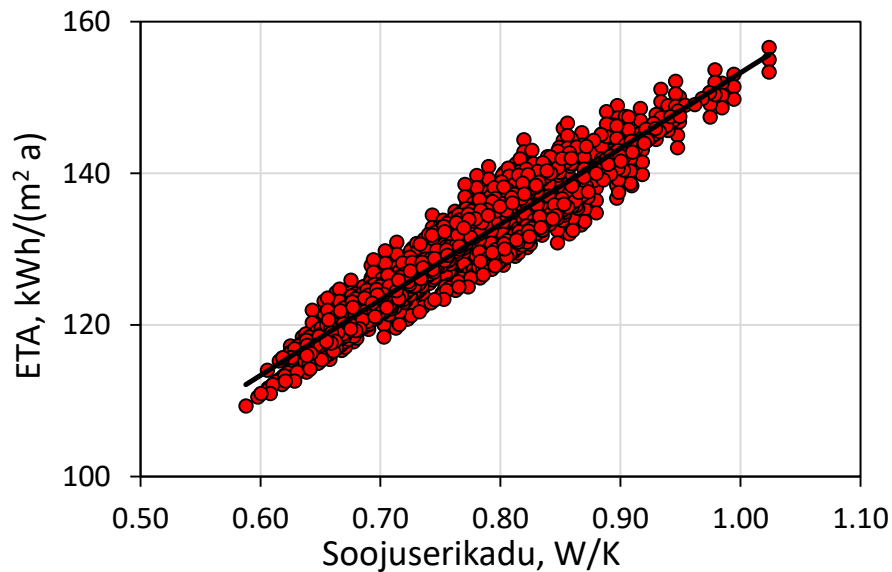
Mõlema hoone kohta koostati ruumipõhine simulatsioonimudel. Mudelid koostati vastavalt hoonete arhitektuursetele alustele, vaadetele ning lõigetele. Avatäidete ja välispiirete lahendused valiti vastavalt hoone projektile.

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:

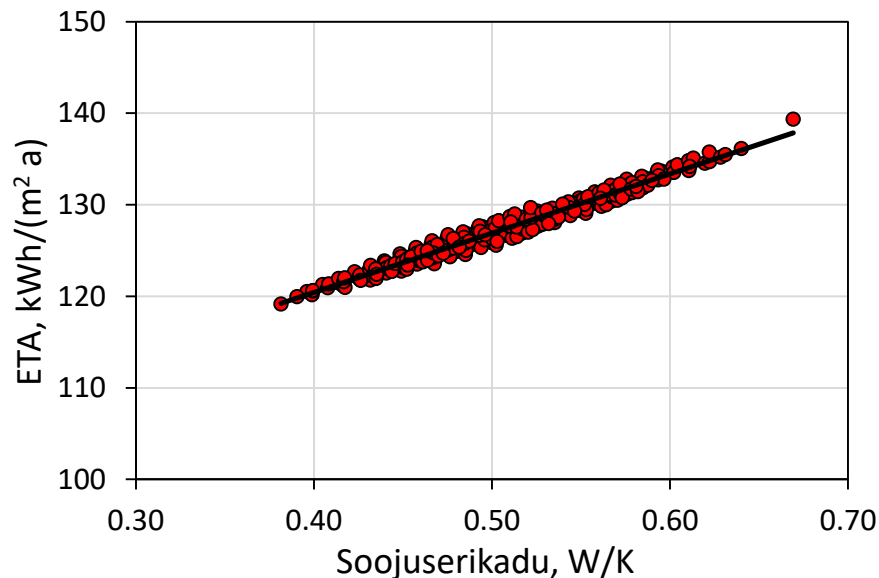
- välisseina lahendused U [W/(m²·K)]: 0.16, 0.14, 0.12, 0.10;
- katuslae lahendused U [W/(m²·K)]: 0.12, 0.10, 0.08;
- põranda lahendused U [W/(m²·K)]: 0.18, 0.14, 0.10;

- avatäidete lahendused U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]: 1.1, 0.9, 0.7;
- õhulekkearv q_{50} [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$]: 3.0, 1.5, 1.0.

