



# Madal- ja liginullenergia- hooned

Büroohoonete põhi-  
lahendused eskiis-  
ja eelprojektiis

Jarek Kurnitski, Martin  
Thalfeldt, Aivar Uutar,  
Targo Kalamees, Hendrik  
Voll, Argo Rosin



# **Madal- ja liginullenergiahooned**

Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis

ISBN 978-9985-9860-9-7

Toimetaja: **Eva Kiisler**  
Keeletoimetaja/korrektor: **Jolana Aru**  
Kujundaja: **Anu Maarand**  
Fotod: **Scanpix** (esikaas ja lk. 6), autorid

Väljaandja: Riigi Kinnisvara AS ja Tallinna Tehnikaülikool  
Kirjastaja: OÜ Presshouse, Jõe 9, Tallinn, [www.presshouse.ee](http://www.presshouse.ee)  
Trükk: AS Printall

Raamatus avaldatud tekstide ja fotode kasutamine ükskõik millisel viisil on keelatud ilma autorite kirjaliku loata.



# Madal- ja liginullenergia- hooned

**Büroohoonete  
põhilahendused  
eskiis- ja eelprojektis**

Jarek Kurnitski, Martin Thalfeldt,  
Targo Kalamees, Hendrik Voll,  
Aivar Uutar, Argo Rosin



TALLINNA TEHNICAÜLIKOO  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**Riigi Kinnisvara**

## Sisukord

---

	<b>Eessõna</b>	5
<b>1.</b>	<b>Sissejuhatus</b>	7
<b>2.</b>	<b>Energiatõhususe põhinäitajad</b>	8
<b>2.1</b>	Energiatõhususe definitsioonid ja tasemed	8
<b>2.2</b>	Sisekliima parameetrid	10
<b>2.3</b>	Energiatõhususe võrdlusbaas – tavapärase ehituspraktika näide	14
<b>2.4</b>	Energiatõhususe põhiparameetrite kontrollarvud	18
<b>2.5</b>	Energiatõhususe ja sisekliima mõju kinnisvara väärtusele	22
<b>3.</b>	<b>Arhitektuurivõistluste energiatõhususe tingimused</b>	25
<b>3.1</b>	Võistlustingimused	26
<b>3.2</b>	Tõendamine esimeses etapis	27
<b>3.3</b>	Tõendamine teises etapis või kutsutud võistluse puhul	29
<b>4.</b>	<b>Energiatõhususe ja sisekliima eelduste tagamine projekteerimise algfaasis</b>	31
<b>4.1</b>	Tehniliste ruumide ja šahtide ruumivajadus ning paiknemine hoones	31
<b>4.2</b>	Fassaadide kujundamise põhimõtted lähtuvalt päevavalgusest ja energiatõhususest	34
<b>4.3</b>	Päikesevarjestus ja fassaadilahenduste näiteid	40
<b>4.4</b>	Efektiivsete tehnosüsteemide variandid ja valikud eskiisis	49
<b>4.5</b>	Ruumijaotuse paindlikkuse tasemed ja vastavad lahendused	51
<b>5.</b>	<b>Kuidas projekteerida madal- ja liginullenergiahoonet – eelprojekti küsimusi</b>	54
<b>5.1</b>	Välispiirded	55
<b>5.2</b>	Aknad ja klaasfassaadid	58
<b>5.3</b>	Ventilatsioon ja jahutus	62
<b>5.4</b>	Valgustus	66
<b>5.5</b>	Hooneautomaatika	68
<b>5.6</b>	Lokaalne taastuenergia	76
<b>6.</b>	<b>Näiteid olemasolevatest hoonetest</b>	84
<b>6.1</b>	Helsingi keskkonnaamet: Ympäristötalo, Viikki	84
<b>6.2</b>	Suur-Ameerika tn 1 büroohoone liginullenergiaahendused	90
	Lisa 1	94
	Lisa 2	95

## Eessõna

Kuidas kavandada ja projekteerida madal- või liginullenergiahoonet? Selle küsimuse ees on ennast seismas leidnud mitmed tellijad ja peaprojekteerijad. Liginullenergiahoone mõiste, nagu ka mitmed teised energiatõhususe mõisted, on uus igal pool Euroopa Liidus. Eesti on üks esimesi liikmesriike, kus liginullenergiahoonete nõuded 2012. aastal ametlikult kehtestati. See on vajalik, et igal pool Euroopas alates 2021. aastast üle minna liginullenergiahoonete ehitamisele kõikide uute hoonete puhul ja juba alates 2019. aastast avaliku sektori uute hoonete puhul.

Suure struktuurse muutuse taustal olev hoonete energiatõhususdirektiiv ja sellega seonduv arendustöö kõikidel tasanditel tehnoloogiast arvutusmeetodika ning seadusandluseni on teinud võimalikuks oluliselt parendatud energiatõhususega hoonete projekteerimiseks vajaliku raamistiku valmimise. Ka käesolev juhendmaterjal on üks osa sellest. Hoonete energiatõhususes peitub teatavasti Euroopa Liidu suurim energiakasutuse kokkuhoiu potentsiaal, kuna hoonete energiakasutus moodustab nii Eestis kui ka teistes liikmesriikides umbes 40% summaarsest primaarenergia kasutusest. Iseenesestmõistetavalt on märkimisväärne ka energiakulude kokkuhoiu potentsiaal, kehva energiatõhususega hoonete ehitanud tellija tavaliselt seda viga enam ei korda.

Juhendmaterjal madal- ja liginullenergiahoonete projekteerimiseks on koostatud Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonnas Riigi Kinnisvara Aktsiaseltsi rahastatud uuringu tulemusena. Juhendmaterjali koostamise töörühma kuulusid vastutava täitjana Jarek Kurnitski, Targo Kalamees, Aivar Uutar ja Martin Thalfeldt TTÜ ehitiste projekteerimise instituudist, Hendrik Voll TTÜ keskkonnatehnika instituudist, Argo Rosin TTÜ elektriagamite ja jõuelektronika instituudist ja Rasmus Lindmaa TTÜ innovatsiooni- ja ettevõtluskeskusest. Riigi Kinnisvara Aktsiaseltsist osalesid Üleri Mõttus, Allan Hani, Kristin Vaku ja Andrus Väärtnõu.

Autorid tänavad Riigi Kinnisvara Aktsiaseltsi hea koostöö ja rahastamise eest ning TTÜ innovatsiooni- ja ettevõtluskeskuse juhatajat Tea Varrakut TTÜ ning RKASi vahelise koostöö käivitamise eest.

Loodame, et juhendmaterjal leiab laialdast kasutust ning et madal- ja liginullenergiahoonete ehitamine Eestis saab hoo sisse. Vastavalt Eesti arengukavale peab 2015. aastaks valmima kümme avalikkusele ligipääsetavat liginullenergiahoonet – jääme huviga ootama, kas esimene liginullenergiamaja tuleb avalikust või erasektorist.

Tallinn, 5. detsember 2012  
**Jarek Kurnitski**





# 1. Sissejuhatus

Käesoleva juhendi eesmärgiks on tuua välja madal- ja liginullenergiahoonete lahenduste erinevused võrreldes tavapärase ehituspraktikaga. Kuna olulised valikud tehakse projekteerimise algfaasis, keskendub juhendmaterjal eskiis- ja eelprojekti lahendustele, mis võimaldavad saavutada madal- ja liginullenergiahoonete energiatõhususe. Juhendi keskse sihtgrupi moodustavad tellijad, arhitektid, projektijuhid, töövõtjad, tehnosüsteemide, energiatõhususe ja piirdetarindite projekteerijad ning kõik teised ehitusprotsessis osalevad otsustajad. Juhendmaterjal ei laskuta eriosade detailsetesse projekteerimisjuhistesse. Eelkõige tehnilistele lahendustele keskenduv juhendmaterjal käsitleb neid projekteerimisprotsessi järgivas järjekorras. Projekteerimisprotsessi osas on käsitletud vaid energiatõhususe seisukohalt tähtsate valikutega seotud üksikasju, eeldades, et tellijatel ja ehitushangete korraldajatel on selle valdkonnaga seonduvad spetsiifilised teadmised olemas.

Juhendmaterjali alguses on kirjeldatud energiatõhususe põhinäitajaid ning energiatõhususe definitsioone ja tasemeid, mis moodustavad teemast aru saamiseks vajaliku teoreetilise baasi. Kuna hea sisekliima käib käsikäes energiatõhususega, pole unustatud ka sisekliima põhiparameetreid. Toodud energiatõhususe põhikomponendid ja kontrollarvud võimaldavad hinnata eskiisi energiatõhusust ilma keerukate arvutusteta. Arhitektuurikonkursside ener-

giatõhususe tingimusi ja juhiseid on käsitletud omaette peatükis, kuna energiatõhususe kujundamist ei ole võimalik edasi lükata arhitektuurikonkursi järgsesse etappi.

Energiatõhususe ja sisekliima eelduste tagamine eskiisprojekti faasis tähendab vastutusrikkaid valikuid ja eeldab head meeskonda. Näiteks kui eelprojektist selgub, et tehnilised ruumid ei mahu hoonesse või korruse kõrgus ei võimalda vajaliku suurusega ventilatsioonitorustikku, on selles faasis kardinaalsete muudatuste tegemine peaaegu võimatu ja valida saab ainult halbade lahenduste vahel. Samuti mõjutavad energiatõhusust eelprojekti faasis otsustatavad põhilahendused. Lihtsate arvutustega on näidatud, mis on võimalik ja mis mitte.

Omaette teemana on käsitletud päevavalgusest lähtuvat fassaadide kujundamist, mis mõjutab peaaegu kõiki energiatõhususe komponente. Lõpetuseks on toodud olemasolevate hoonete näited, mis annavad ettekujutuse ka liginullenergiahoone ehitusmaksumuse kujunemisest.

Juhendmaterjal on koostatud eelkõige büroohoonele, mis on üks nõudlikumaid ja tehniliselt keerukamaid hoonetüüpe. Toodud lahendused on suures osas kasutatavad ka teiste mittelelamute puhul. Ka elamutes kehtivad samad energiatõhususe põhimõtted, kuid kasutatavad tehnosüsteemid on sedavõrd erinevad, et toodud lahendusi saab rakendada vaid osaliselt.

# 2. Energiaatõhususe põhinäitajad

## 2.1 Energiaatõhususe definitsioonid ja tasemed

Hoonete energiaatõhusust kirjeldab summaarne energiakasutus, mida väljendatakse energiaatõhususarvuna (ETA) ning millele on kehtestatud miinimumnõuded. Energiaatõhususarv on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiatega kaalutud erikasutus. Tarnitud energia all mõistetakse hangitud elektrit, kaugkütet ja kütuseid.

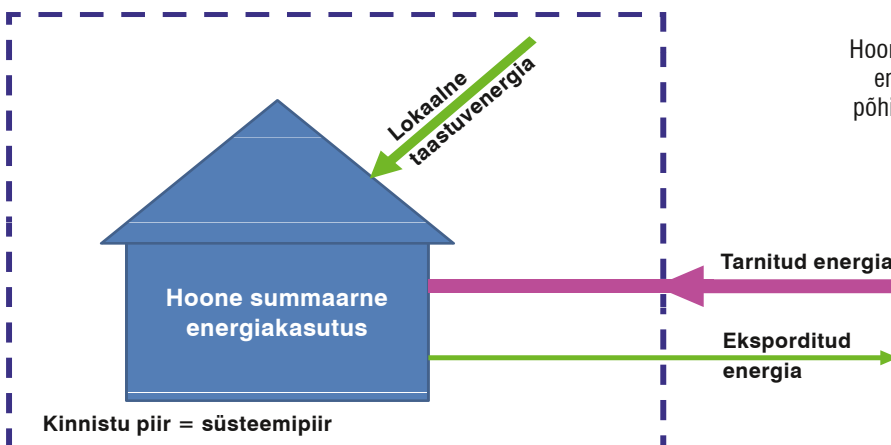
Energiaatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. See arvutatakse hoone kätava pinna ruutmeetri kohta hoone standardkasutusel. Energiakasutuse põhimõisted on toodud joonisel 1. Lokaalse taastuvenergia all mõistetakse päikesest, tuulest või

veest toodetud soojus- või elektrienergiat. Soojuspumbad, mis samuti kasutavad lokaalset taastuvenergiat, arvutatakse hoone energiakasutuse koosseisu vastavalt soojus- või jahutustegurile. Taastuvkütuseid käsitletakse tarnitud taastuvenergiana. Hoone energiaatõhususe põhimõistete definitsioonid on toodud lisas 1.

Ühe energiakandja puhul kehtib vastavalt joonisele:

**tarnitud – eksporditud energia = summaarne energiakasutus – lokaalne taastuvenergia**

Näiteks kui hoone summaarne energiakasutus on 10 000 kWh/a ja lokaalset taastuvenergiat ei toodeta, on tarnitud energia vastavalt 10 000 kWh/a. Kui hoones või kinnistul toodetakse 2000 kWh/a lokaalset taastuvenergiat, mida hoones täies mahus kasutatakse, võrdub tarnitud energia



Joonis 1. ←

Hoone summaarse energiakasutuse põhikomponendid.

10 000 – 2000 = 8000 kWh/a. Kui toodetakse aga 4000 kWh/a lokaalset taastuvenergiat, millest pool eksporditakse elektrivõrku, võtab esitatud valem järgmise kujuga: 8000 – 2000 = 10 000 – 4000 ehk tarnitud ja eksporditud energia vahe on 6000 kWh/a, kusjuures tarnitud energia on 8000 kWh/a ja eksporditud energia 2000 kWh/a.

Energiatõhususarvu ETA arvutus meenutab energiakulude arvutust eurodes selle erinevusega, et energia hinna asemel kasutatakse suhtelisi energiakandjate kaalumistegureid. ETA (kWh/(m<sup>2</sup> a)) arvutamisel võetakse arvesse kõik hoonesse hangitud energiad (elekter, kütus, kaugküte) ja see arvutatakse järgmise valemiga:

$$ETA = \frac{\sum_i (\text{tarnitud}_i - \text{eksporditud}_i) \times \text{energiakandja kaalumistegur}_i}{\text{kõetav pind}}$$

kus  $i$  on energiakandjate arv.

Primaarenergiapõhised energiakandjate kaalumistegurid vastavad üsna hästi energia hinnale. Vabariigi Valitsuse määruses nr 68 sätestatud kaalumistegurid on järgmised:

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

Näiteks gaasi (fossiilkütus) tegur 1,0 ja

elektritegur 2,0 tähendavad, et sama energiatõhususarvu saamiseks võib kasutada kaks korda vähem elektrit kui gaasi.

Hoone energiatõhususe tasemed on jagatud vastavalt Vabariigi Valitsuse määruses nr 68 toodud ETA piirväärtustele kolme kategooriasse:

- energiatõhususe miinimumnõue ehk ETA piirväärtus vastab kuluoptimaalse energiatõhususega hoonele. See tähendab hoonet, mille energiatõhususarvu piirväärtus tagab minimaalsed elutsükli kogukulud, mis moodustavad ehitusmaksumusest ning iga-aastastest energia-, hooldus- ja remondikuludest (arvestuslikult elamutele 30 aastat ja mitteelamutele 20 aastat

elutsükli nüüdisväärtuse investeerimisarvutusena).

- Madalenergiahoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendusi kasutades tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille puhul ei eeldata lokaalset elektritootmist taastuvenergiaallikast.

**Tabel 1.** ↓ Energiatõhususarvu piirväärtused vastavalt Vabariigi Valitsuse määrusele nr 68.

Hoone kasutusotstarve	Liginullenergiahoone kWh/(m <sup>2</sup> a)	Madalenergiahoone kWh/(m <sup>2</sup> a)	Miinimumnõue kWh/(m <sup>2</sup> a)
Väikeelamutes	50	120	160
Korterelamutes	100	120	150
Büroohonetes, raamatukogudes ja teadushoonetes	100	130	160
Ärihoonetes	130	160	210
Avalikes hoonetes	120	150	200
Kaubandushoonetes ja terminalides	130	160	230
Haridushoonetes	90	120	160
Koolieelsetes lasteasutustes	100	140	190
Tervishoiuhoonetes	270	300	380

- Liginullenergiahoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuenergia tehnoloogiate lahendusi kasutades tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui 0 kWh/(m<sup>2</sup> a), kuid mitte suurem kui määruses sätestatud.

Madal- ja liginullenergiahoonete energiatõhususarvule on kehtestatud oma piirväärtused, vt tabel 1. Kuna nõuded on kehtestatud energiatõhususarvu piirväärtusena, on nende saavutamiseks vajalikud tehnilised lahendused vabalt valitavad. See tähendab, et teoreetiliselt oleks võimalik kavandada liginullenergiahoone näiteks ilma lokaalset taastuenergiat kasutamata, kuid praktikas ei leidu nii häid tehnilisi lahendusi energiatõhususe parandamiseks ning energiatõhususarvu saavutamiseks ollakse sunnitud rakendama ka lokaalse taastuenergia lahendusi.

Hoonete energiatõhususe arvutusmetoodikat on kirjeldatud majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi määruses nr 63. Arvutuslik energiatõhususarv vastab

hoone mõõdetud energiakasutusele ainult erijuhul, kui hoonet kasutatakse täpselt vastavalt standardkasutusele ning väliskliima vastab energiaarvutuse baasaastale ehk tüüpilisele väliskliimale. Standardkasutus ei sisalda teatud spetsiifilisi energiakasutusi (nt serveriruumid, suurkõrgiseadmed, välisvalgustus, sulatuskaablid, liftid, külmletid), mille olemasolu hoones põhjustab arvutusliku ja mõõdetud energiakasutuse erinevust. Ka standardkasutusest erinev tegelik kasutus, nt pikem või lühem kasutusaaeg ning baasaastast külmem või soojem aasta, põhjustab mõõdetud energiakasutuse erinevusi. Hoone toimimise, hoolduse ja haldamise seisukohast on oluline teada nii arvutuslikku kui ka mõõdetud energiakasutust. Energiakasutuste erinevuste põhjuste väljaselgitamine eeldab energiaauditi ning suuremate ja keerukamate hoonete puhul ka simulatsioonarvutusel põhineva energiaanalüüsi läbiviimist.

## 2.2 Sisekliima parameetrid

Hoone sisekliima kvaliteeditase sõltub otseselt energiakasutusest. Kuna sisekliima mõjutab inimeste tervist, mugavust ja ka tööviljakust, on oluline, et energiat ei hoitaks kokku sisekliima arvelt. Sisekliima põhikomponendid on:

- soojuslik mugavus (ruumitemperatuur, õhu liikumise kiirus, suhteline niiskus);
- õhu kvaliteet (hinnatakse kaudselt ventilatsiooni õhuhulga ja madala emissiooniga viimistlusmaterjalide kasutamise kaudu);
- valgustus (valgustihedus, -räigus, -ühtlus ja värviesitus);
- akustika (müra ja kõneeraldus, eriti avatud büroodes).

Tööviljakuse seisukohalt on põhjendatud teise (II) sisekliimaklassi kasutamine vastavalt standardile EVS-EN 15251:2007.

Seda on näidanud kogu maailmas avaldatud sisekliima ja selle inimestele mõjumise uuringute laialdaste metaanalüüside tulemused, mille kokkuvõtte on näiteks juhendis REHVA GB No 6 2007. Teisele sisekliimaklassile vastavad ventilatsiooni õhuhulgad ja ruumitemperatuurid on kehtestatud ka energiatõhususe miinimumnõuetega, et välistada energia kokkuhoidu sisekliima arvelt, tabel 2.

Tabelis 2 toodud nõuded eeldavad sisuliselt vastava õhuvahetusega sundventilatsiooni ja suvist jahutust bürootüüpi hoonetes. Suvise ruumitemperatuuri nõue (25 °C mitteamutes) ei ole absoluutne, vaid nõue loetakse täidetuks, kui ruumitemperatuur ei ületa jahutuse temperatuuriseadet elamutes rohkem kui 150 kraadtunni (°Ch) ja mitteamutes rohkem kui 100 kraadtunni

**Tabel 2.** ↓ Ventilatsiooni välisõhu vooluhulgale ja energiaarvutuses kasutatavate ruumitemperatuuride seadetele Vabariigi Valitsuse määruses nr 68 kehtestatud nõuded.

Hoone kasutusotstarve	Välisõhu vooluhulk l/(s m <sup>2</sup> )	Kütmisscade °C	Jahutusseade °C
Väikeelamutes	0,42	21	27
Korterelamutes	0,5	21	27
Büroohoonetes, teenindushoonetes	2	21	25
Kaubandushoonetes ja terminalides	2	18	25
Ärihoonetes, v.a kaubandushoonetes	1,5	21	25
Avalikes hoonetes, v.a spordihoonetes ja raamatukogudes	2	21	25
Spordihoonetes, v.a siseujulates	2	18	25
Siseujulates	2	22	25
Haridushoonetes	3	21	25
Tervishoiuhoonetes	4	22	25

<sup>a</sup>0,42 l/(s m<sup>2</sup>) kui ventilatsiooni sissepuhke ja väljatõmbe õhuhulki on võimalik korteripõhiselt juhtida.

(°Ch) võrra ajavahemikul 1. juunist 31. augustini (koolides arvestatakse enne ja pärast suvevaheaega). Kraadtunde arvestatakse temperatuuriseadet ületavate tundide ja aja korrutisena, nt 3 °C üle seade (ehk ruumitemperatuur 28 °C) 5 tunni jooksul tähendab 3 × 5 = 15 °Ch.

Sisekliima kõrgklassi (I) puhul on ventilatsioon suurem ja õhu liikumise kiirus ning ruumitemperatuuride kõikumised

rohkem piiratud võrreldes miinimumnõuetele vastava II klassiga. I klass tagab kasutajate võimalikult suure rahulolu ja loob eeldused sisekliimakaebuste miinimumini viimiseks, vt tabel 3. Samas ei ole tõendust, et I klass parandaks tööviljakust

**Tabel 3.** ↓ Kesksed sisekliimaparaameetrid kolmele sisekliimaklassile mittelelamutes vastavalt standardile EVS-EN 15251.

	I (kõrge)	II (keskm.)	III (miinimum)
Ruumitemperatuur, talv, °C	21–23	20–24	19–25
Ruumitemperatuur, suvi, °C	23,5–25,5	23–26	22–27
Õhu liikumise kiirus, talv, m/s	0,14	0,17	0,20
Õhu liikumise kiirus, suvi 23 °C, m/s	0,16	0,20	0,25
Õhu liikumise kiirus, suvi 25 °C, m/s	0,20	0,25	0,30
Püstine temperatuurierinevus (0,1/1,1 m), °C	< 2	< 3	< 4
Süsihappegaasi kontsentratsioon, ppm	750	900	1200
Ventilatsioon, inimeste komponent, l/(s in)	10	7	4
Ventilatsioon, materjalide komponent, l/(s m <sup>2</sup> ) (väga madala emissiooniga materjalid)	0,5	0,35	0,3
Ventilatsioon, materjalide komponent, l/(s m <sup>2</sup> ) (madala emissiooniga materjalid)	1,0	0,7	0,4
Valgustihedus, tööpiirkond, lx	500	500	-
Valgustihedus, lähiümbrus, lx	300	300	-

võrreldes üldaktsepteeritud II klassiga. Küll suurendab I klass mõnevõrra energiasukatust suurema ventilatsiooni ja temperatuuri täpsema reguleerimise tõttu.

Sisekliimaklassi temperatuurivahemikud näitavad, kui palju ruumitemperatuur võib kõikuda. Projektarvudena kasutatakse kütmisel vahemiku alumist ja jahutamisel vahemiku ülemist või nendele lähedast temperatuuri. Vabariigi Valitsuse määruse nr 68 miinimumnõuded sätestavad mitteilamute projektarvudeks kütmisel 21 °C ja jahutamisel 25 °C. Suvise ja talvise ruumitemperatuuri erinevused tulenevad inimese kohanemisest väliskliimaga ja suvisest kergemast riitusest. Kui näiteks suvel jahutatakse ruume 21–22 °C-ni, põhjustaks see suurt rahulolematust ja kaebusi, kuna selline kütteperioodile sobiv temperatuur tunduks suvel väga külmana.

Sisekliimaklassile vastav ventilatsioonivajadus koosneb kahest komponendist: inimeste ventilatsioonivajadusest ja materjaliemissioonide väljatuulutamise ventilatsioonivajadusest, mis summeeritakse. Madala ja väga madala emissiooniga materjalide nõuded on toodud standardis EVS-EN 15251:2007 liites C. Näiteks Soome M1 märgistusega materjalid vastavad EVS-EN 15251:2007 väga madala emissiooni nõuetele ning need materjalid on kättesaadavad ka Eesti turul.

Summaarse ventilatsioonivajaduse arvutamiseks tuleb teada inimeste arvu ehk mitu ruutmeetrit põrandapinda on ühe inimese kohta. Näiteks 10 m<sup>2</sup> puhul inimese kohta tuleb sisekliima I klassis madala emissiooniga materjalide korral summaarseks ventilatsioonivajaduseks 10/10 +1,0 = 2,0 l/(s m<sup>2</sup>), mis vastab Vabariigi Valitsuse määruse nr 68 nõudele. Määruses on lähtutud ruutmeetripõhisest ventilatsiooninõudest, kuna inimeste arv võib hoone ekspluatatsiooni ajal oluliselt kõikuda. Hoone köetavale pinnale nõutud 2,0 l/(s m<sup>2</sup>) võimaldab projekteerida tuba ja avatud kontorid sellest väiksema õhuhulgaga, kuna nõu-

pidamisruumides ja näiteks sööklas on õhuhulgad vastavalt suuremad. Nõudluspõhise ventilatsiooni juhtimise korral lubab Vabariigi Valitsuse määruse nr 68 kasutada miinimumnõudest väiksemat õhuhulka eeldusel, et tagatakse süsihappegaasi mahukontsentratsioon alla 1000 ppm (välisõhu kontsentratsioonina arvestatakse 400 ppm).

Büroohonetes on põhjalikult uuritud õhuhulga ja nn haige hoone sündroomiga seonduvate kaebuste ja sümptomite vahelist seost. See avaldub eriti vanemates hoonetes, kus ventilatsioon on tihti puudulik. Kõiki arvestatavaid uuringuid koondavad ülevaated (Seppänen ja Fisk, 2004 ning Fisk ja Seppänen, 2007) näitavad, et büroohonetes võib pidada õhuhulga kriitiliseks alampiiriks 10 l/s inimese kohta. Sellest allpool esineb palju rohkem tervise ja tunnetatud õhukvaliteediga seonduvaid tulemeid. Õhuhulga tõstmine 10 l/s kahekordseks 20 l/s inimese kohta on oluliselt vähendanud haige hoone sündroomi sümptomeid ja parandanud õhu kvaliteeti ning ka tööviljakust. Selline õhuhulk saavutatakse Vabariigi Valitsuse määruse järgi projekteeritud hoonetes, kui inimese kohta on tavapärane 10–15 m<sup>2</sup> netopinda.

Sisekliimanõuete puhul on tehniliselt kõige raskem saavutada madalat õhu liikumise kiirust jahutusolukorras. Nii I klassi 0,16–0,20 m/s kui ka II klassi 0,20–0,25 m/s nõuavad häid õhujaotuse ja ruumiseadmete lahendusi. Näiteks klassiruumides ei ole võimalik puhuda sisse jahedamat õhku tavaliste seinaplafoonidega, II klassi saavutamiseks tuleb kasutada laehajuteid või lakke paigaldatud düüstorusid. Büroohonetes on hakatud tõmbusprobleemide tõttu kasutama veepõhiseid jahutussüsteeme, näiteks jahutustalasid või -lagetid, mis tagavad vastavalt II ja I EVS-EN 15251:2007 klassi.

Erinevalt muudest soojusliku mugavuse parameetritest ei esita sisekliimastandard EVS-EN 15251:2007 nõudmisi õhu suhteli-

sele niiskusele. See tuleneb asjaolust, et õhu suhtelise niiskuse mõju soojuslikule mugavusele ja õhu kvaliteedile on tavaliselt inimkasutusega ruumides väike (tööstuse jm protsesside korral võib olukord olla erinev) ning toodud ventilatsiooni õhuhulkade ja ruumitemperatuuride puhul püsib suhteline niiskus kindlalt turvalises vahemikus.

Samas on hästi teada, et pikaajaline kõrge suhteline niiskus põhjustab hallituste kasvu ja väga madal suhteline niiskus (< 15–20%) põhjustab naha kuivust ning ärritab silmi ja hingamisteid. Kõige olulisemaks suhtelise niiskuse kriteeriumiks peetakse tolmulestade (Euroopas kõige levinum allergeen) arengu vältimiseks vajalikku < 45% pikaajalist keskmist suhtelist niiskust kütteperioodil. Talvel külmade ilmadega võib suhteline niiskus langeda alla 15–20% ja põhjustada lühiajaliselt ärritust. Tavalised terved inimesed harjuvad pakaste saabudes madala õhuniiskusega mõne päeva jooksul. Ülitundlikele ja allergilistele inimestele võib madal niiskus tekitada probleeme ja nende puhul soovitataks lokaalse niisuti kasutamist näiteks magamistoas. Teine madala niiskusega seotud probleem on staatiline elekter, mis on kontrollitav viimistlusmaterjalide valikuga, kuna see sõltub oluliselt materjali omadustest.

Madala niiskusega kaasnevaid probleeme

ja riske peetakse palju väiksemaks võrreldes niisutamisega kaasneva hügieeniriskiga. Niisutamise tõttu võivad ventilatsioonisüsteemis areneda bakterid ja mikroobid, kaasa arvatud legionellabakter, mille infektsiooni on Euroopas peaaegu igal aastal surnud mõned inimesed. Neil põhjustel ei soovita sisekliimastandard, tuginedes teaduslike uuringute tulemustele, õhu niisutamist ega kuivatamist kuskil Euroopas kasutada. Sisekliimanõuetele vastav ventilatsioon ja ruumitemperatuurid tagavad suhtelise niiskuse püsimise turvalises piirkonnas. Mitteelamute suhteline niiskus järgib otseselt välisõhu absoluutset niiskust, mille tõttu on õhk talvel kuivem ja suvel niiskem. Elamutes, kus niiskustoodangut on rohkem, on suhteline niiskus kütteperioodil veidi kõrgem, kuid Vabariigi Valitsuse määrusele nr 68 vastaval ventilatsiooni õhuhulgal jääb see selgelt alla tolmulestade kriteeriumi.

Madala niiskustaseme probleemi võimendab ruumide ülekütmine, mida tuleks vältida ka tervisehäirete seisukohalt, järgides määruuses toodud temperatuuriseadeid. Uuringute tulemused näitavad, et madala suhtelise niiskuse korral ei ole õige vähendada ventilatsiooni, kuna see põhjustab muid tervisehäireid. Kuigi ka õhu kuivatamine suvel ei ole meie kliimas otseselt vajalik, nõuavad kõige levinumad jahutusüsteemid seda mõningal määral, et vältida

## Kasutatud kirjandus

- Vabariigi Valitsuse määrus nr 68. Energiatõhususe miinimumnõuded. 30.08.2012
- Majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi määrus nr 63. Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. 08.10.2012
- EVS-EN 15251:2007. European Standard. Criteria for the Indoor Environment including thermal, indoor air quality, light and noise.
- REHVA Guidebook No 6 (2007). Indoor climate and productivity in offices. How to integrate productivity in life-cycle cost analysis of building services. Pawel Wargocki, Olli Seppänen (editors), Johnny Andersson, Atze Boerstra, Derek Clements-Croome, Klaus Fitzner, Sten Olaf Hanssen.
- Fisk W, Seppänen O (2007). Providing better indoor environmental quality brings economic benefits. Keynote lecture. Proceedings of 9 th REHVA world congress Clima 2007. Abstract book pp 3-14. Available at [www.rehva.eu](http://www.rehva.eu).
- Seppänen O, Fisk W. (2004). Summary of human responses to ventilation. International Journal of Indoor Air Quality and Climate 2004, Vol. 14: supplement 7, pp. 102-118

kondenseerumist ruumiseadmetele. Niisutata oleks vaja eriotstarbelistes ruumides/hoonetes nt muuseumisäilikute, muusika-riistade, lauljate häälepaelte, teatud haiglaoperatsioonide ja tööstusprotsesside tõttu.

Ruumide valgustiheduse, -rääguse, -ühtluse, värviesituse üldindeksi ja muud valgustuse juhised on toodud standardis EVS-EN 12464-1. Otseselt energiakasutust mõjutavad valgustiheduse nõuded on toodud ka tabelis 3.

Ruumide mürataseme nõuded on toodud standardis EVS 906 ning samuti EVS-EN 15251:2007-s. Kontorites ja nõupidamisruumides on lubatud kuni 35 dB(A) ja büroomaastikul 40 dB(A). Nende müratasemete saavutamine on tehniliselt lihtne. Büroohoonete kõige tõsisem akustiline probleem on büroomaastikule sobiva akustilise kliima saavutamine. Eriti väiksemate büroomaastike korral on naaberlaudadest kostuv kõne häiriv ning ventilatsioonimüra pigem parandab olukorda. Kõneeraldust saab vähendada akustilise summutusega (laed, sirmid) ja vajadusel ka spetsiaalse taustheliga (selleks sobib ka keskmise sagedusega ventilaatorimüra, nt puhurkonvektorid).

## 2.3 Energiaõhususe võrdlusbaas – tavapärase ehituspraktika näide

2008. aasta alguses jõustunud energiaõhususe miinimumnõuded olid büroo- ja avalikele hoonetele üsna leebed ning pigem kinnistasid head ehitustava järgivaid lahendusi kui nõudsid muudatusi. Nende järgi ehitatud hoonete välispiirete soojustus on üsna hea, kuid tihti on kasutatud ülisuuri klaaspindu. Päikesevarjestysele ei ole väga palju tähelepanu pööratud ning hädalahendusena on kasutatud sise-misi ribikardinaid, mis lasevad päikese-kiirguse sisse. Ventilatsioon on reeglina samuti korralik ja koos soojustagastusega, kuid eraldi väljatõmbed on enamasti ilma soojustagastuseta. Süsteemid on tavaliselt

kitsalt dimensioonitud, tehnilised ruumid tihti ebaotstarbekalt ja efektiivsust vähendavalt paigutatud ning ka elektrivalgustus pole kõige tõhusam. Üllatav on niisutuse üsna laialdane kasutamine büroohoonetes: see näitab madalat teadlikkust sisekliimast. Ekspluatatsioonis on niisutid küll sageli põhjendatult välja lülitatud, peamiselt suure energiakasutuse ja mitte tajutava sisekliima muutumise tõttu. Viimase 20 aasta uuringud on näidanud, et niisutus ei avalda positiivset mõju sisekliimale, kuid

**Tabel 4.** ↓Projekteerimisel kasutatud välis- ja siseõhu parameetrid.

Välisõhu arvutuslikud parameetrid jahutusvõimsuste määramiseks:		Sisekliima parameetrid ruumides tagatakse järgmiste normatiivarvudega:	
temperatuur	T = 27 °C	sisetemperatuur talvel	21–22 °C
suhteline niiskus	RH = 50%	sisetemperatuur suvel	22–26 °C
entalpia	l = 55 kJ/kg	seadmete mürataseme	< 40 dB(A)

**Tabel 5.** → Projekteerimisel kasutatud ventilatsiooni õhuvooluhulgad.

Õhuvahetus tüüpsemates ruumides	l/s, inim.	l/s, m <sup>2</sup>
Bürood	15	2
Kohvik	10	10
Nõupidamisruumid	-	4
Puhkeruumid	5	



**Foto 1.** ➤ Näide büroomaastiku lõppseadmete paigutusest ripplagedeta ruumis ja ripplaega nõupidamisruumis.



**Foto 2.** ➤ Ruumitemperatuuri regulaator jahutusele ja kütteradiaatori termostaat.

loob samas suure hügieeniriski, mille tõttu vähegi määrduvad seadmed ja kondensvesi võivad tekitada tõsiseid sisekliima-probleeme.

Viimase viie aasta jooksul ehitatud büroo- ja koolihoonete välispiirete tavapärased soojusläbivused ( $U$ -arvud) on olnud alljärgnevad.

- Välissein  $0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
- Katuslagi  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
- Põrand pinnasel  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
- Välisaknad  $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

Sisekliima osas ei ole tavaliselt järeleandmisi tehtud ning sisekliima parameetrid vastavad I ja II klassile. Projekteeritud ruumitemperatuurid on talvel  $21\text{--}22 \text{ }^\circ\text{C}$  ning suvel kuni  $25\text{--}26 \text{ }^\circ\text{C}$ , vt tabel 4.

Sisekliima on tagatud soojustagastusega sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsiooni ning kütte ja jahutusega. Ventilatsiooni

õhuvooluhulgad on olnud heal tasemel, vt tabel 5. Samas on tihti jäänud välja ehitamata näiteks nõupidamisruumide nõudluspõhine ventilatsioon, mille puudumise tõttu on eksploatatsioonis suuri konstantseid õhuvooluhulki vähendatud ning suurema seltskonna puhul on umbsetes ja palavates nõupidamisruumides higistamine tavaline.

Bürooruumide sisekliima tagamiseks on kasutatud peamiselt ruumiseadmeid, millest tüüpilisemad on jahutustalad (kuid ka puhurkonvektorid ja ventilatsiooni õhujao- turid) ning kütteks radiaatorid. Lõppseadmeid on paigaldatud nii ripplagedesse kui ka nähtavalt, vt foto 1.

Ruumide temperatuuri reguleerimiseks on kasutatud temperatuuriregulaatoreid, mis juhivad nii kütet kui ka jahutust. Sellisel juhul on radiaatoritel ajamiga termos-

**Foto 3.** ↓ Sissepääsud on enamasti varustatud veeküttele õhkkardinatega. Suuremates hoonetes kasutatakse tambureid ja topelt-õhkkardinaid.



**Foto 4.** ↑ Tsentraalne ventilatsiooniseade (üleväl). All "üleaarne" ventilatsiooniseadme niisutussektsoon kui näide tellijate madalast teadlikkusest sisekliimast.

taatventiilid, radiaatorid ja jahutuselemendid on hooneautomaatika vahendusel seotud, vältides kütte ja jahutuse üheaegset tööd, ning kasutaja saab ruumiregulaatori abil ise valida oma ruumile sobiva temperatuuri. Lihtsama lahenduse puhul reguleeritakse kütte temperatuuriseadet radiaatorite termostaatventiilidest ning ruumitemperatuuri regulaator töötab ainult jahutusele, vt foto 2.

Sissepääsudele on tavaliselt ette nähtud veeküttega õhkkardinad, vt foto 3. Soojusõlmed on enamasti lokaalselt juhitud,

hoone keskest automaatikast saab jälgida ning muuta osa parameetreid. Soojuse kulu mõõdetakse tavaliselt vaid hoonekohaselt.

Büroode ventilatsiooniagregaatides on kasutatud efektiivseid rootorsoojustagasteid. Enamik ventilatsiooniagregaatide on õhuhulkade reguleerimiseks varustatud sagedusmuunduritega. Agregaadid on madalenergiahoonete mõistes reeglina liiga väikesed ja ventilatsioonisüsteemi erivõimsus SFP üsna suur, kuni  $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ , eraldi väljatõmmete puhul kuni  $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Ventilatsiooniseadmete käi-

tamiseks kasutatud elektri- ja soojusenergiat üldjuhul eraldi ei mõõdetata.

Jahutatud õhuga ventilatsiooni sissepuhkekanalid on enamasti asjakohaselt soojustatud, magistraalide ulatuses 30 mm paksuse mineraalvillast soojustusega. Tehniliste ruumide ulatuses on kõik ventilatsioonikanalid isoleeritud 50 mm mineraalvillast soojustusega.

Jahutussüsteemi dimensioonimisel on enamasti kasutatud järgnevaid arvutuslike parameetreid:

- välistemperatuur suvel +27 °C ja RH 50%;
- hoone ruumide jahutamine suvel tsentraalselt sissepuhkeõhu üldise jahutamisega ja täiendavalt lokaalselt ruumidesse paigutatud aktiivsete jahutustaladega;
- külmajaama dimensioonimisel kasutatakse enamasti üheaegsustegurit 0,9;
- jahutuspatareide temperatuuri graafik 7/12 °C;
- jahutustalade temperatuuri graafik 14/17 °C;
- arvutuslik sissepuhketemperatuur ventilatsioonile talvel 21 °C;
- arvutuslik sissepuhketemperatuur ventilatsioonile suvel 16 °C.