Peale üksikute komponentide mõju hindamist hoone energiatarbimisele, teostati energiatõhususarvu arvutus kõikidele kombinatsioonidele kombineerides tarindilahenduste soojuslähivusi ja õhuleket. Arvutatud energiatõhususarvu ja hoone soojuserikadu on esitatud Joonis 8.2. Energiatõhususarvu ja hoone välispiirete soojuserikao vaheline seos on kirjeldatav peaaegu lineaarse sõltuvusena ehk mida paremad piirdetarindid, seda väiksem energiatõhususarv.



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



Joonis 8.2 Soojuserikao ja energiatõhususarvu (ETA soojusallikas kaugküte) vaheline seos (suurem korterelamu).

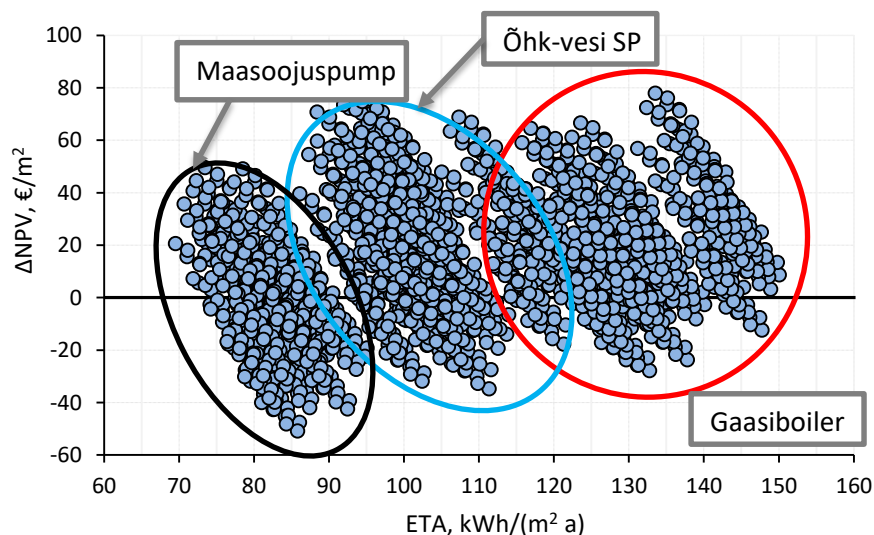
Energiatõhususe saavutamise üks aluseid on ka energiasäästumeetmete tasuvuse hindamine. Eesmärk on, et energiavajaduse vähendamiseks kasutatud vahendite kulu oleks tasakaalus

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 pikkusel ajal. Tasuvuse kriteeriumiks on, et investeeringu majandusliku eluea vältel saadud ja diskonteeritud puhastulu on suurem kui investeering.

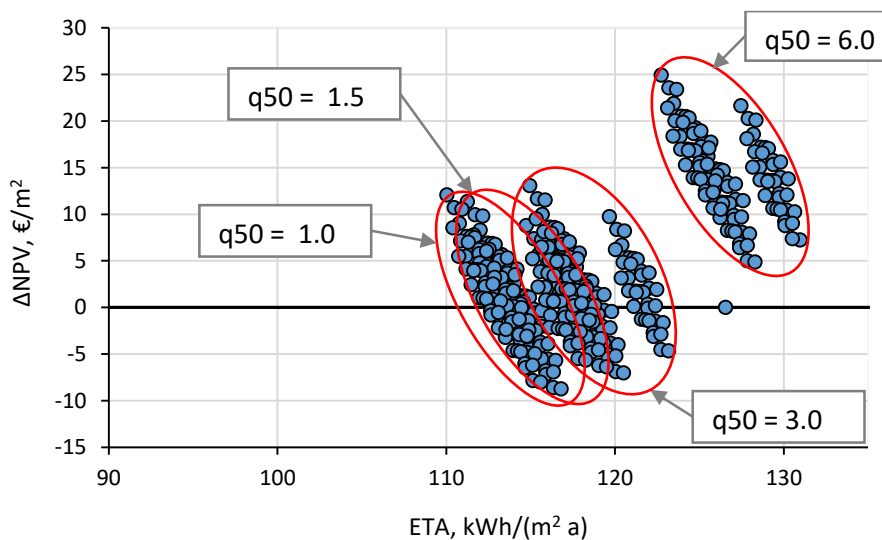
Antud arvutuste käigus hinnati liginullenergiahoone nõude täitmiseks vajalike tarindilahenduste ja taastuvenergia lahendustega seotud lisamaksumuse kuluefektiivsust. Lähtuvalt hoonete kasutusotstarbest (eluhooned) on kuluefektiivsuse arvutusperioodiks valitud 30 aastat. Diskonteerimise juures on lähtutud reaalintrassist 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 $0.113 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$;
- 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.



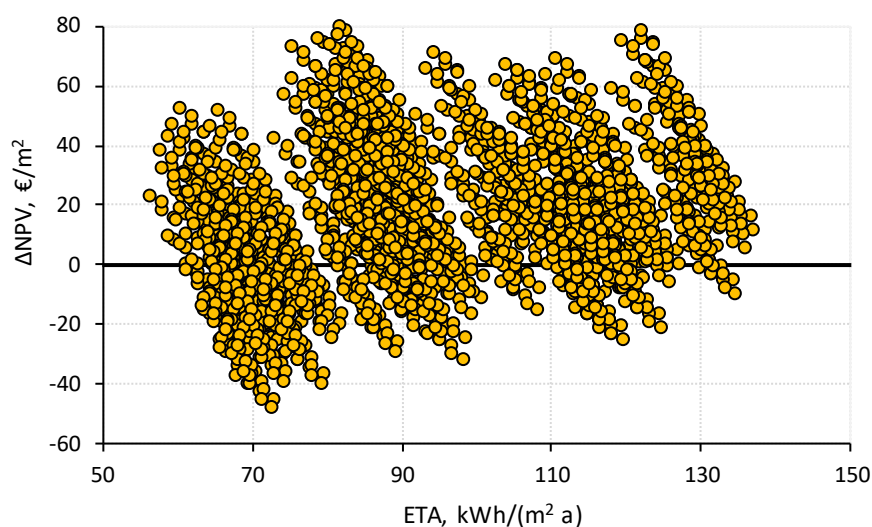
Joonis 8.3 Ridaelamu energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut (ΔNPV) erinevatele tarindilahenduste ja soojusallikate kombinatsioonidele. Reaalintrass 2.5%. (ridaelamu).



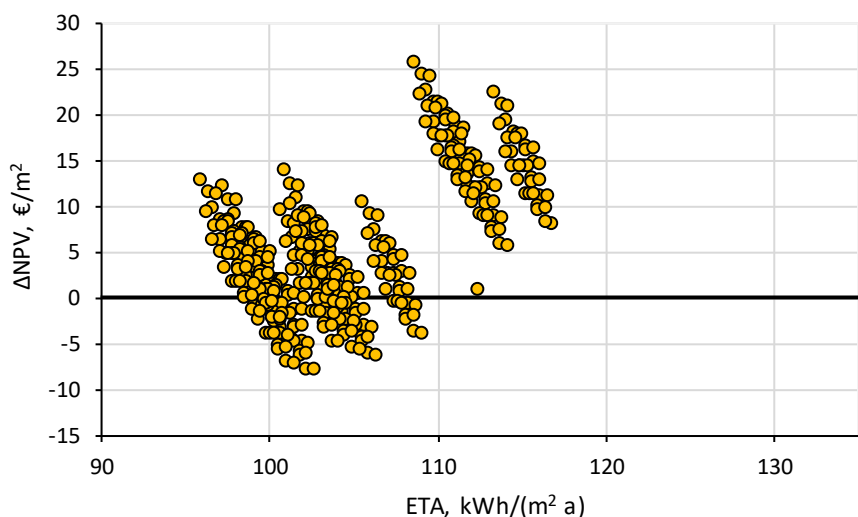
Joonis 8.4 Korterehamu energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut (ΔNPV) erinevate tarindilahenduste kombinatsioonidele. Reaalintress 2.5%.