Keskne külmajaam on kavandatud enamasti tehnilisse ruumi, kus paiknevad ka pumbasõlmed ja tasandusmahutid ning soojusvahetid. Kui hoones on jahutustalade või -konvektorite süsteemid, on tavaliselt ette nähtud ka vabajahutus. Kõrgendatud riskiga ruumides, nt serverid, kilbiruumid jms, kus on tihti ka aastaringne jahutusvajadus, on kasutatud SPLIT-tüüpi jahutusseadmeid. SPLIT-tüüpi seadmed töötavad üldiselt autonoomselt ja neid ei juhitava jälgita keskse automaatikasüsteemi kaudu. Serveriruumides on tihti kasutatud ka täppiskonditsioneer, millest on tänapäeval loobutud, kuna piisab lihtsamatest lahendustest. Jahutussüsteemide käitamiseks kuluvat elektri- ja toodetavat jahutusenergiat üldjuhul ei mõõdetata.

Hooneautomaatika juhitavad süsteemid on tavaliselt järgmised:

- ventilatsiooniseadmed;
- jahutussüsteemid osaliselt;
- soojussõlm ja küttesüsteemid osaliselt;
- välisvalgustus osaliselt;
- õhkkardinad.

Väiksemate hoonete puhul on kesksed tehnosüsteemid komplekteeritud seadme kohase juhtimisautomaatikaga juba tehases ja süsteemide omavahelist koostööd hoones ei koordineerita ehk keskne automaatika juhtimine puudub. Suuremate ja keerukamate hoonete puhul kasutatakse kesksel automaatikasüsteemi, mis tähendab, et enamik sisekliimat kujundavaid ja energiat kasutavaid seadmeid on omavahel võrku ühendatud, nende töötamine on sünkroniseeritud ning töörežiimid omavahel seotud. Süsteemi kuuluvad programmeeritavad loogikakontrollerid, ruumitemperatuuri regulaatorid, automaatika järelevalvekeskus koos alarmi- ja raportiprinteriga, ruuterid ja UPSid. Järelevalvekeskuseks on personaalarvuti, mis võimaldab sellesse installitud vastavate visualiseerimis- ja muude programmide abil kontrollerite tööd jälgida, anda juhtimiskäsk, muuta ajaprogramme, muuta seadesuuruste ja parameetrite väärtusi, jälgida temperatuuri ja teiste mõõtesuuruste trende nii reaajas kui ka möödunud ajavahemikes, olekuid, alarme, erinevaid raporteid jm.

Eelkirjeldatud lahendustega on saavutatud 150–170 kWh/(m<sup>2</sup> a) tasemele jäävad energiatõhususarvud (miinimumnõue 220 kWh/(m<sup>2</sup> a)). Miinimumnõuet iseloomustab, et see on olnud saavutatav isegi peaaegu täielikult klaasseintega hoonete puhul. Tavapärase ehituspraktika energiatõhususe näitena on tabelis 6 toodud nüüdisaegse büroohoone energiabilanss. Energiatõhususarv 177 kWh/(m<sup>2</sup> a) on tabelis arvatud 09.01.2013 jõustunud elektri kaalumisteguriga 2,0. Enne seda kehtiva kaalumisteguriga 1,5 on energiatõhususarv 148 kWh/(m<sup>2</sup> a). Madalenergiahoonete sei-

sukohalt on kõik energiabilansi komponendid suured, v.a soe tarbevesi ja seadmed, mille energiavajadus tuleneb standardkasutusest ega ole projekteerimisega mõjutatav. Veel on kasutatud järgnevate arvutusnäidete võrdluskõlblikkuse tagamiseks tavapärasest mõnevõrra efektiivsemat valgustust (paigaldatud võimsus 10 W/m<sup>2</sup>,

tavapäraselt 12–15 W/m<sup>2</sup>), mis on parandanud energiaõhususarvu umbes kümne ühiku võrra. Arvutusnäites kasutatud kesksed lähteandmed on toodud lisas 2. Edaspidistes peatükkides vaadeldakse, kuidas on võimalik energiaõhususarvu viia madal- ja liginullenergia tasemele.

**Tabel 6.** ↓ Tavapärasest ehituspraktikat esindava nüüdisaegse büroohoone energiabilanss.

	Energiavajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)	Energiakasutus kWh/(m <sup>2</sup> a)	Kaalumis- tegur	Energiaõhususarv ETA, kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Ruumide ja sissepuhkeõhu küte</b>	59,2	60,5	0,9	54,5
<b>Sooja tarbevee soojendamise</b>	5,8	5,8	0,9	5,3
<b>Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutus</b>	9,5	3,5	2,0	7,0
<b>Ventilaatorid ja pumbad</b>	20,7	20,7	2,0	41,4
<b>Valgustus</b>	15,8	15,8	2,0	31,5
<b>Seadmed</b>	18,9	18,9	2,0	37,9
<b>Summa</b>	130	125		177

## 2.4 Energiaõhususe põhiparameetrite kontrollarvud

Energiaõhususe põhinäitajaid on otstarbekas jälgida nii energiabilansi komponentide kui ka projekteerimise protsessis tehtavate valikute kaudu. Joonisel 2 toodud püramiid näitab hoone kavandamisel ja projekteerimisel tehtavate valikute umbkaudset järjekorda ning mõju energiaõhususele ja maksumusele. Selline lähenemine koos põhiparameetrite kontrollarvude jälgimisega on ka peaaegu ainuke viis kontrollida ja kavandada hoone energiaõhusust projekteerimise alfaasis kuni esimeste energiasimulatsioonide tegemiseni eskiisvariantidele. Energiaõhususe komponendid hakkavad selguma pärast esimeste energiasimulatsioonide tegemist ning siis on võimalik energiaõhususega eri valdkondades detailsemalt edasi töötada.

Energiaõhusust mõjutab oluliselt hoone mahuline kavandamine eelkõige kompaktsuse ja krundile paigutamise näol. Vä-

lispirete pindala, eriti klaasfassaadide ning akende pindala kontrolli all hoidmine koos külma kliimasse sobilike võtetega, nagu näiteks siseõuede katmine klaas- või muu katusega ja topelfassaadide kasutamine koos akende pindala vähendamisega, parandab sellisel määral energiaõhusust, mida ebaõnnestumise korral enam püramiidi järgmistel astmetel parandada ei õnnestu. Kui hoone mahust ja välimusest on esialgne ettekujutus olemas, saab edasi minna fassaadide kujundamise ning tehnosüsteemide valimisega. Fassaadid peavad samaaegselt tagama vaated, soojapidavuse, päevavalguse ja päikesevarjestuse.

Tehnosüsteemidest on kõige suurem ruumivajadus ventilatsioonisüsteemil: võimalikult loomuliku ja vähese energiakasutusega ventilatsioon nõuab tavapärasest suuremaid ventilatsiooniseadmeid ja torustikke, mis tuleb arhitektuurse projek-

teerimise käigus hoolikalt hoonesse sobitada. Tehnosüsteemid on seotud energiaravaruustuse lahendustega, milleks lihtsamatel juhtudel võib olla kaugküte. Liginullenergiahoonetes kompenseeritakse miinimumini viidud energiakasutust ka lokaalse taastuvenergia tootmisega.

Püramiidi juures olevad maksumuse ja tulususe nooled rõhutavad püramiidi alumistel astmetel tehtavate valikute suhtelist odavust ja suurt mõju võrreldes ülemistel astmetel tehtavate valikutega, mille maksumus säästetud kilovatttunni suhtes on märksa suurem. Näiteks mahulise projekteerimise möödalaskmisi ei ole võimalik parandada lokaalse taastuvenergia tootmisega – madal- ja liginullenergiahoonete puhul peavad kõik püramiidi astmed olema efektiivselt lahendatud.

Projekteerimise algfaasis on otstarbekas kasutada energiatõhususe põhiparameetrite kontrollarve, et hinnata madal- või liginullenergiahoone energiatõhususarvu saavutamist. Selliseid kontrollarve on toodud tabelis 7. Madal- ja liginullenergiahoonete ainuke erinevus on vastavalt defi-

nitsioonile lokaalse taastuvenergia tootmises, kuna madalenergiahoonete puhul ei eeldata lokaalset elektrienergia tootmist. Muud kontrollarvud on madal- ja liginullenergiahoonetele samad. Tabelis on toodud võrdlusbaasiks ka tavahoone tehele ehituspraktikale vastavad väärtused.

Hoone soojapidavus mõõdetuna köetava netopinna kohta arvutatud soojuserikaona  $H/A_{\text{neto}}$  on hoone soojapidavuse põhinäitaja, mis sisaldab nii kompaktsuse, akende suuruse kui ka soojustuse taseme mõju. Soojuserikadu  $H$  arvutatakse summeerides kõikide välispiirete osade soojusläbivuste ( $U$ -arvude) ja pindalade korrutised, millele lisatakse ka külmasildade ja infiltratsiooni soojuserikaod. Kuna hoone kompaktsus ( $A_{\text{vp}}/A_{\text{neto}}$  või  $A_{\text{vp}}/V$ , kus  $A_{\text{vp}}$  on välispiirete pindala ja  $V$  ruumala) paraneb olulisel määral hoone suuruse kasvades, on tabelis toodud eraldi väärtused vastavalt köetava netopinna suurusele.

Välispiirete soojapidavuse, akende ja seinte soojusläbivuse, akende osakaalu ning õhupidavuse näitajad on kõik abinõitajad, mis sisalduvad hoone soojapidavuse

### 5 Lokaalne taastuvenergia

päikesepaneelid ja -kollektorid

### 4 Energiavarustus

kaugküte, soojuspumbad, vabajahutus

### 3 Efektiivsed tehnosüsteemid

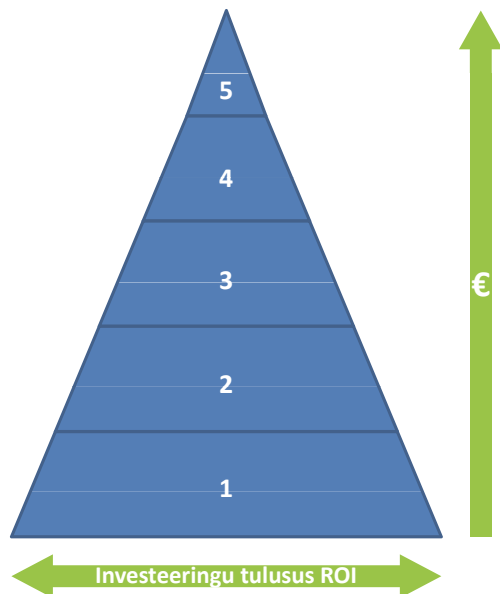
vent, küte, jahutus, valgustus ja juhtimine

### 2 Fassaadide kujundamine

soojapidavus, valgusläbivus ja varjestus

### 1 Maht ja vorm

suund, kuju ja viimistlus



**Joonis 2.** ↑Energiatõhususe kavandamise püramiid meenutab hoone ehitamist: ilma vundamenti tegemata ei saa järgmise korruse kallale asuda. Nii on ka energiatõhususe valikutega, mis on otstarbekas teha loogilises järjekorras.

põhinäitajas. Välispiirete soojapidavus mõõdetuna soojuserikaona  $H/A_{vp}$ , kus  $A_{vp}$  on välispiirete pindala, tähendab sisuliselt välispiirete pindalaga kaalutud keskmist soojuslähivust ehk U-arvu. Nende abinäitajate väärtused sisaldavad teatud mänguruumi ja võimaldavad valikuid, eeldusel et hoone soojapidavus  $H/A_{neto}$  suudetakse kontrolli all hoida.

Akende osakaal, päikeselähivustegur  $g$ , päikesevarjestus ja jahutusvõimsus moodustavad ühe näitajate grupi, mis mõjutab päevavalgust ja jahutusvajadust. Akende suurus ja valguslähivus tuleb valida nii, et oleks tagatud minimaalne keskmine päevavalgustegur päevavalgustsoonis (töökohtades). Et samas minimeerida kütte- ja jahutusvajadustest ning valgustusest tulenevat energiatõhususarvu osa, tuleb fassaadid nende parameetrite osas optimeerida. Fassaadide kujundamisega seonduvat on käsitletud punktides 4.2, 4.3 ja 5.1. Väline päikesevarjestus võimaldab kasutada

hea valguslähivusega klaase, mis omakorda võimaldavad vähendada akende pindala päevavalgusest sõltumata ja samas saavutada olulist kütte- ja jahutusenergia kokkuhoidu. Kui tahetakse saavutada klaasmaja arhitektuurset väljanägemist, tuleb kasutada topelfassaadi, kuna külmas kliimas ei luba energiatõhusus suurendada akende pindala. Topelfassaad pakub ka lihtsa lahenduse välisele päikesevarjestusele, mis on võimalik paigaldada ilmastiku eest kaitstult fassaadide vahele (näiteks siinidel või trossidel ribikardinad). Väliste fassaadi kilede ja trükkide puhul tuleb arvestada, et need vähendavad päevavalgust.

Jahutusvõimsus on lihtsalt arvutatav

**Tabel 7.** ↓ Energiatõhususe põhiparameetrite kontrollarvud madal- ja liginullenergiahoonete projekteerimiseks. Madal- ja liginullenergiahoone erinevus avaldub ainult tabeli viimases reas, teised kontrollarvud on samad. Kontrollarvude väärtused ei ole absoluutsed ning lõplikud väärtused selguvad vastavalt energiasimulatsioonidele.

	Tavahoone	Madal- ja liginullenergiahoone
Hoone soojapidavus $H/A_{neto}$ , $W/(K m^2)$		
$A_{neto} = 500 m^2$	0,8	0,4
$A_{neto} = 1000 m^2$	0,6	0,3
$A_{neto} = 2000 m^2$	0,5	0,25
$A_{neto} \geq 4000 m^2$	0,4	0,2
Välispiirete soojapidavus $H/A_{vp}$ , $W/(K m^2)$	0,5	0,25
Akna summaarne soojuslähivus $U$ , $W/(m^2 K)$	1,4	$\leq 0,7$
Akna päikeselähivustegur $g$ , -	0,3–0,5	optimeeritud
Välisseina soojuslähivus $U$ , $W/(m^2 K)$	0,25	0,14–0,18
Õhupidavus $q_{s0}$ , $m^3/(h m^2)$	$\leq 3$	$\leq 0,6$
Päikesevarjestus		väline
Keskmine päevavalgustegur, %	2	2
Akende osakaal fassaadist, %	40–90	25–30
Tüüpruumide jahutusvõimsus, $W/m^2$	50–100	$\leq 40$
Soojustagastuse temperatuuri suhtarv, %	$\geq 70$	$\geq 80$
Ventilatsiooni erivõimsus SFP, $kW/(m^3 s)$	2–2,5	1–1,5
Nõudluspõhine ventilatsioon		nõupidamised ja vastavad
Jahutustegur ESEER	2–3	$\geq 5$
Paigaldatud valgustusvõimsus, $W/m^2$	$\leq 12$	$\leq 5$
Valgustuse juhtimine	aegjuhtimine	juhitavad valgustid ja multiandurid
Küttesüsteemi primaarenergia kasutegur, -		$\geq 0,90$
Lokaalse taastuenergia osakaal, %		liginull $\geq 10$

tüüpruumi mudeliga. Tavaliselt valitakse üks lõuna- või läänefassaadi keskel paiknev ruum ja üks nurgaruum, mis avatud kontori puhul kujutavad endast selle vastavat osa. Jahutusvõimsuse hindamiseks ei ole vaja seega hoone energiasimulatsiooni mudelit, vaid arvutus on lihtsalt teostatav ühe ruumi mudeliga.

Ventilatsiooni kontrollarvude saavutamine eeldab piisavalt suuri ventilatsioonikambreid, -šahte ning korruse kõrgust torustiku mahutamiseks (käsitatud punktis 4.1). Seetõttu tuleb ventilatsiooni tehniline kontseptsioon (ventilatsioonikambrite, õhuharete ja šahtide paiknemine ning korruse kõrguse vajadus) otsustada juba varakult eskiisi faasis, et sobitada nõutud efektiivsusega ventilatsioon (käsitatud punktis 4.4 ja 5.3) võimalikult otstarbekalt hoonesse.

Valgustuse põhimõttelised lahendused valitakse tavaliselt eelprojekti faasis, kus otsustatakse, kas valgustid integreeritakse ruumiseadmetesse või mitte. Mõlemal juhul on kasutada lai valik valgusteid ning võimalusi otsese ja hajutatud valguse kombineerimiseks. Hajutatud valgus tagab parima visuaalse komfordi, kuid teatavasti suurendab energiakasutust (valgustust on käsitatud punktis 5.4).

Vähemalt eelprojekti tuleb valida ka kasutatavad ruumiseadmed. Üldlevinud ruumiseadmed, nagu jahutustalad ja -paneelid, võimaldavad efektiivset kõrge temperatuuriga veekandjal põhinevat jahutust ning ka välisõhuga toimuva vabajahutuse ära kasutamist. Jahutussüsteemi väike energiakasutus saavutatakse eelkõige jahutusvajaduse minimeerimise ning kõrge ESEER-jahutusteguriga külmajaama kasutamise (käsitatud punktis 5.3).

Küttesüsteemi primaarenergia kasuteguri all mõistetakse soojuse jaotamise ja väljastamise kasuteguri ning soojusallika kasuteguri korrutist, mis jagatakse energiakandja kaalumisteguriga. Kui radiaatorkütte kasutegur on 0,95 ning gaasi kondensaatkatla kasutegur 0,95, siis primaar-

energia kasutegur on  $0,95 \times 0,95 \div 1,0 = 0,90$ , kus 1,0 on energiakandja (gaasi) kaalumistegur. Kui kasutatakse soojuspumpa, asendatakse soojusallika kasutegur kütteperioodi keskmise soojusteguriga. Näiteks maasoojuspumba puhul, mille soojustegur on 3,5, saadakse primaarenergia kasuteguriks  $0,95 \times 3,5 \div 2,0 = 1,66$ , kus 2,0 on elektri kaalumistegur.

Lokaalse taastuenergia lihtsaimad tootmisviisid on päikesekollektorid (soojendavad vett), soojuspumbad ja päikesepaneelid (toodavad elektrit). Bürootüüpi hoonetes, kus sooja tarbevett kasutatakse minimaalselt, on tavaliselt raske päikesest toodetud soojusenergiale rakendust leida, kuna päikesekollektori toodangu ajal tavaliselt küttevajadust pole ning seetõttu kasutatakse päikeseenergia põhivalikuna paneele.

Tabelis 7 toodud kontrollarvud ei ole ette nähtud postulaatidena käsitlemiseks, vaid nende eesmärgiks on suunata projekteerimise algfaasi valikuid nii, et nende põhjal tehtud energiasimulatsioonid annaksid tulemuseks madal- või liginullenergiahoone energiatõhususarvu. Esimene energiasimulatsioon on otstarbekas teha eskiisprojekti koosseisus. Õigete lahenduste valimiseks piisab enamasti ka hoone ühe tüüpkorruse energiasimulatsioonist. Selline üsna lihtne mudel sobib hästi ka fassaadide optimeerimiseks eelprojekti faasis, et leida eesmärgiks seatud energiatõhususe saavutamiseks kõige ratsionaalsemad ja majanduslikult põhjendatud lahendused. Siiski tuleb tüüpkorruse mudeli puhul arvestada teatud varuga, sest hoonete sissekäigukorral on tavaliselt suuremad klaaspinnad ja muid suuremat energiakasutust põhjustavaid tegureid. Fassaadide optimeerimisel on otstarbekas teha ka päevalgussimulatsioone, et tagada ruumide hajusvalguse jagunemise ühtlus ja vältida kontrasträiguse esinemist.

## 2.5 Energiaühenduse ja sisekliima mõju kinnisvara väärtusele

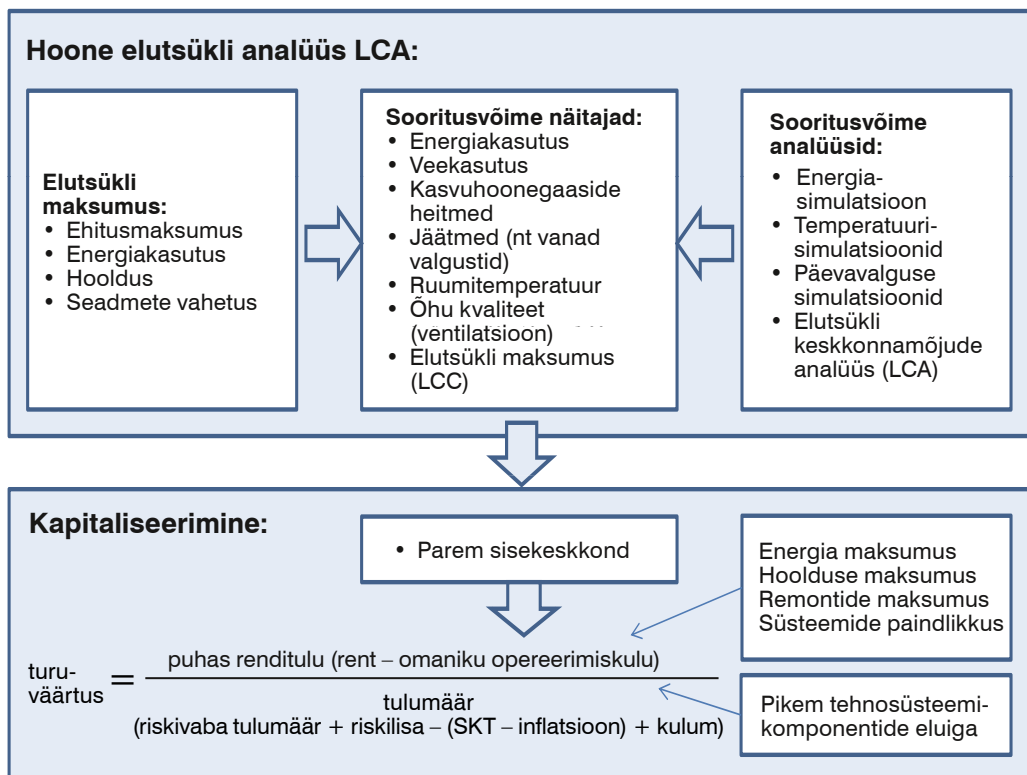
Erinevates riikides tehtud uuringud näitavad, et heal energiaühendusel ja sisekliimal on oluline mõju kinnisvara väärtusele ja renditulule (Eestis selliseid uuringuid veel tehtud pole). See avaldub jätkusuutlikult ehitatud hoonete puhul, mis vastavad kinnisvaraturu fundamentaalsetele nõudmistele: hea asukoht, ühistranspordi lähedus ja hea sooritusvõime ruumikasutuse paindlikkuse, sisekliima ja energiaühenduse osas. Selliste hoonete renditulud on olnud 3–5% ja kinnisvara väärtus isegi üle 10% teistest suurem (REHVA GB No 16 2012).

Kinnisvara turuväärtuse kujunemist on kirjeldatud joonisel 3. Parem sooritusvõime annab ühest küljest hoonetele rohelise lisaväärtuse, mis võimaldab küsida suuremat renti. Teisest küljest vähendab parem sooritusvõime kulutusi energiale ja tehnolo-

üsteemide väljavahetamisele pikemas perspektiivis. Seega tulud kasvavad ja kulud vähenevad, mis vastavalt toodud valemile viib suurema turuväärtuseni.

Kinnisvara turuväärtuse arvutuse näide on toodud tabelis 8, kus on võrreldud tavahoonet madalenergiahoonega ning jätkusuutlikult ehitatud madalenergiahoonega. Ainult 25% väiksem energiakasutus tõstab hoone turuväärtust 1–3% sõltuvalt üüritasemest, kuna opereerimiskulud on väiksemad. Jätkusuutliku hoone parema sooritusvõime terviklik roheline lisaväärtus viib aga märksa suurema turuväärtuseni. Tabeli 8 näites on tehtud konservatiivne oletus, et jätkusuutliku hoone rent on 5 €/m<sup>2</sup> (1,7%) aastas kõrgem (305 vs 300

**Joonis 3.** ↓ Kinnisvara turuväärtuse arvutamine (REHVA GB No 16 2012).





€/m<sup>2</sup> kohta aastas). Näide on koostatud Kesk-Euroopa andmetega, kuna Eestis puuduvad andmed jätkusuutlikkuse mõjust rendihinnale. 5 €/m<sup>2</sup> kõrgem rent võimaldab panustada rohkem hoone hooldusse ning ka energiakasutus on võrreldes tavahoonega väiksem. Kuna rohelise lisaväärtusega hoonet on lihtsam välja rentida, on oletatud, et tühjalt seisvate rendipindade aeg on 6aastase rendiperioodi puhul kahe kuu võrra lühem kui tavahoones (10 vs 12 kuud). Tabelis esitatud tühjalt seismise aja sisse on arvestatud rentnikuvahetusega kaasnevad ümberehitustööd, paindlikuma jätkusuutliku hoone puhul 2,5 kuu renditulu väärtuses ja tavahoone puhul kolme kuu väärtuses. Hästi hooldatud hoone puhul on ka kulumine väiksem, mis võimaldab kasutada väiksemat tulusust (6,15 vs 6,25%). Need tegurid lisavad hoonete turuväärtust võrreldes tavahoonega ligi 12%.

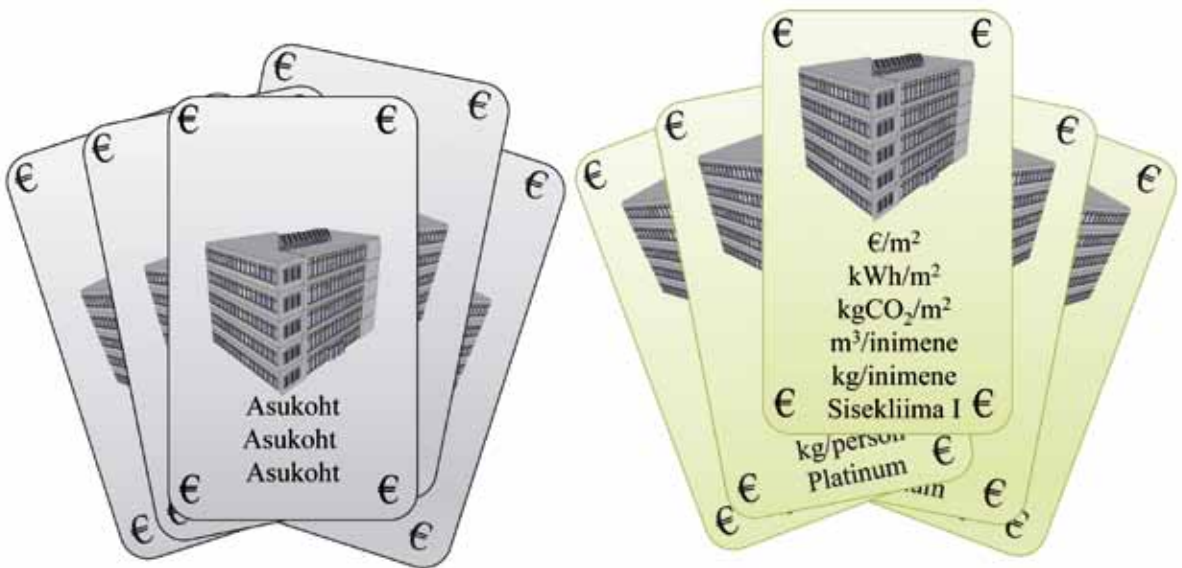
Jätkusuutlikult ehitatud hoonete puhul on üsna lihtne saavutada keskkonnamärgiste (nt LEED, BREEAM ja mitmed muud) kõrgeimate klasside sertifitseeringut, millel võib näha oma osa rohelises lisaväärtuses. Enamik keskkonnamärgiste skeeme rõhutavad hea asukoha, energiatõhususe ja sisekliima tähtsust, millele lisanduvad vee

efektiivne kasutus ning jäätmete ja keskkonnamõjude vältimine. Märgiste probleem on erinevate hindamiskategooriate tulemuste kokkuliitmine. Kui näiteks sisekliima kvaliteedi tase on teatud mõõndustega väljendatav sisekliimaklassiga ja energiatõhusus energiatõhususarvuna, siis sisekliima ja hoone asukoha kokkuliitmine vastavate punktisummadega viib paratamatult meelevaldsete tulemusteni. Märgiste puhul on lõpptulemusest olulisemad üksikute valdkondade sisesed tulemused, mille põhjal on võimalik hoonete sooritusvõimet objektiivselt võrrelda. Arvesse võetavate tegurite ja nende tähtsuse osas vajavad märgised ka kohalikesse oludesse kohandamist. Näiteks rikkalike veevarudega riikides on veekasutuse tähtsus palju madalam kui veepuuduse all kannatavates riikides. Kohalike oludega arvestamine ongi üks põhjus, miks enamikus suuremates riikides on kasutusel oma märgised.

Keskkonnamärgiste laialdane kasutamine on andnud olulise toetuse üldaktsepteeritava hoonete jätkusuutlikkuse hindamise metoodika väljatöötamiseks. Euroo-

**Tabel 8.** ↓ Hoone turuväärtuse arvutusnäide (REHVA GB No 16 2012).

		Tavahoone	Madalenergiahoone (25%)	Jätkusuutlik hoone
<b>Rent</b>	€/m <sup>2</sup> a	300	300	305
<b>Hooldus</b>	€/m <sup>2</sup> a	10	10	12
<b>Energia</b>	€/m <sup>2</sup> a	20	15	15
<b>Puhas renditulu</b>	€/m <sup>2</sup> a	270	275	278
<b>Rentimise protsess</b>	rendikuu	6	6	5
<b>Tasuta rendi periood</b>	rendikuu	3	3	2,5
<b>Ümberehitustööd</b>	rendikuu	3	3	2,5
<b>Kokku tuluta kuud</b>	rendikuu	12	12	10
<b>Rendiperiood</b>	aasta	6	6	7
<b>Puhas opereerimise tulu</b>	€/m <sup>2</sup> a	220	225	242
<b>Tulusus</b>	%	6,25	6,25	6,15
<b>Turuväärtus</b>	€/m <sup>2</sup>	<b>3520</b>	<b>3600</b>	<b>3935</b>
<b>Muutus</b>	%		<b>+2,3 %</b>	<b>+11,8 %</b>



pa standardimisorganisatsiooni CEN koordineerimisel (CEN/TC350) on hiljuti valminud terve rida standardeid, mis käsitlevad hoonete jätkusuutlikkuse hindamise metoodikat (EVS-EN 15643, osad 1-4) ja keskkonnamõjude arvutamist (EVS-EN 15978). Hoonete sotsiaalse ja majandusliku sooritusvõime hindamise standardite väljatöötamine jätkub. Nende standardite ka-

**Joonis 4.** ↑ Kinnisvara väärtuse hindamise tööriistade areng.

sutuselevõtt võimaldab endisest täpsemalt hinnata ka hoonete rohelist lisaväärtust. Kui tavapäraselt on kinnisvara hinnatud kolme tuntud teguri põhjal, siis edaspidi on võimalik kaasata ka hoone sooritusvõime näitajaid, vt joonis 4.

## Kasutatud kirjandus

REHVA Guidebook No 16. HVAC in Sustainable Office Buildings – A bridge between owners and engineers. Virta M, Hovarka F, Litiu A, Kurnitski J. REHVA, Federation of European Heating, Ventilation and Air-Conditioning Associations, REHVA 2012.

EN 15643-1 Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings – Part 1: General framework

EN 15643-2 Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance

EN 15643-3 Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 3 Framework for the assessment of social performance

EN 15643-4 Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 4 Framework for the assessment of economic performance

EN 15978 Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method

EN 15804 Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products

EN 15942 Sustainability of construction works – Environmental product declarations communication format – Business to Business

# 3. Arhitektuuri- võistluste energiatõhususe tingimused

Arhitektuurivõistluste tingimustes on otstarbekas tuua välja selged ja üheselt mõistetavad numbrilised nõuded energiatõhususele, sisekliimale ning muudele võimalikele jätkusuutliku hoone omaduste all käsitletavatele teguritele. Mida selgemalt lähteülesanne ja hindamiskriteeriumid defineerivad arhitektuursed, linnaehitusliku planeeringu, hoone funktsionaalsuse ning jätkusuutlikkuse ja teostamiskõlblikkuse nõuded, seda kõrgemal tasemel töid võib oodata, kuna osavõtjatel jääb rohkem aega püstitatud ülesande lahendamiseks selle asemel, et ise ülesannet püstitada ja seda siis lahendada hakata. Selgelt defineeritud kriteeriumitega võistlustingimused lihtsustavad ka žürii tööd, kuna töid saab hinnata tingimustes defineeritud kvalitatiivsete ja kvantitatiivsete kriteeriumite põhjal. Kuna energiatõhususe olulised valikud tehakse projekteerimise väga varajases faasis, on energiatõhususe nõuete kaasamine võistlustingimustesse vältimatu.

Numbrilised nõuded võib kehtestada minimaalselt energiatõhususele ja sisekliimale või laiemalt hoone jätkusuutlikkusele, mis lisab eelnimetatutele hoone süsinikujalajälje arvutamise ja muid võimalikke

kriteeriumeid. Teostamiskõlblikkusele püstitatakse tavaliselt oma nõuded, mis koosnevad tehniliste lahenduste sobivusest külma kliimasse ning tehnilise teostatavuse hindamisest eelkõige ehitusmaksumuse kaudu ning kasutatud lahenduste mõjust ekspluatatsioonile. Selleks esitatakse võistlustingimustes hoone ehitusmaksumuse ülempiir ja antakse indikaatorina sama või lähedase kasutusotstarbega hoone ligikaudne ehitusmaksumus.

Jätkusuutlikkuse numbrilised nõuded võib kehtestada kas absoluutsete või indikaatiivsete miinimumnõuetega. Mõlemal juhul tuleb nõutud energiatõhususarv, sisekliimaparametrid ja näiteks süsinikujalajalg saavutada, kuid esimesel juhul ei võeta miinimumnõudest paremat tulemust hindamisel arvesse, teisel juhul võetakse. Monumentaalsete hoonete puhul on põhjendatud esimene viis, et lõplik paremusjärjestus selguks arhitektuursete, linnaehituslike ja funktsionaalsete tegurite puhul. Tavapärasmate hoonete korral on jällegi põhjendatud võistlemine parema sooritusvõime ja kuluefektiivsuse nimel. Järgnevalt on kirjeldatud numbriliste jätkusuutlikkuse tingimuste seadmist ühe- ja kaheetapiliste võistluste puhul.

## 3.1 Võistlustingimused

Kaheetapilistel võistlustel, kuhu oodatakse palju osavõtjaid, tuleb esimese etapi tingimuste tõendamine teha sedavõrd lihtsaks, et žürii koos abistavate erialaspetsialistidega oleks vajadusel võimeline hindama sadu töid. See ei tähenda, et numbrilisi nõudeid tingimustes ei kehtestata, vaid seda, et need nõuded küll antakse, kuid nende tõendamist nõutakse alles võistluse teises etapis. Sellisel juhul on osavõtjatele hästi teada, mis neid edu puhul ees ootab.

Kui jätkusuutlikkust nõutakse laiaulatuslikult, lähtudes keskkonna-, sotsiaalsete ja majanduslike aspektide sooritusvõimest, kehtestatakse numbrilised nõuded järgmistele teguritele:

- energiatõhusus väljendatuna energiatõhususarvuna;
- sisekliima põhiparameetrite saavutatavus (ülekuumenemise vältimine, piisav ventilatsioon ja päevavalgus);
- ehitusmaterjalide süsinikujalajalg.

Vastavalt kehtestatakse teostuskõlblikkuse põhinõue maksimaalse ehitusmaksumuse näol. Kuigi maksumust käsitletakse jätkusuutlikkuse olulise osana, on selle hindamine niivõrd erinev, et selle võiks põhjendatult eraldada omaette teostuskõlblikkuse valdkonnaks. Sisuliselt tähendab ehitusmaksumuse hindamine võistlustööde eelarvestamist, mille žürii tellib tavaliselt võistlusega mitteseotud konsultandilt. Suure töömahukuse tõttu on seda otstarbekas teha põhiliselt teise etapi töödele. Esimeses etapis võivad tööd olla ka nii pealiskaudselt esitatud, et täpsem eelarvestamine pole võimalik. Ehitusmaksumuse hindamine on probleemne ka võistluse osavõtjatele, kuna eeldab ehitusturu spetsiifilist tundmist. Selle tõttu pakutakse osal võistlustel osavõtjatele tasuta teatud arvu tunde eelarvestaja konsultatsiooni.

Selleks et garanteerida numbriliste nõuete saavutamise võimalikkus, tuleb

juba esimese etapi kvalifitseerumistingimusena nõuda energiaspetsialisti kaasamist tööühma koosseisu. Kuna vastavad kutsestandardid ei ole veel igal pool välja kujunenud, võib selle nõude esitada üldsõnalisena (näiteks, et isik on osalenud vasta-va kasutusotstarbe ja raskusastmega hoonete energiatõhususe projekteerimisel). Kuna sadade konkursitööde puhul kipub energiaspetsialiste väheks jääma, võib aksepteerida, et sama energiaspetsialist nõustab mitmeid osavõtjaid.

Jätkusuutlikkuse numbriliste nõuete tõendamine eeldab energiasimulatsiooni, tüüpruumide temperatuurisimulatsioone ning hoone materjalide masside arvestust süsinikujalajälje arvutamiseks. Süsinikujalajälje arvutus piiratakse tavaliselt hoone põhikonstruktsioonide ning välispiiretega (viimistlusmaterjale, kergeid vaheseinu, tehnosüsteeme jms ei arvestata). Kõikide nende arvutuste tegemine on sedavõrd töömahukas, et need jäetakse võistluse teise etappi. Sinna valitud võistlejatele makstakse kompensatsiooni, mille tõttu võib ka eeldada, et esitatud analüüsid vastaksid tõele.

Energiatõhususe ja sisekliimanõuete kehtestamiseks tuleb võistlustingimustele valmistada energiatõhususe ja sisekliima tõendamise lisad, mis sisaldavad lähteandmeid, arvutusreegleid ja nõudeid tulemuste esitamisele. Kõige lihtsamal juhul piisab energiatõhususe miinimumnõuete (Vabariigi Valitsuse määruse nr 68) ja energiatõhususe arvutamise metoodika (majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi määruse nr 63) õigete kohtade lisamisest/tõlkimisest. Kui hoone kasutusotstarve ei ole majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi määru- ses piisavalt kirjeldatud, tuleb lisada detailsemad juhised ruumitüüpide standardkasutuse ja sisekliimanõuete kohta. Igal juhul on vaja anda suuniseid hoone tsoneerimiseks energiaarvutuses (milliseid ruumitüüpe tuleb eraldi

käsitleda) ning nimetada ruumitüübid, millele nõutakse tüüpruumide temperatuurisimulatsioone.

Süsinikujalajälje arvutusmetoodikast tuleb teha eraldi võistlustingimuste lisana ning ka Exceli tabel arvutuse sooritami-

seks teises etapis. Selles lisas defineeritakse hooneosad ja materjalid, mis arvutuses arvesse võetakse, ning antakse ka ehitusmaterjalide CO<sub>2</sub> emissioonitegurid, millega teise etappi valitud võistlejad arvutuse teevad.

## 3.2 Tõendamine esimeses etapis

Esimeses etapis on oluline veenduda, et edasi pääsevad võistlustööd suudavad teises etapis täita esitatud numbrilisi nõudeid. Energiatõhususe ja sisekliima kaudseks tõendamiseks võib nõuda võistlustöödelt:

- hoone välispiirete osade pindalade ja netopinna arvutust, vt tabel 9;
- hoone tehnilise kontseptsiooni skemaatilist esitamist hoone pikilõikel;

- hoone tehnilise kontseptsiooni ja põhilahenduste paarileheküljelisel seletuskirja. Pindalade tabeli täitmise nõue ja tehnilise kontseptsiooni esitamise juhised tuleb lisada võistlustingimustesse, et saada võrdlustöödelt.