Võttes arvesse tarindite parendamiseks tehtavat lisainvesteeringut ja sellega saavutatavat kütteenergiäsäästu on võimalik leida, millise energiatõhususarvu saavutamiseks tehtavad kulutused on veel kuluefektiivsed. Joonis 8.3 kajastab näitena väiksema korterehamu 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 taastuvenergia tootmine. Järgnevalt tuleks arhitektuurselt ja tehniliselt sobivatele ning kuluefektiivsetele lahendustele liita lokaalne taastuvenergia tootmine. Lokaalne taastuvenergia tootmine võib olla kas päikesese kasutamine sooja tarbevee valmistamiseks, päikesest elektri tootmine või soojuspumpade kasutamine. Joonis 8.5 ja Joonis 8.6 näitavad kulutõhusalt saavutatavat energiatõhususarvu, mis saadakse tarindi lahenduste kombineerimisel PV-paneelidega päikesest elektri tootmisega.



Joonis 8.5 Ridaelamu energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut (ΔNPV) erinevatele tarindilahenduste ja soojusallikate kombinatsioonidele koos lokaalse taastuenergia tootmisega (PV-paneelid nimivõimsusega 4.5kW). Reaalintress 2.5%.



Joonis 8.6 Kortrelamu energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut (ΔNPV) erinevate tarindilahenduste kombinatsioonidele koos lokaalse taastuenergia tootmisega (PV-paneelid nimivõimsusega 53kW). Reaalintress 2.5%.

Vastavalt kuluefektiivsuse arvutustel on valitud välja kortermajadele sobilikud tarindi lahendused. Valitud tarindite tehniline kirjeldus koos joonistega on esitatud välispiirete peatükis. Tabel 8.2 näitab kulutõhusalt saavutatavat energiatõhususarvu, mis saadakse tarindi lahenduste kombineerimisel PV-paneelidega päiksest elektri tootmisega.

Tabel 8.2 Võimalikud korterelamu lahenduste kombinatsioonid liginullenergia taseme saavutamiseks

Korterelamu paketid	Tarandid						Soojusallikas	Lokaalne	Δ NPV									
	Katus		Põrand		Aken	Välissein			q ₅₀	Päikesekollektor	PV-paneelid, kW	ETA	Δ NPV					
	U=0.08 W/m ² ·K	U=0.10 W/m ² ·K	U=0.12 W/m ² ·K	U=0.10 W/m ² ·K	U=0.14 W/m ² ·K	U=0.18 W/m ² ·K			U=0.7 W/m ² ·K					U=0.9 W/m ² ·K	U=1.1 W/m ² ·K	U=0.12 W/m ² ·K	U=0.14 W/m ² ·K	U=0.16 W/m ² ·K
<i>Ridaelamu</i>																		
Ver. 1	x			x				x			1.5		x			17	78	-9
Ver. 2	x				x		x				1.5			ÕV		9	77	-10
Ver. 3	x				x		x				1.5			MS		5	75	-39
<i>Korterelamu <3000 m²</i>																		
Ver. 1			x			x			x		1.5	x				32	96	-4
Ver. 2		x			x				x		1.5	x				32	95	-2
Ver. 3			x			x			x		1.5	x				32	99	0
<i>Korterelamu >5000 m²</i>																		
Ver. 1	x					x			x		1.5	x				60	98	-7
Ver. 2	x				x				x		1.5	x				60	99	-5
Ver. 3			x			x	x				1.0	x				60	97	-4

¹Tabelis kasutatud soojuspumpade lühendid: ÕV- õhk-vesisoojuspump; MS - maasoojuspump