**Tabel 9.** ↓ Hoone pindalade tabel võistlustööde energiatohususe ligikaudseks hindamiseks. Halli taustaga arvud on ette antud ja kollase taustaga arvud sisestatakse.

Võistlustöö					
Ruumi-programm, m <sup>2</sup>	1,0	Suletud netopind, m <sup>2</sup>	1,0	Brutopind, m <sup>2</sup>	1,0
Soojuskaod läbi piirdetarindite			Muud soojuskaod		
Piirdetarind	$U_i$	$A_i$	$H_{juhtivus}$	Omadus	Suurus
	W/(m <sup>2</sup> K)	m <sup>2</sup>	W/K		
Välissein	0,15	1,0	0,2	Õhulekkearv $q_{50}$	1,5
Katuslagi ja pööningu vahelagi	0,09	1,0	0,1	Korruste arv	1
Põrand pinnasel ja välisõhu kohal	0,12	1,0	0,1	$\dot{V}_{inf}$ , m <sup>3</sup> /s	0,0000
Aknad ja ukсед	0,80	1,0	0,8	$H_{õhuleke}$ , W/K	0,1
	$A_{välispiirded}$ , m <sup>2</sup>	4,0		Külmasildade osakaal, %	20
	$H_{juhtivus}$ , W/K		1,2	$H_{külmasild}$ , W/K	0,2
Välispiirete summaarne soojuserikadu				$\Sigma H$ , W/K	1,4
Välispiirete keskmine soojuslähivus				$\Sigma H/A_{välispiirded}$ , W/(K m <sup>2</sup> )	0,4
Välispiirete summaarne soojuserikadu kõetava pinna kohta				$\Sigma H/A_{programm}$ , W/(K m <sup>2</sup> )	1,4

luskõlblikke andmeid. Tingimuste lisana esitatavates tehnilise kontseptsiooni juhistes tuleb kirjeldada, mis lahendused tuleb skeemil esitada (tavaliselt ventilatsioon, jahutus, päikesevarjestus ja energiavarustus). Veel tuleb välja tuua tehnilises kirjelduses nõutavate punktide pealkirjad ning lühikesed selgitused nõutavate lahenduste kirjelduse kohta. Pindalade õigsuse tagamiseks oleks kõige parem kasutada BIM-mudelit, kuid seda nõutakse tavaliselt alles teises etapis. Seega peab žürii olema valmis, et kahtluse korral tuleb tellida pindalade hindamine esitatud plaanide ja lõigete põhjal.

Neto-, bruto- ja välispiirete pindalad annavad üldise ettekujutuse võistlustööde efektiivsusest. Pindalade tabel arvutab hoone soojuskaod ette antud välispiirete soojusläbivusi kasutades ning esitab tulemuse soojuserikaoona ruumiprogrammi ruutmeetrite kohta. Seda näitajat kasutades on võistlustöid lihtne võrrelda, sest suuremate soojuskadudega vähem efektiivsed tööd paistavad kohe silma. Soojuserikadu on soovitatav arvutada ruumiprogrammi ruutmeetrite kohta, et anda eelis efektiivsema ruumikasutusega töödele (suurema ühendusteede pinnaga tööde netopind on suurem, mistõttu netopinna kasutamine ei too välja ruumikasutuse efektiivsust). Ruumiprogrammi pinnast lähtudes tuleb ka energiatõhususarvu nõue esitada ruumiprogrammi pinna kohta. (Selleks korrutatakse tavapärane köetava pinna kohta esitatud energiatõhususarv nende pindade suhtega.)

Soojuserikao, tehnilise kontseptsiooni skeemi ja tehniliste lahenduste kirjelduse põhjal saab ligikaudselt hinnata energiatõhususe ja sisekliima nõuete saavutamise võimalikkust. Hindamise käigus tuleb pöörata tähelepanu sellele, et töödes võivad olla valesti arvutatud pindalad ja puudulikult esitatud või lausa puuduvad tehnosüsteemide lahendused. Vajadusel tuleb pindalaid kontrollida ning igal juhul koostada

valitud töödele parandusettepanekud. Kui näiteks puuduvad tehnilised ruumid või need on paigutatud ebaotstarbekalt, tuleb parandusettepanekutes sellele tähelepanu juhtida, et teise etappi tulevas võistlustöös oleks lahendused juba parandatud.

Sisekliima nõuete täitmise võimalikkust hinnatakse ventilatsiooni, suviste ruumitemperatuuride ja päevavalguse osas. Ventilatsiooni ehk õhu kvaliteedi tagamine selgub ventilatsioonikambrite ja -šahtide paigutusest, mis on näha tehnilise kontseptsiooni skeemist. Suviste ruumitemperatuuride hindamisel jälgitakse suuri klaaspindu ja aknaid ning nende varjestust. Klaaspindade suurus, suund ja varjestused näitavad, kas jahutusvõimsuste, jahutusenergiakasutuse ja sisekliima tagamisega tekib probleeme. Suured klaaspinnad paistavad välja ka soojuserikao näitajast, tehes seda palju suuremaks. Ligikaudsed päevavalgustsoonid hinnatakse akende kõrguse ja ruumide sügavuse järgi.

Ehitusmaterjalide süsinikujalajälje hindamise võimalused esimeses etapis sisuliselt puuduvad, kuna tavapäraselt esitatakse selles faasis kandvad konstruktsioonid viiteliselt ja suur osa neid võib täiesti puududa. Võimalikele probleemidele võivad viidata ülipikad konsoolsed hooneosad või silded, mis lisavad materjalikasutust. Süsinikujalajälje sisuline hindamine on seetõttu võimalik teises etapis.

Esimeses etapis võib olla vajalik hinnata keerukamate tööde teostatavust. Kui tekib kahtlus, et antud ehitusmaksumuse korral ei ole mõnda tööd kuidagi võimalik teha, tuleb sellistele töödele koostada esialgne maksumuse kalkulatsioon. Mõningatel juhtudel on kasutatud ehitusmaksumuse väga ligikaudset (ruumitüüpide pindalapõhist koos ligikaudsete lisamaksumuste hindamisega) kalkulatsiooni edasi pääsevate tööde ühe valikukriteeriumina. Näiteks võib tellida kalkulatsioonid kümnele paremale tööle, mille seast on kavas valida pooled tööd teise etappi.

### 3.3 Tõendamine teises etapis või kutsutud võistluse puhul

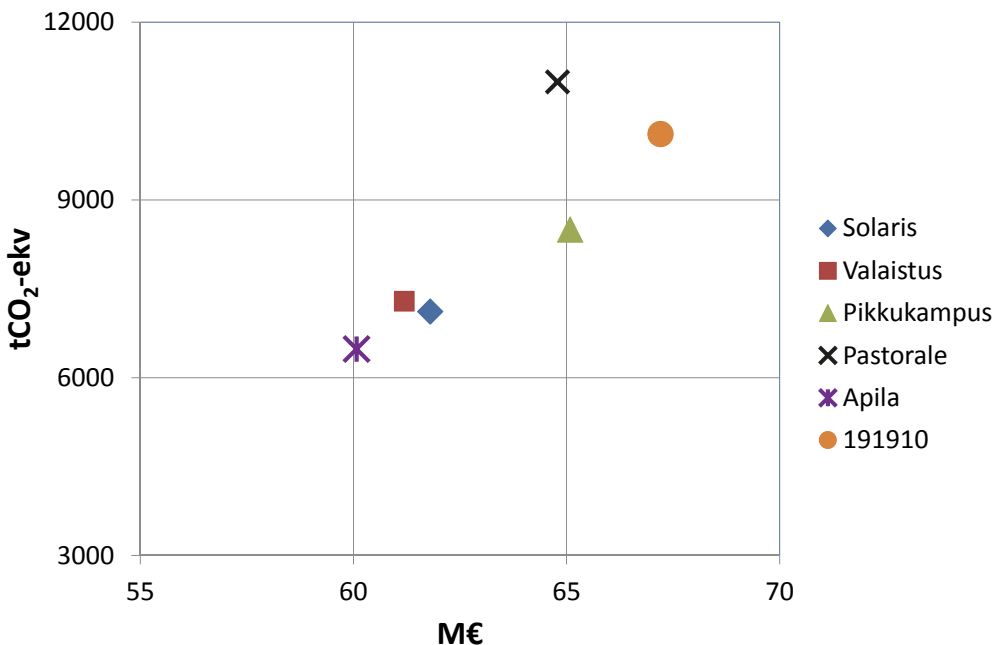
Teises etapis tõendamise all mõistetakse peale kaheetapiliste võistluste ka eelvalikuga võistluste kvalifitseerunud osavõtjate või kutsutud võistluste töodes toimuvat tõendamist. Osavõtjad tõendavad vastavalt punktile 3.1 kehtestatud energiatõhususe, sisekliima ja süsinikujalajälje nõuetele. Teise etapi ehk lõpliku võistlustöö tegemine tasustatakse osavõtjatele, kuna töömaht on suur. Samuti on otstarbekas nõuda, et teises etapis oleks osavõtja töörühma kaasatud kohalikke olusid ja seadlusandlust tundev spetsialist/konsultant.

Lihtsamate võistluste korral võib piirduda ka esimese etapi ehk punktis 3.2 toodud tõendamisega. Sellisel juhul eeldatakse näiteks, et eelvalikust kvalifitseerunud osavõtjad on täitnud pindalatabeli ning teostatakse muu punktis 3.2 kirjeldatud kaudne tõendamine.

Teises etapis tõendamise puhul tuleb osavõtjatel teha energiasimulatsioon vastavalt esitatud nõuetele ning mõningate

tüüpruumide temperatuurisimulatsioonid, mis on vähem töömahukad. Suuremate hoonete puhul võib energiasimulatsioonide tegemine tähendada osavõtja meeskonna energiaspetsialisti kahe nädala tööpanust, kuna simulatsioone tuleb teha mitu korda, alates eskiisvariantidest kuni võistlustöö lõpliku lahenduseni. Kui punktis 3.1 kirjeldatud energiatõhususe ja sisekliima lisad on arusaadavalt ja piisavalt lihtsalt koostatud, suudavad osavõtjad reeglina teha sellised energiasimulatsioonid, mille tulemustesse võib uskuda ja mida ei ole vaja ümber arvutada. Energiasimulatsioonide usaldusväärsust saab hinnata lähteandmete ja tulemuste tabelite järgi, mille vormid on otstarbekas lisada energia-

**Joonis 5.** ↓Helsingi Viikki Synergy hoone arhitektuurikonkursi võistlustööde hindamine hoone elutsükli süsinikujalajälje (30 aasta energiakasutus + ehitusmaterjalid) ning elutsükli maksumuse (ehitusmaksumus + 30 aasta energiakulud) järgi (Kurnitski 2011).



tõhususe liitese (selleks võib kasutada näiteks majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi määruse nr 63 vorme).

Tüüpruumide temperatuurisimulatsioonid näitavad, kas akende ja päikesevarjestuse lahendused on piisaval tasemel sisekliima tagamiseks mõistliku jahutusvõimsusega.

Ehitusmaterjalide süsinikujalajälje arutamiseks ette antud Exceli tabeli korral pole vaja kaasata eraldi spetsialisti, vaid selle suudavad arhitektid ise täita. Oluline on, et kandvate tarindite mõõtmed oleksid õiges suurusjärgus. Arvesse võetavate põhikonstruktsioonide ja välispiirete materjalimahtude arvutamise hõlpsus sõltub ka projekteerimiseks kasutatavast tarkvarast. Ehitusinfomudelite korral on mahtude andmete saamine kõige lihtsam. Osavõtjate täidetud materjaliarvutuse tabeli andmete suurusjärke on üsna lihtne kontrollida. Ebaloogiliste tulemuste puhul on võimalik vaja sisestatud andmete õigsust osaliselt kontrollida.

Teostatavuse hindamine ilma ehitusmaksumuse kalkulatsioonide koostamiseta on enamikul juhtudel võimatu. Seetõttu on soovitatav, et žürii telliks ligikaudsed ehitusmaksumuse kalkulatsioonid kõigile teise etapi töödele. Kuigi tegemist ei ole täpse eelarvestamisega, saadakse üsna usaldusväärne hinnang erinevate võistlustööde maksumuse erinevustest.

Kasutades energiasimulatsiooni tulemusi ja teisendades need süsihappegaaside heitmeteks näiteks 30- või 50aastase pe-

rioodi jooksul ning lisades sellele ehitusmaterjalide süsinikujalajälje, saadakse hea hinnang hoone kogu elutsükli süsinikujalajäljest. Seda võib konkursitööde hindamisel kõrvutada kogu elutsükli aegse maksumusega, mis saadakse ehitusmaksumuse ja näiteks 30 või 50 aasta energiakulude nüüdisväärtuste summana. Sellise võrdluse näide on esitatud joonisel 5. Kui tavaliselt eeldatakse, et energiatõhususe parandamine ja süsinikujalajälje vähendamine viib kallima ehitusmaksumuseni, siis Synergy hoone arhitektuurivõistluse tulemused näitasid vastupidist tendentsi (Kurnitski 2011). Joonisel esimesse gruppi (allpool) jäävad kolm tööd (Apila, Valaistus ja Solaris) olid suutnud ühendada soodsa ehitusmaksumuse hea energiatõhususe ja väikese süsinikujalajäljega. Teise gruppi kuuluvad kolm tööd olid selgelt kallimad ja suurema süsinikujalajäljega. Selle konkursi võidutöö oli Apila, mis oli edukas ka arhitektuursetes ja funktsionaalsetes kategooriates.

Kirjeldatud näitele vastavate rahvusvaheliste võistluste kvalifitseerunud võistlustööde osalemistasud on olnud suurusjärgus 25 000 – 40 000 eurot võistlustöö kohta. Väiksema summa puhul on lisandunud ka võitja tasu ning paremini tasustatud võistlustel ei ole võitja tasu makstud. Selliste konkursside puhul tuleb arvestada, et peale tavapärase võistluse korraldamise kulude lisanduvad ka ekspertide ja konsultantide tasud.

## Kasutatud kirjandus

Kurnitski J. Lessons Learnt from Viikki Synergy Building Sustainable Development Design Competition: Proposed Criteria for Sustainability. SB11, World Sustainable Building Conference, 18 – 21 October, 2011 Helsinki, Finland.



# 4.1 Energiatõhususe ja sisekliima eelduste tagamine projekteerimise algfaasis

## 4.1 Tehniliste ruumide ja šahtide ruumivajadus ning paiknemine hoones

Selleks et saavutada punktis 2.4 toodud tehnosüsteemide energiatõhususe näitajaid, peavad tehnoruumid olema piisava suuruse, õige kuju ja otstarbeka asukohaga. Eelkõige ventilatsiooni soojus-tagastus ja erivõimsus on otseses sõltuvuses ruumivajadusest. Mida väiksemad seadmed, seda kehvem soojus-tagastus ja suurem elektrikulu õhu liigutamiseks. Et saavutada efektiivselt ja loomulikult töötavat ventilatsiooni ja jahutust, peab tehnoruumide asukoht võimaldama vedada teenindavatesse ruumidesse lihtsaid, piisavalt lühikesi ja väikeste kadudega torustikke.

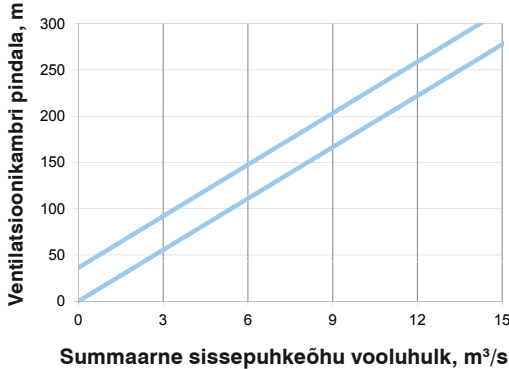
Tehnoruumid tuleb paigutada hoonesse koos muu ruumiprogrammi äramahutamiseks. Kogenud arhitektid, insenerid ja tellijad selgitavad vajalikud tehnoruumid välja ja määravad nende asukohad juba varakult eskiisi faasis. Hästi on teada, et hiljem võib olla ruumi leidmine võimatu ja ka korruste kõrgusi ei saa kasvatada. Ventilatsiooniseadmete mahutamise väikestesse ruumidesse ning kitsaste torustike kasutamine võib tähendada energiatõhususe kukkumist ühe klassi võrra, mis võib teha võimatuks madalenergiahoone ehitamise. "Pealekauba" saab veel müraprobleemid ja

raskesti tasakaalustatava süsteemi, mis võib viia teiste sisekliimaprobleemideni.

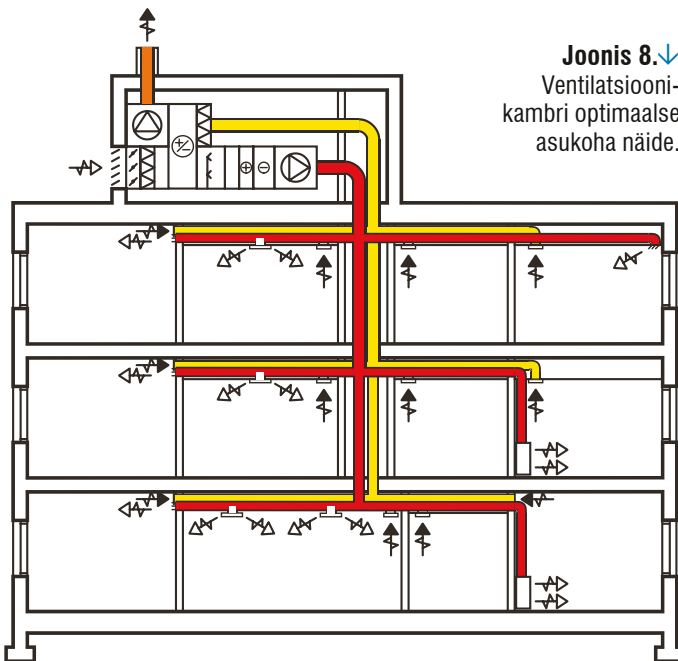
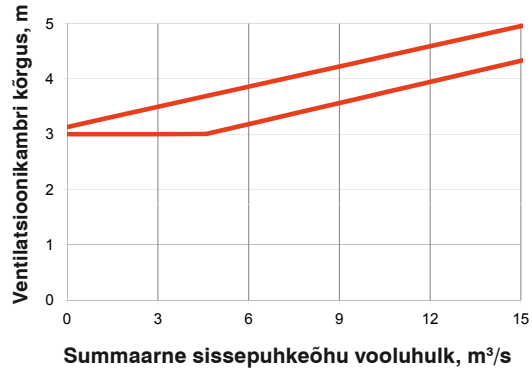
Ventilatsioonikambri põrandapinna suurus ja ruumi kõrgus sõltub ventilatsiooni summaarsest õhuvooluhulgast. Summaarset õhuvooluhulka on lihtne hinnata punktis 2.2 toodud õhuhulga ja hoone netopinna korrutisena. Näiteks büroohoone puhul on õhuvooluhulk keskmiselt  $2,0 \text{ l}/(\text{sm}^2)$  ehk  $0,002 \text{ m}^3/(\text{sm}^2)$ . Ventilatsioonikambri põrandapinna ja kõrguse ruumivajadus on toodud joonistel 6 ja 7. Graafiku puhul tuleb silmas pidada seda, et sooja- või külmavarustuse seadmete paigutamisel ventilatsioonikambrisse suureneb mõnevõrra nõutav ruumi pindala.

Optimaalse kuju ja asukohaga ventilatsioonikambris saab ventilatsiooniseadmed paigaldada õhuvõtukambri äärde, heitõhu juhtida otse läbi ruumi lae välisõhku (joonis 8) ning sissepuhke- ja väljatõmbetorustikku on lihtne šahti viia. Sealjuures on õhuvõtt soovituslik lahendada hoone põhja- või idaküljelt ning heitõhku ei tohi juhtida alasse, kus see võib sattuda liiga lähedale õhuvõtule või inimeste töötsooni. Kui välisõhu- või heitõhutorustik tuleb ühendada välisõhuga eemalt, šahtide kaudu,

**Joonis 6.** ↓ Ventilatsioonikambri ruumivajaduse sõltuvus sissepuhkeõhu vooluhulgast. Kambriga suurus valitakse ülemise joone järgi. Kui ruumi napib, siis võib riskida ja valida alumise joone järgi. Sellisel juhul tuleb teha kontrollarvutus konkreetsete ventilatsiooniseadmetega.



**Joonis 7.** ↓ Ventilatsioonikambri kõrgusvajaduse sõltuvus sissepuhkeõhu vooluhulgast. Kambriga kõrgus valitakse ülemise joone järgi. Kui ruumi napib, võib riskida ja valida alumise joone järgi. Sellisel juhul tuleb teha kontrollarvutus konkreetsete ventilatsiooniseadmetega.

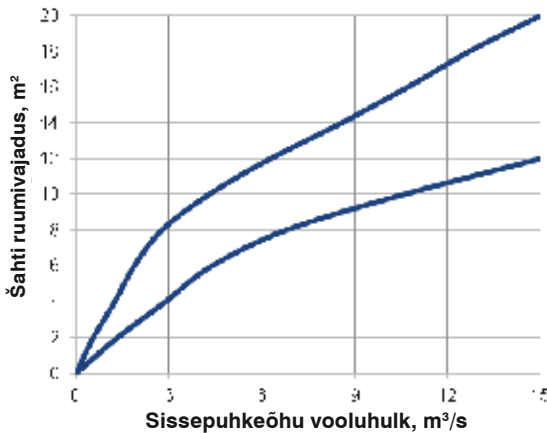


korrusele. Kõrghooned tsoneeritakse tehniliste vahekorrustega. Ventilatsioonikambrite paigaldamine keldrisse on nii ruumikasutuse kui ka süsteemide efektiivsuse suhtes kõige ebaefektiivsem, kuna vajatakse pikki õhuhaardeid.

Šahtide ruumivajadus sõltub eelkõige sinna paigaldatavate ventilatsioonikanalite arvutuslikust õhuvooluhulgast, ülejäänud torustike hulgast ja suurustest ning ka tehniliste ruumide asukohast hoones. Samuti on oluline, kuidas ruumid on

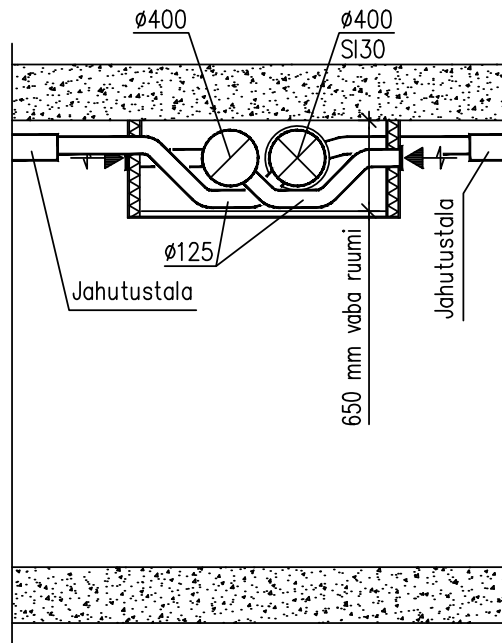
suurendab see eelkõige šahtide ruumi- ja ventilatsiooniseadmete ruumi kõrgusvajadust. Optimaalselt paigutatud ventilatsioonikambritega välditakse ülipikki torustikke. Selleks ei tohiks ventilatsiooniseadme õhuvooluhulk reeglina ületada 6 m<sup>3</sup>/s. Tavahoonetes (kümme korrust ja veidi rohkemgi) on otstarbekas paigutada ventilatsioonikambriid kas katusele või viimasele

grupeeritud. Reeglina nähakse igale sarnase kasutusaja ja otstarbega ruumidegrupi teenindamiseks ette eraldi ventilatsioonisüsteem ja -seadmed (nt bürooruumid, kohvik, WCd ja riietusruumid jne). Kui erineva kasutusotstarbega ruumid asuvad vaheldumisi, raskendab see ruumide ühendamist šahtides asuvate ventilatsioonipüstikutega ning see omakorda põhjustab šahti-



**Joonis 9.** ↑ Ventilatsioonišahtide ruumivajadus sõltuvalt sissepuhkeõhu vooluhulgast.

**Joonis 10.** → Näide ventilatsioonitorustikust koridoris või korruse keskmises tsoonis.



de ruumivajaduse suurenemist. Šahtide pindala sõltuvus arvutuslikust ventilatsiooni õhuvooluhulgast on toodud joonisel 9, kuid võrreldes ventilatsioonikambritega on ruumivajaduse hajuvus konkreetse hoonelahendusest sõltuvalt suurem.

Piisavalt suurte magistraalkanalitega tagatakse ventilatsioonisüsteemi madalad rõhulangud ja paindlikud ruumilahendused. See tähendab, et projektijärgse ruumilahenduse muutumisel on võimalik kogu süsteemi rõhulangu oluliselt suurendama-

ta õhuvooluhulgad vastavalt vajadusele ümber seadistada. Selleks on praktikas ka tungiv vajadus, kuna raske on leida büroohoonet, kus ruumilahendusi ei oleks ehitamise ajal muudetud. Reeglina veetakse torustikud koridori või ripplaega sisemistes-

**Tabel 10.** ↓ Tavapärasest kaks järku suuremate ventilatsioonikambrite, -šahtide ja -torustike mõju energiatõhususele (SFP = 2,5 ja soojustagastuse 75% veergude andmed on tavapärase hoonelahenduse andmetest tabelist 6).

	Energia vajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Energia kasutus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Kaalumis- tegur, -	Energia tõhusus arv ETA, kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Ventilatsiooniseadmete SFP, kW/(m <sup>3</sup> /s)	2,5	1,3	2,5	1,3		2,5	1,3
Soojustagastuse temperatuurisuhtarv, %	70	80	70	80		70	80
Ruumide ja sissepuhke- õhu kütte	59,2	48,8	60,5	50,0	0,9	54,5	45,0
Sooja tarbevee soojendamise	5,8		5,8		0,9	5,3	
Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutus	9,5	9,5	3,5	3,4	2,0	7,0	6,9
Ventilaatorid ja pumbad	20,7	11,6	20,7	11,6	2,0	41,4	23,2
Valgustus	15,8		15,8		2,0	31,5	
Seadmed	18,9		18,9		2,0	37,9	
<b>Summa</b>	<b>130</b>	<b>110</b>	<b>125</b>	<b>106</b>		<b>177</b>	<b>150</b>

se tsoonidesse. Korruse kõrguse valikul tuleb arvestada magistraalkanalite kriitiliste ristumistega, mis sõltuvad konkreetse hoonelahendustest. Õhujaotus magistraalidest toimub standardlahendustega, mille näide on toodud joonisel 10.

Sooja- ja külmavarustuse seadmete ruumides põhjustavad ruumivajaduse suurenemist akumulaatorpaagid ja mahtboilerid. Suured soojuspumbad vajavad hea mürasummutuse ja isolatsiooniga ruumi. Soojuspumpade ja päikesekollektorite korral kasutatakse sooja tarbevee tootmisel suure tarbevee vajadusega hoonetes (nt lasteaed) mahtboilereid. Peale soojavarustuse kasu-

tatakse akumulaatorpaake ka külmavarustuse süsteemis tipukoormuste lõikamiseks.

Tehnoruumide suuruse ja paiknemise mõju energiatõhususele on hinnatud tabelis 10 toodud arvutusnäitega. Võrreldes peatükis 2.3 toodud tavapärase ehituspraktika näitega on valitud kaks järku suuremad ventilatsiooniseadmed ja torustikud. Selle tõttu on oluliselt paranenud ventilatsiooni erivõimsus (SFP 2,5 vs 1,3) ning ka soojustagastus (75% vs 80%). Tulemused on toodud tabelis 10, kusjuures energiatõhususarv on paranenud tänu suurematele tehnoruumidele ja torustikele 27 ühiku võrra väärtuseni 150 kWh/(m<sup>2</sup> a).

## 4.2 Fassaadide kujundamise põhimõtted lähtuvalt päevavalgusest ja energiatõhususest

### 4.2.1 Päevvalguse parameetrid

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

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

Päevvalgustegur on ruumisise ja -välise horisontaalse valgustustiheduse suhe:

Päevvalgusteguri arvutamisel eeldatakse, et taeval on standardse pilvkatttega taevale iseloomulik heledusjaotus, st taevas on pilvkatttega täielikult kaetud.

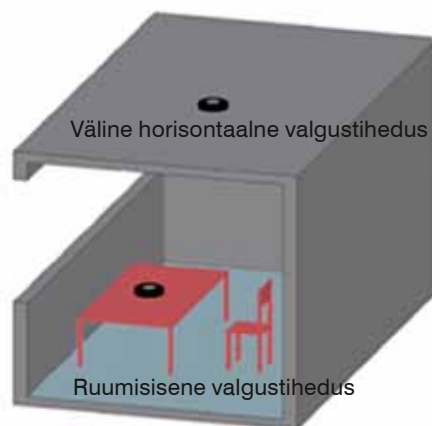
Loomuliku valguse kriteeriumiks ruumis on päevvalgustegur  $D$ :

$$\text{päevvalgustegur } D = \frac{\text{ruumisene valgustihedus}}{\text{väline horisontaalne valgustihedus}} \times 100$$

- $D \geq 2$ , loetakse piisava loomuliku valgusega pindadeks;
- $D < 2$ , loetakse ebapiisava loomuliku valgusega pindadeks ja sellist olukorda tuleks ruumide kavandamisel vältida.

Kooli õpperuumides, aulas, tervishoiu- ja taastusruumides ning õpilaskodu puh-

**Joonis 11.** ↓ Päevvalgusteguri mõõtmise põhimõte. Päevvalgustegur on ruumisise ja -välise horisontaalse valgustustiheduse suhe.



ke-, magamis- ja õpperuumides peab tagama ruumi aknast kõige kaugemal asuvas punktis päevavalgusteguri vähemalt 1,5.

Päevavalgusteguri mõõtmisel/arvutamisel on eeldatud, et otsese päikesekiirguse mõju sisesele ja välisele valgustihedusele on välistatud.

### Valgustihedus

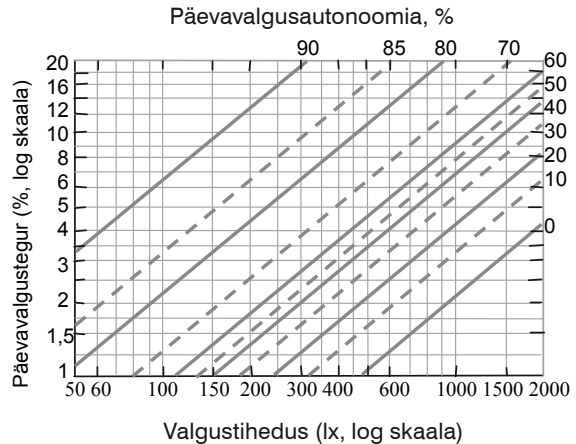
Valgustihedus on antud punkti sisaldavale pinnaelemendile langeva valgusvoo ja selle elemendi pindala jagatis. Valgustiheduse ühik on luks, lx.

Eestis on suvel pilvise ilmaga horisontaalne valgustihedus väljas 15 000 – 20 000 lx. Olenevalt tegevusest vajatakse siseruumides valgustihedust 100–2000 lx. Kontorite eri ruumides võib, sõltuvalt tegevusest, vajalik valgustiheduse tase olla 200–700 lx.

### Päevavalgusautonoomia

Päevavalgusautonoomia on see osa aastast, mil etteantud sisemist valgustihedust

**Joonis 12.** ↓ Aastane päevavalgusautonoomia Tallinnas kell 9.00–17.00.



tööpäeva vältel ületatakse. Päevavalgusteguri valgustiheduse ja päevavalgusautonoomia vaheline sõltuvus on näidatud joonisel 16. Pilvisel päeval on väline valgustihedus 15 000 lx. Ruumis oleks vaja sellest 2% ( $D = 2$ ), et tagada 300 lx. Valgustihedus 300 lx või kõrgem on tagatud umbes 40% tööajast. Päevavalgusteguriga 3 oleks valgustihedus 300 lx tagatud u 65% tööajast.

## 4.2.2 Aknaklaaside valgus-, päikese- ja soojuslääbivus

Aknaklaasidel on kolm kesketomadust, mis kirjeldavad nende soojapidavust, valguslääbivust ja päikesevarjestust. Soojuslääbivus ehk  $U$ -arv,  $W/(m^2 K)$  näitab soojuskadu  $W/m^2$  ühekraadise temperatuurierinevuse korral.

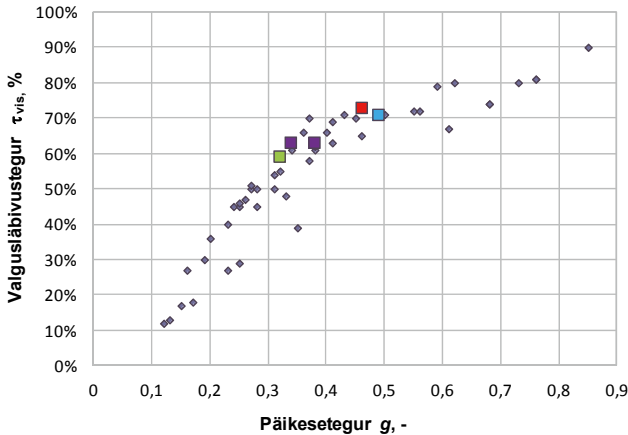
Kuna nähtav valgus moodustab ainult teatud osa päikesekiirgusest, kasutatakse päikesekiirguse läbivuse ja valguslääbivuse kirjeldamiseks eraldi näitajaid. Aknaklaasi päikeselääbivustegur  $g$  (-) näitab, kui suur osa päikesekiirgusest, mis langeb aknaklaasile, siseneb ruumi nii otse läbi klaasi kui ka klaasi neeldudes, selle temperatuuri tõstes ning konvektiivse ja kiirgusliku soojusülekanadena klaasi sisele ruumi sisenedes. Mida väiksem on aknaklaasi päikeselääbivustegur, seda vähem päikesekiirgust ruumi siseneb. Näiteks kui aknaklaasi

päikeselääbivustegur on 0,4, siis 40% aknaklaasile langevast päikesekiirgusest siseneb ruumi ja 60% peegeldub, neeldub ja levib aknaklaasilt tagasi.

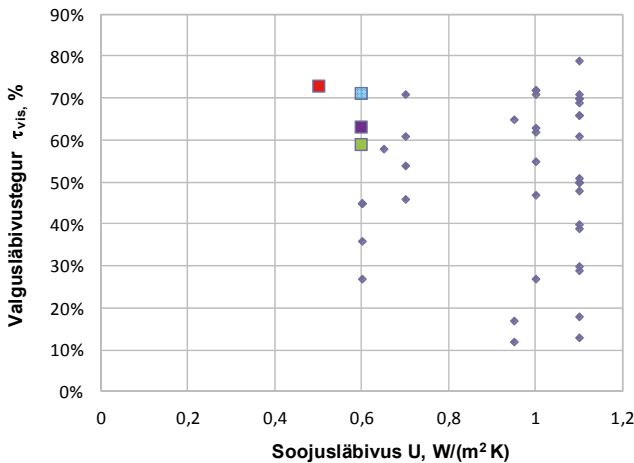
Aknaklaasi valguslääbivustegur  $\tau_{vis}$  (-) iseloomustab aknaklaasi nähtava valguse läbilaskvust sarnaselt päikeseteguriga. Kui aknaklaasi valgustegur on 0,8, siis 80% aknaklaasile langevast nähtavast valgusest siseneb ruumi ja 20% peegeldub tagasi ning neeldub.  $\tau_{vis}$  kehtib otsesele valgusele ja hajuvalguse läbivusteguri  $\tau$  saamiseks korrutatakse  $\tau_{vis}$  arvuga 0,91.

Topeltfassaadide puhul arvutatakse summaarsed päikese- ja valguslääbivustegurid. Näiteks kui välise klaasi  $g = 0,85$  ja akna klaaspaketi  $g = 0,5$ , siis summaarne  $g = 0,85 \times 0,5 = 0,43$ . Vastavalt arvutatakse ka summaarne valguslääbivus. Topelt-

**Joonis 13.** ↓ Kolme klaasiga klaaspakettide valguse läbivuse sõltuvus päikesetegurist. Värviliselt märgitud klaaspakettide soojusläbivus on nähtav joonisel 14.



**Joonis 14.** ↓ Kolme klaasiga klaaspakettide valguse läbivuse sõltuvus soojusläbivusest. Lilla värviga joonisel 13 märgitud klaaspakettide valgus- ja soojusläbivused kattuvad.



fassaadi maksimaalseks valgusläbivuseks võib saavutada võimalikult kirkaste klaasidega näiteks  $\tau_{\text{vis}} = 0,87 \times 0,71 = 0,62$ , mis annab hajuvalguse läbivusteguriks  $\tau = 0,51$ . Ilma välise klaasi ehk ilma topelfassaadita 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 topelfassaadi õhkuvahe tuulutatud, siis ligikaudsetes arvutustes võib kasutada akna soojusläbivust ehk teisisõnu, topelfassaad ei mõjuta akende soojusläbivust.

Energiatõhususe seisukohalt tuleks kasutada võimalikult väikese päikeseteguri ja võimalikult suure valgusläbivusega klaaspakette. See võimaldab kasutada mõistliku pindalaga aknaid, tagades samal ajal hea päevavalguse kasutuse. Teatud määral on akende päikeseikiirgus ja valgusläbivus seotud ning seda iseloomustab joonisel 17 toodud kolme klaasiga klaaspakettide valik. Samuti on teatud seos soojusläbivusega, sest mitmekihilistes klaaspakettides valgusläbivus väheneb, joonisel 18. Joonistel on eraldi tähistatud nn külma kliima klaaspaketid, mille soojusläbivus on 0,52–0,6 W/(m<sup>2</sup> K), valgusläbivustegur jääb vahemikku 0,59–0,71 ning päikesetegur vahemikku 0,32–0,49.

Kuna väiksema päikeseteguriga ( $g < 0,4$ ) kipub ka valgusläbivus langema, siis väikesest päikesetegurist otstarbekam päikesevarjestus saavutatakse välise päikesevarjestusega. Näiteks välised ribikardinad blokeerivad umbes 90% päikeseikiirgusest ( $g = 0,1$ ).

Madala soojusläbivusega klaaspakettidele ( $U < 1$  W/(m<sup>2</sup> K)) on iseloomulik veeauru kondenseerumine klaasi välisele pinnale. Seda esineb tavaliselt sügisel, kui pärast vihmaperioodi taevast selgineb. Õhk on siis niiske ning soojusikiirgus klaasilt taevasse jahutab klaasipinda, mis põhjustab kondenseerumise või jäätumise. Kuigi tegemist on visuaalse probleemiga, on see osutunud häirivaks. Üks läbiproovitud lahendus on kõva selektiivkihi (tinaoksiid SnO<sub>2</sub> või indiumtinaoksiid ITO,  $\varepsilon = 0,15$ –0,2) kasutamine välise klaasi välispinnal. Välistingimused ja aknapesu ei vigasta kõva selektiivkihti ning see lõikab soojusikiirgusest 80%, mille tõttu on klaasi välispinna temperatuur kõrgem ning veeauru kondenseerumist esineb palju vähem.

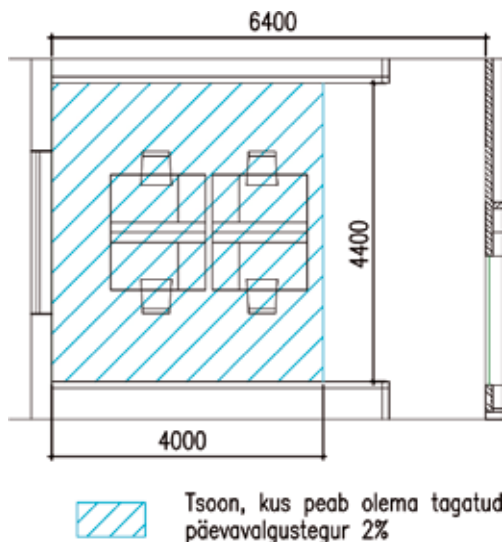
### 4.2.3 Akende valik vastavalt päevavalgusele

Järgnevalt on vaadeldud fassaadi kavandamist päevavalgusest ja jahutusest lähtuvalt tüüpilise büroomaastiku näitel. Selleks on kasutatud joonisel 14 kirjeldatud 28,2 m<sup>2</sup> bürootsooni, kus on neli töökohta ning mille kõrvale jääb liikumisruum. Päevvalgustsooniks on arvestatud 4 m, mille sisse on üsna hästi võimalik paigutada kaks järjestikust töökohta. Laiemat päevvalgustsooni on raske saavutada, kuna vastavalt standardi EVS 894:2008 soovitusel peaks ruumi sügavus, kus aknad on ainult ühes seinas, olema mitte üle 2,5 korra akna kõrgusest ilma välisvarjestust kasutamata ja mitte üle kahe korra varjestust kasutades, kusjuures akna kõrgust hakatakse arvestama alates töötasapinna kõrgusest 0,8 m. Akende osakaalu on varieeritud laias vahemikus. Jahutuskoormuse arvutuse lähteandmed on toodud tabelis 11.

Büroo jahutuskoormus sõltuvalt akende suunast on toodud joonistel 16–18. Akende osakaalu varieerimiseks on alustatud aknaga, mille alumine äär on 0,9 m põrandast ja ülemine 0,2 m laest ning laius vastavalt akna osakaalule. Edasi on suurendatud laiust kuni maksimumini ja pärast seda viidud akna ülemine äär laeni ning viimasena on hakatud kasutama pinda, mis jääb tööpnast madalamale.

Lääne- ja lõunafassaadi jahutuskoormused on sarnased, ida pool mõnevõrra väik-

Joonis 15. ↓ Avatud kontoriruumi plaan.



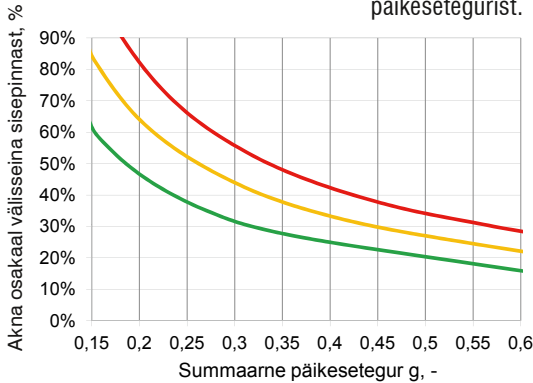
semad ning põhja pool esineb ainult hajukiirus, mis jahutusele probleeme ei tekita. Joonistelt leiab maksimaalse akende suuruse antud summaarse päikeseteguri ja jahutusvõimsuse korral, millega tagataks ruumitemperatuur 25 °C. Summaarne päikesetegur tähendab, et peale klaaspaketi g-le võetakse arvesse võimaliku päikesevarje g, korrutades need omavahel.

Fassaadid tuleb kujundada nii, et päevvalgustsoonis (käesoleval juhul 4 m välis-

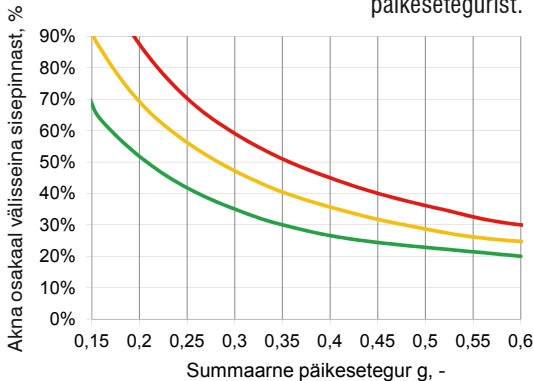
Tabel 11. ↓ Jahutus- ja päevavalgusarvutuste näidisruumi lähteandmed.

Mõõtmed	Pikkus, m		Laius, m		Kõrgus, m	
		6,4		4,4		3,3
Vabasoojused	Inimesed		Seadmed		Valgustus	
	in	in/m <sup>2</sup>			W	W/m <sup>2</sup>
	4	0,142	400	14,2	197	7
Sisekliima	Ruumitemperatuur		+25 °C			
			Õhuvahetus		1,5 l/(s m <sup>2</sup> ); 42 l/s	
Aknaraami osakaal akna pinnast			15%			
Akna klaasiosa osakaal välisseina sisepinnast			0–85%			
Päevvalgustsoon			4 m			

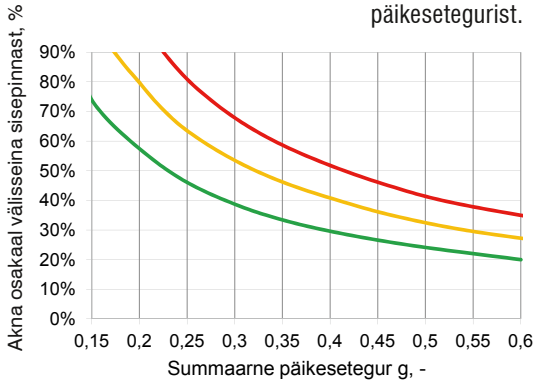
**Joonis 16.** ↓Jahutuskoormus sõltuvalt lõunasse suunatud akna suuruselt ja päikesetegurist.



**Joonis 17.** ↓Jahutuskoormus sõltuvalt läände suunatud akna suuruselt ja päikesetegurist.



**Joonis 18.** ↓Jahutuskoormus sõltuvalt idasse suunatud akna suuruselt ja päikesetegurist.



— 60 W/m<sup>2</sup>  
— 50 W/m<sup>2</sup>  
— 40 W/m<sup>2</sup>

seinast) oleks tagatud keskmine päevvalgustegur 2. Joonisel 19 toodud päevvalgustegur on leitud, kasutades standardi EVS 894:2008 valemist:

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

kus

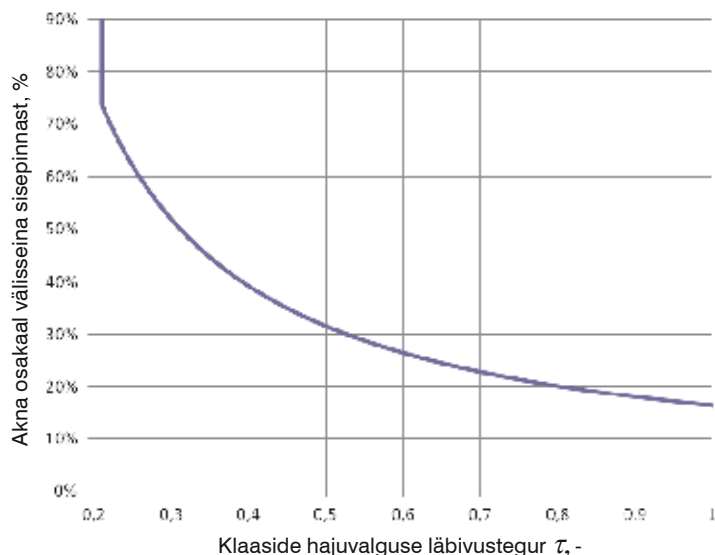
$\bar{D}$  on keskmine päevvalgustegur;  
 $T$  on klaaside haj valguse läbivustegur;  
 $\Theta$  on nähtava taeva nurk (kraadides), 80°;  
 $m$  on aknaklaasi määrdumise mõju, 0,9;  
 $A$  on lae, põranda ja seinte kogupindala (sisaldades aknaid), 127,6 m<sup>2</sup>;  
 $R$  on sisepindade peegeldustegurite kaalutud keskmine, 0,5.

Päevvalgustegur suureneb, kuni kogu töötasapinnast kõrgemal asuv sein on aken (akna osakaal 73%). Sealt edasi päevvalgustegur ei muutu, sest töötasapinnast (0,8 m) madalamale jääv aknaala ei suurenda märkimisväärselt tööpinnale langevat päevvalguse kogust ja seda ei võeta võimalike takistuste (mööbli) tõttu ka arvesse. Kuna päevvalgustegur arvutatakse haj valguse suhtes, ei sõltu see akna suunast ilmakaarte suhtes.

Akende suurust kavandades tuleb leida kompromiss vaate, päevvalguse, madalate soojuskadude ja jahutuskoormuste vahel. Suured aknapinnad lisavad järsult soojuskadusid ja tekitavad vajaduse välise päikesevarjestuse järele. Sisemine päikesevarjestus ei toimi, sest see laseb päikese kiirguse ruumi sisse ja pigem suurendab jahutuskoormusi, kuna blokeerib otsese päikese kiirguse neeldumise massiivses põrandas/vahelaes.

Akende suuruse mõju energiatõhususarvule on analüüsitud tabelis 12 toodud arvutusnäites, milles kõik muud lähteandmed, v.a akende suurus, vastavad peatükis 4.1 toodud arvutusnäitele. Peatüki 4.1 arvutusnäites oli akende osakaal 35%, millega saavutatud energiatõhususarv 150 kWh/(m<sup>2</sup> a) jääb 25% ja 50%-le vastavate energiatõhususarvude vahele. Tulemused





**Joonis 19.** ← Päevalgusteguri sõltuvus aknapinnast ja klaaspaketi hajuvalguse läbivustegurist. Hajuvalguse läbivusteguri saamiseks korrutatakse otsese valguse läbivustegur  $\tau_{\text{vis}}$  arvuga 0,91.

**Tabel 12.** ↓ Akende osakaalu mõju energiatõhususele. Akende summaarne soojusjuhtivus on kõikides juhtumites  $U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Kõik arvutusnäite lähte-andmed, v.a akende suurus, vastavad peatükis 4.1 toodud arvutusnäitele.

**Tabel 13.** ↓ ↓ Akende osakaalu mõju energiatõhususele, kui akende summaarne soojusjuhtivus on  $U = 0,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

	Energiavajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)			Energiakasutus kWh/(m <sup>2</sup> a)			Kaalumis- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m <sup>2</sup> a)		
	25	50	90	25	50	90		25	50	90
Akende osakaal, %	25	50	90	25	50	90		25	50	90
Ruumide ja sissepuhkeõhu küte	41,4	58,4	88,7	42,4	59,9	91,2	0,9	38,2	53,9	82,1
Sooja tarbevee soojendamine	5,8			5,8			0,9	5,3		
Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutus	8,0	12,5	20,1	2,8	4,9	8,5	2,0	5,5	9,8	16,9
Ventilaatorid ja pumbad	11,6			11,6			2,0	23,2		
Valgustus	15,8			15,8			2,0	31,5		
Seadmed	18,9			18,9			2,0	37,9		
Summa	102	123	161	97	117	152		142	162	197

	Energiavajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)			Energiakasutus kWh/(m <sup>2</sup> a)			Kaalumis- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m <sup>2</sup> a)		
	25	50	90	25	50	90		25	50	90
Akende osakaal, %	25	50	90	25	50	90		25	50	90
Ruumide ja sissepuhkeõhu küte	23,1	24,1	28,6	23,5	24,1	29,2	0,9	21,2	22,1	26,6
Sooja tarbevee soojendamine	5,8			5,8			0,9	5,3		
Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutus	10,7	24,6	46,0	4,0	10,6	20,7	2,0	8,0	21,1	41,5
Ventilaatorid ja pumbad	11,6			11,6			2,0	23,2		
Valgustus	15,8			15,8			2,0	31,5		
Seadmed	18,9			18,9			2,0	37,9		
Summa	86	101	127	80	86	102		127	141	166

näitavad, et akende osakaalu vähendamine 90%-lt 25%-le parandab energiatõhusarvu 55 ühiku võrra (197 vs 142 kWh/(m<sup>2</sup> a)).

Tabeli 12 tulemused (samuti peatüki 4.1 arvutusnäite tulemused) on arvatud tavapärase kahe klaasiga akna summaarse soojuslähivusega  $U = 1,4 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ . Kasutades kolmekordset kahe selektiivi ja argoon-täitega klaaspaketti ning kahekordse külmatkestusega metallraame, saavutatakse palju väiksem akna summaarne soojus-

lähivus  $U = 0,58 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ , millele vastavad arvutustulemused on toodud tabelis 13. Näiteks 50% osakaalule vastav energiatõhusarv on paranenud 21 ühiku võrra (162 vs 141 kWh/(m<sup>2</sup> a)). Lisaks on akna 25% osakaaluga saavutatud madalenergiahoone nõudest 130 kWh/(m<sup>2</sup> a) (vt peatükk 2.1) väiksem energiatõhusarv 127 kWh/(m<sup>2</sup> a), mis tähendab, et hoone täidab madalenergiahoone nõude.

### 4.3 Päikesevarjestus ja fassaadilahenduste näiteid

Päikesevarjestuse ülesanne on blokeerida otsene päikesekiirgus, kuid samas tagada võimalikult palju hajuvalgust. Kevadsuvisel ajal peab ruumi siseneva otsese päikesekiirguse kestus olema minimaalne – valgusräiguse, jahutuskoormuse ja -energia kontrolli all hoidmiseks.

Ekslik on arvata, et suured klaaspinnad tähendavad automaatselt päevavalgusküllaseid ruume. Kui päikesevarjestus on lahendamata, võib sellistes hoonetes näha, et kardinad on akendele ööpäev läbi ette tõm-

matud ja ruume valgustab tehisvalgustus. Ka Tallinnas on mitmeid näiteid kontoritest, eeskätt just kontorihoonete lõuna- ja läänefassaadidest, kus kardinad on aasta ringi ette tõmmatud, vt foto 5.

Uuringud on näidanud inimeste “laiskust” kardinade kasutamisel vastavalt vaja-

**Foto 5.** ↓ Fassaadi päikesekaitse on lahendamata. Kardinad on peaaegu püsivalt suletud asendis. Ruumide valgustatus on päeval lahendatud loomuliku valguse asemel tehisvalgusega.



dusele. Reeglina on ruumides, kus ei esine otsesest päikesekiirgust, kardinad pidevalt avatud, ning ruumides, kus esineb otsene päikesekiirgus, kardinad pidevalt ette tõmmatud. On täheldatud, et kontoritöötajad reguleerivad esimesel kahel kuul kardinaid päevavalguse ja vaate nimel vastavalt otsese päikesekiirguse mõjule, hiljem aga loobuvad sellest ja jätavad kardinad konstantsele ette.

Suletud kardinade ilmingut võib ennetada toimiva välisvarjestusega. Efektiveeriv päikesekaitset on võimalik tagada järgnevate lahenduste abil:

- välised ribikardinad (lamellid);
- välissirmid;
- topelfassaad ribikardinate või muu varjestusega;
- isevarjestav fassaad;
- erinevate lahenduste kombinatsioonid.

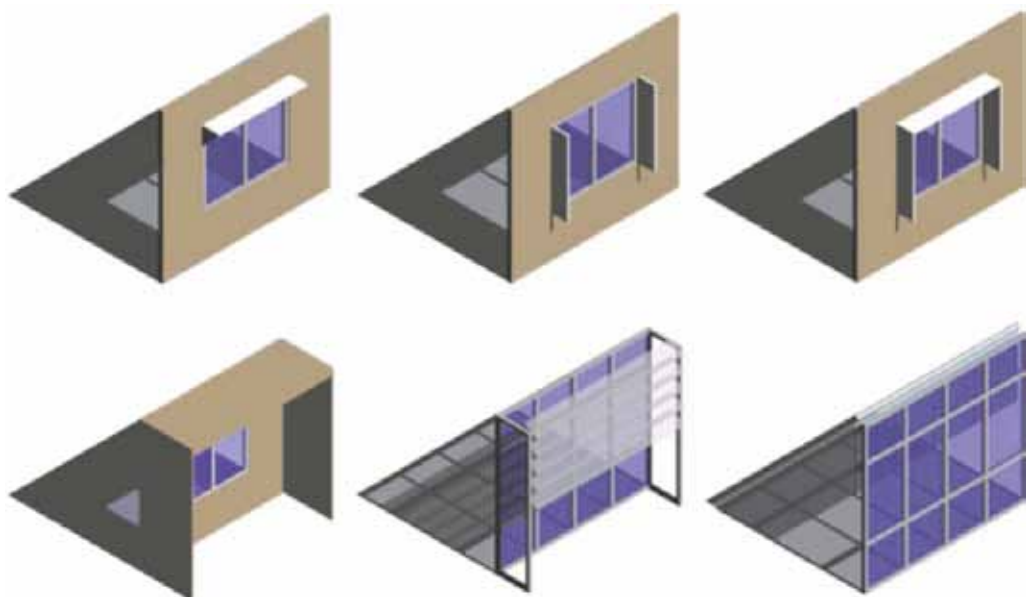
Eristatakse sisemisi ja väliseid ribikardinaid. Välisfassaadile paigaldatud ribikardinad on efektiivne lahendus otsese päikesekiirguse blokeerimiseks. Väliseid ribikardinaid on üsna laialdaselt kasutatud Lääne-Euroopa riikides. Mõni sellekohane näide on ka Eestis, näiteks ASi Linnaehitus kontorihoonele Tartus on paigaldatud väli-

sed ribikardinad. Peaaegu sama efektiivsed on ka aknaklaaside vahele paigaldatud ribikardinad, mis on klaaspaketi ja eraldi klaasi vahel või klaaspaketi välimiste klaaside vahel.

Sisemised ribikardinad, rulood ja muud kardinad on päikesevarjestuse seisukohalt hädalahendus, sest need lasevad päikesekiirguse ruumi ja kipuvad ruumitemperatuuri pigem tõstma kui alandama.

Väliseid ribikardinaid on ka tavalisest laiema riba ehk lamelliga (umbes 5–8 cm). Nende eeliseks on automaatse juhtimise võimalikkus vastavalt otsesele päikesekiirgusele. Lamellide süsteemi puhul peab arvestama, et kui neid juhtida vastavalt päikese blokeerimisele, on päikese asimuudi ehk kõrgusnurga  $\leq 30$  kraadi korral lamellid sedavõrd suletud asendis, et vaade välja on peaaegu olematu. Teoreetiliselt tähendab see, et kui Eestis juhtuvad olema päikeseline sügis-talv-kevad, on meil viis kuud aastast ees vaadet blokeerivad kardinad. Prototüüplahendustena töötatakse välja läbipaistvaid lamelle, mis võiks tulevikus ka

**Joonis 20.** ↓ Näide erinevatest fassaadisirmide kavandamise meetoditest.





**Foto 6.** ↑ Foorumi kaubamaja Tallinnas. Isevarjestuva fassaadi kombinatsioon kaldseinast ja fassaadi välisvarjestusest.

**Tabel 14.** ↓ Välissirmi otsese päikesekiirguse blokeerimise võimalused lõuna suunas kell 12 päeval lähtuvalt sirmi pikkusest.

Kell 12.00, lõuna	Kõrgusnurk	Sirm 40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	100 cm
21. juuni	54,5°	56	70	84	98	140
21. mai/juuli	51°	49	60	73	86	123
21. aprill/august	43°	37	47	55	65	93
21. märts/september	32°	25	31	37	44	62
21. veebr./oktoober	20°	15	18	22	25	36
21. jaanuar/november	12°	8	11	13	15	21
21. detsember	8°	5	7	8	10	14

Põhja-Euroopa laiuskraadile paremini sobida.

Sirmid päikesekiirguse blokeerimiseks on enim kasutatud ja tuntud passiivse arhitektuurilise lahenduse liike. Joonisel 20 on näha mõnesid välissirmide lahendusi.

Rusikareeglina sobib vertikaalne sirm (või sirmid) Eesti tingimustes eeskätt ida- ja läänefassaadile, horisontaalne sirm aga rohkem lõunafassaadile. Samas on alati võimalus kasutada ka kombinatsioone horisontaalsest ja vertikaalsest sirmist. Vajalikud sirmide mõõtmed sõltuvad ilmakaarest, aga eriti hoone asukohast ehk laiuskraadist. Eesti tingimustes laiuskraadil ligikaudu 59° on päikesenurk vertikaalse tasapinna suhtes kõige suurem 21. juunil kell 12: umbes 54°. Sama nurk 21. detsembril on aga vaid 8°. Kui aluseks võtta, et soovime lõunafassaadil päikesekiirguse blokeerida aprilli algusest septembri alguseni, siis sel ajal on päikese päevane maksimaalne kõrgusnurk umbes 42°. See tähendab, et varjestuse pikkus peab olema isegi natuke pikem kui akna kõrgus (kell 10 ja 14 on päikesenurk madalam: 39°). Kui hoonel on maast laeni aken kõrgusega 3 m, tähendaks see sirmi pikkust umbes 3 m.

Sirmide kavandamise võimalused ida, lõuna ja lääne suunas on alljärgnevad.

- Idafassaadi mõjutab otsene päikesekiirgus alates päikesetõusust ligikaudu kella 11.45ni. Kuna päike on madalal, on raske varjestada laia akent. Ida suunale sobivad kitsad (võivad olla kõrged) aknad, mida tuleks varjestada vertikaalse või



**Foto 7.** ↑ Tallinki büroohoone Tallinnas.

**Foto 8.** → Kontorihoonet Taanis Kopenhaagenis. Lõunafassaadi lahendusena on kasutatud arhitektuurilisi elemente ja lääne suunas topelfassaadi.



mis veel parem, vertikaalse ja horisontaalse sirmiga (tagurpidi L- või tagurpidi U-kujulise sirmiga).

- Lõunafassaadi mõjutab otsene päikeseikiirgus kell 09.00–16.00. Lõunaküljel on lihtsam varjestada madalaid aknaid, mis võivad olla laiad. Sellisel juhul saab kasutada horisontaalset varjestust. Järgnev tabel 14 näitab lõuna suunas kavandatud välissirmi päikese blokeerimise potentsiaali. Nii näiteks blokeerib lõuna suunas 50 cm sirm 21. juunil päikeseikiirguse 70 cm fassaadipinnalt, aga 21. detsembril vaid 7 cm.
- Läänefassaadi mõjutab otsene päikeseikiirgus alates kell 13.00. Kontoritöötajate jaoks peaks mõju lõppema tööpäeva lõpuga, orienteeruvalt kell 17.00. Lääne suunas sarnaselt ida suunaga on päike madalamal ja sinna sobivad idafassaadi lahendused.

Topelfassaadid on eriti populaarsed nt Saksamaal, Austrias, Soomes, Rootsis ja Taanis. Eestiski on topelfassaadidest näiteid, millest silmapaistvaim on ehk Tallinna Tehnikaülikooli uus raamatukogu, kus see lahendus on ennast praktikas igati õi-

gustanud. Topelfassaadi vahele sobivad hästi ribikardinad või lamellid, mis on seal ilmastiku eest üsna hästi kaitstud.

Isevarjestavaid fassaade on võimalik kavandada kallete, väljaastete ja muude arhitektuursete vormidega. Näiteks lõunafassaadi võib teha teatud kaldega. Teiseks variandiks on üle katuse ulatuv välissirm, mis Eesti tingimustes võib tulla kõne alla madalaid, kuni kahekorruselisi kontorihooned kavandades. Kolmas ja praktikas enim kasutatav variant on kahe eelnimetatud variandi kombinatsioon. Selline lahendus on Foorumi kaubamaja alumise kahe korruse varjestus, foto 6.

Üheks huvitavaks isevarjestava hoone näiteks Tallinnas on ka Tallinki büroohoone Tallinna sadamapiirkonnas, foto 7. Magistritöös (TTÜ 2010) leiti, et otsese päikeseikiirguse eest kaitseb hoone nii lõuna- kui ka läänepoolset klaasfassaadi kõige efektiivsemalt kas variant, kus ehitatakse üle katuseserva 8 m pikkune sirm, või variant, kus hoone fassaad oleks maapinna suhtes 45kraadise nurga all kaldu ning üle katuseserva ulatuks 4meetiline sirm – sellisel juhul suudetaks märtsist kuni septembrini

terve tööpäeva jooksul lõunafassaadil otsest päikesekiirgust vältida. Olemasoleva hoonega võrreldes väheneks jahutuskoormus 14% ja aastane jahutusenergia 13%. Samal ajal suureneks küttekoormus 2% ja kütteenenergia 3%.

Ülaltoodud efektiivseid päikesevarjestuse lahendusi saab sobival viisil kombineerida. Fotol 8 on Taanis Kopenhaagenis asuv kontorihoone, mille lõunafassaadi lahendusena on kasutatud arhitektuurilisi elemente ja läänepoolset topeltfassaadi, mille vahel on ribikardinad.

Kokkuvõttes võib öelda, et Eesti tingimustes tuleb akna suurus ja kuju varjestuse mõttes hoolikalt läbi mõelda, kuna suurte akende korral ongi midagi väga raske soovitada. Klaasmaja varjestusel pole häid võimalusi. Seda tuleb varjestada nii vertikaalsete kui ka horisontaalsete ribidega, aga lõpuks kipuvad klaasmajade kardinad ikka kõik kinni olema ja kütte ning jahutuse mõistes klaas tavalise seinaga ei konkureeri. Ainuke reaalne viis klaasmaja ehitamiseks on kasutada topeltfassaadi. Kui aga on projekteeritud maast laeni aknad ja soovitakse sisekliimat tagada varjestuse ja tehnosüsteemidega, siis see pole madal-

ega liginullenergiahoonete puhul võimalik.

Tagamaks ruumide päevavalgust ja kaitset ülekuumenemise eest, on otstarbekas valida aknad võimalikult suure valgusläbivusega ja päevavalgustegurist tuleneva suurusega ning ruumide ülekuumenemist võiks vältida nõudluspõhise päikesevarjestusega, mida juhitakse automaatselt või käitsi. Akende toonimisega jahutusvajaduse vähendamine ei ole efektiivne. See tähendab päevavalguse tagamiseks vajalikke suuremaid aknaid, mis omakorda suurendab jahutusvajadust. Nõiaringist väljumiseks tuleb otsida abi vastavalt vajadusele reguleeritavast päikesevarjestusest.

Päikesevarjestuse mõju energiatõhususele on analüüsitud tabelis 15 toodud arvutusnäites. Lähteandmed vastavad tabelis 13 toodud arvutusnäitele, kuid ida-, lääne- ja lõunafassaadide akendele on lisatud väline päikesevarjestus horisontaalsete ribidega. Päikesevarjestus on lisanud kütte- ja

**Tabel 15.** ↓Välise päikesevarjestuse mõju energiaarvutuse tulemustele. Lähteandmed vastavad tabeli 13 arvutusnäitele, v.a ida-, lääne- ja lõunafassaadi akendele lisatud väline päikesevarjestus.

	Energiavajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Energiakasutus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Kaalumis- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Akende osakaal, %	25	50	25	50		25	50
Ruumide ja sissepuhkeõhu küte	23,7	25,9	24,2	26,4	0,9	21,8	23,7
Sooja tarbevee soojendamise	5,8		5,8		0,9	5,3	
Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutus	10,4	19,5	3,9	8,2	2,0	7,8	16,3
Ventilaatorid ja pumbad	11,6		11,6		2,0	23,2	
Valgustus	15,8		15,8		2,0	31,5	
Seadmed	18,9		18,9		2,0	37,9	
Summa	86	98	80	86		127	138

vähendanud jahutusenergiavajadust ning selle mõju energiatõhususarvule on avaldunud suuremate akende puhul. Tuleb rõhutada, et päikesevarjestusel on palju suurem mõju jahutuskoormusele, valgusräigusele ja akende läheduses paiknevate töö-

kohtade soojuslikule mugavusele, kuna väline varjestus väldib akna sisepinna ülekuumenemist. Väiksem jahutuskoormus tähendab väiksemat investeeringut jahutussüsteemi. Neid positiivseid mõjusid energiaarvutuse tulemused ei näita.



**Foto 9.** ↖ Sitra, Itämerentori 2, Helsingi. Topeltfassaad on lahendatud ilma horisontaalplatvormideta, mis vähendavad ruumide loomulikku valgustatust.

**Foto 10.** ↖ Sitra välisvaated.



**Foto 11.** ↓ Ribikardinad topelfassaadi vahel.**Foto 12.** ↑ Nokia, Espoo, Keilaniemi.

Topelfassaad on lahendatud ilma horisontaalplatvormideta, mis vähendavad ruumide loomulikku valgustatust. Ribikardinad on topelfassaadi vahel.



**Foto 13.** ↓ Ilmarinen, Porkkalankatu 1 Helsingi. Topelfassaad vaheplatvormidega, ribikardinad topelfassaadi vahel.



**Foto 14.** ↑ Sanomatalo, Töölönlahdenkatu 2, Helsingi. Topelfassaad vaheplatvormidega, ribikardinad topelfassaadi vahel.

**Foto 15.** ↓ Eesti Raudtee büroohoone Balti jaamas Tallinnas. Fassaadi päikesekaitse on lahendamata. Sisemised ribikardinad on peaaegu püsivalt suletud asendis.



**Foto 16.** ↑ Ruumid on päeval valgustatud loomuliku valguse asemel tehisvalgusega.

## 4.4 Efektiivsete tehnosüsteemide variandid ja valikud eskiisis

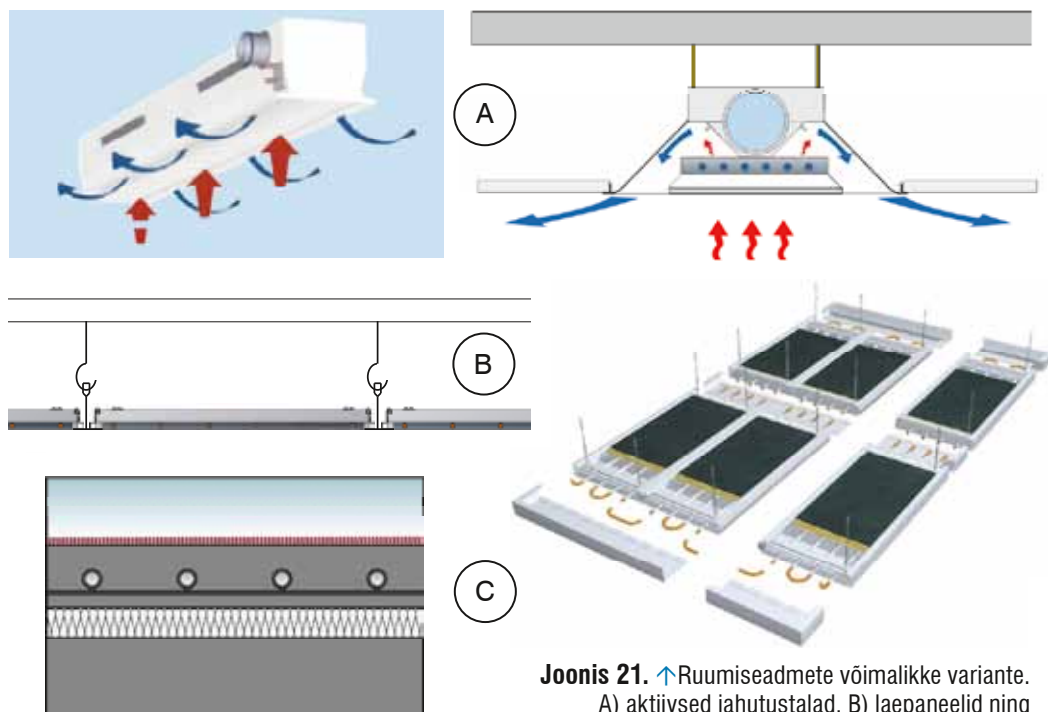
Hoone energiavarustuse lahendused sõltuvad suures osas krundist. Lihtne ja efektiivne lahendus on kaugküte, millele on alternatiivseteks lahendusteks erinevad soojuspumbad ja gaasiküte. Soojuspumpalahenduste korral on otstarbekas kasutada neid nii kütteks kui ka jahutuseks ja tavaliselt vajatakse küttele ka lisasoojusallikat.

Hoone tehnosüsteemide osas on soovitatav lähtuda efektiivse soojustagastuse ja madala erivõimsusega ventilatsioonist, kompressorjahutusega kombineeritud vabajahutusest (tavaliselt välisõhuga) ning paindlikke lahendusi võimaldavatest ruumiseadmetest. Mõningatel juhtudel on võimalik vabajahutus lahendada puurkaevude või maakollektoriga ning kasutada sama kollektorit soojuspumbaga kütmiseks.

Et vähendada ventilatsiooni energia-kasutust, on soovitatav kasutada põhilahendusena tavapärasest 1–2 järku suure-

maid ventilatsiooniseadmeid ja torustikke, mille soojustagastuse suhtarv on võimalik viia rootorsoojusvaheti abil tasemele vähemalt 78–80% ning erivõimsus SFP konstantse õhuhulgaga ventilatsiooniseadmetes alla 1,5 ja muutuva õhuhulgaga ventilatsiooniseadmetes alla 1,8 kW/(m<sup>3</sup>/s).

Ruumiseadmete võimalikud variandid, mis aitavad kaasa hoone energiatõhususele ja tagavad samal ajal eeskujuliku sisekliima, on aktiivsed jahutustalad (tavaliselt koos radiaatorküttega), laepaneelid (kütteks ja jahutuseks) ning põrandaküte ja -jahutus koos kvaliteetsete õhujaotusseadmetega, vt joonis 21. Kõigi nende puhul on võimalik kasutada kõrgtemperatuurilist jahutust (parandab jahutuse efektiivsust) ning madalat sissepuhkeõhu temperatuuri kütteperioodil (võimaldab vabasoojuse paremat utiliseerimist). Puhurkonvektorid on võimalik dimensionoonida kõrgtempera-



**Joonis 21.** ↑Ruumiseadmete võimalikke variante. A) aktiivsed jahutustalad, B) laepaneelid ning C) põrandaküte ja -jahutus (TABS).

**Tabel 16.** ↓ Näide mitteefektiivse ruumiseadme mõjust energiatõhususarvule. Jahutustalade asemel kasutatakse sissepuhet põrandast, kus tõmbuse vältimiseks ollakse sunnitud järelsoojendama sissepuhkeõhku nii suvel kui ka talvel 22 kraadini (jahutustalade puhul on sissepuhkeõhu temperatuur vahemikus 16–19 kraadi vastavalt välistemperatuurile). Muud lähteandmed vastavad peatükis 4.3 toodud arvutusnäitele (tabel 15) akende osakaaluga 25%.

	Energiaavajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Energiakasutus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Kaalumis- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	+16/+19	+22	+16/+19	+22		+16/+19	+22
Sissepuhkeõhu temperatuur, °C	+16/+19	+22	+16/+19	+22		+16/+19	+22
Ruumide ja sissepuhkeõhu kütte	23,7	24,6	24,2	24,8	0,9	21,8	22,3
Sooja tarbevee soojendamine	5,8		5,8		0,9	5,3	
Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutus	10,4	18,8	3,9	8,7	2,0	7,8	17,5
Ventilaatorid ja pumbad	11,6		11,6		2,0	23,2	
Valgustus	15,8		15,8		2,0	31,5	
Seadmed	18,9		18,9		2,0	37,9	
Summa	86	96	80	86		127	138

tuurilisele jahutusele, kuid seadmetes olevad ventilaatorid tähendavad mõningast lisaenergiakasutust ja ka hooldusvajadust.

Näide mitteefektiivsest lahendusest on sissepuhe põrandast (tavaliselt koos tõstetud põrandaga), kus tõmbuse vältimiseks ollakse sunnitud järelsoojendama sissepuhkeõhku nii suvel kui ka talvel, vt tabel 16. Kolmekraadiline sissepuhkeõhu temperatuuri tõstmine talvel võib tunduda väikese erinevusena, kuid mõju energiatõhususarvule on lausa 11 ühikut, mille tõttu arvutusnäite hoone ei täida enam madalenergiahoone nõuet.

Vastavalt uuringule (Kurnitski et al 2010) ei hoi vahelae massi aktiveeriv põrandaküte ja -jahutus otseselt energiat kokku, võrreldes aktiivtalade või laepaneelidega. Kütte- ja jahutusenergia kasutamine oli sama kõigi kolme variandi korral, kui ruumiseadmeid juhiti nii, et operatiivne ruumitemperatuur (temperatuur, mida inimese tunnetab, õhu- ja ruumitemperatuuri keskmine) oli kõikide puhul sama. Uuring

näitas ka seda, et jahutusega hoones ei saavutata öötuulutusega energia kokkuhoidu, sest ventilaatorite energiakasutus kompenseeris jahutusenergia vähenemise.

Vahelae massi aktiveeriv põrandaküte ja -jahutus pakuvad eelist, kui on kasutada tasuta vabajahutusenergiat näiteks puurkaevudest. Sama on võimalik teostada ka passiivjahutustalade ja laepaneelidega, milles võib vajadusel tsirkuleerida jahutusvett ööpäev ringi ja ventilatsioonist sõltumatult. Aktiivsed jahutustalad seda ei võimalda, kuna jahutus eeldab ventilatsiooni käitamist. Tuleb arvestada ka põrandakütte ja -jahutuse vahelagedesse paigaldamise keerukust ning kord paigaldatuna püsivat tsoneeringut, mis võib takistada ruumijaotuse paindlikkust.

Aktiivsete jahutustalade ja laepaneelide võrdluses on kummalgi omad eelised. Laepaneelid võimaldavad viia õhu liikumise kiiruse miinimumini (standardi EVS-EN 15251 sisekliima I klass), kuna jahutatakse soojuskiirguse teel ning ventilatsioon

on jahutusest eraldatud. Laepaneelidega on võimalik saavutada ka umbes 20% väiksem jahutusvõimsus tänu öisele jahutusvee tsirkulatsioonile (öine tsirkulatsioon samas lisab jahutusenergia kasutamist). Kütte seisukohalt nõuavad laepaneelid hea soojustuse ja õhupidavuse ning mõõdukate akendega fassaadi ning nurgaruumides võib olla põhjendatud radiaatorite kasutamine.

Aktiivsed jahutustalad on laepaneelidest soodsamad, kuid õhu liikumise kiirus jääb sisekliima II klassi tasemele, mis võib halvematel juhtudel põhjustada hoone ekspluatatsioonis puhub-peale-tüüpi sisekliimakaebusi. Mõistlike jahutusvõimsuste korral (kuni  $50 \text{ W/m}^2$ ) ja piisavalt madala jahutustala võimsusega  $< 250 \text{ W/m}$  on õhu

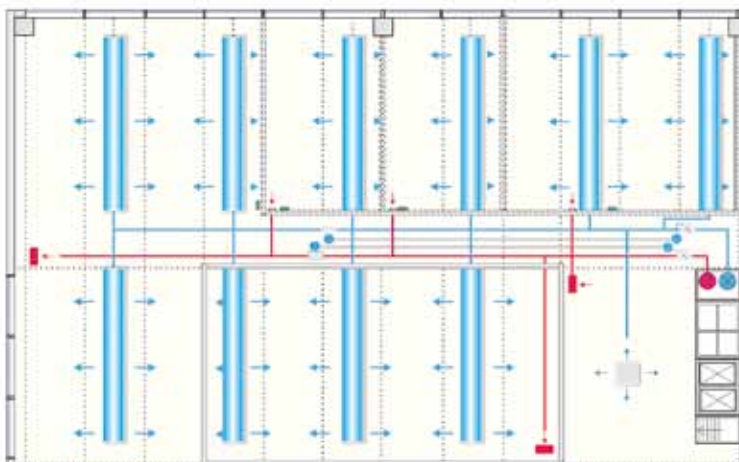
liikumise kiirus siiski kontrolli all. Aktiivseid jahutustalaid kasutatakse tavaliselt koos radiaatorküttega, kuid võib kaaluda ka ainult hoone nurkadesse paigaldatud püstikutega osalist radiaatorküttesüsteemi. Kui tahetakse radiaatorküttest suuremas osas loobuda, tuleks kasutada soojuskiirguspõhjaga aktiivtalaid, mille paneeli-osa tagab hästi soojustatud hoonetes piisava küttevõimsuse. Muutuva õhuhulgaga aktiivjahutustalad pakuvad ka võimalust nõudluspõhise ventilatsiooni ehitamiseks, ajamitega jahutustalade tööpiirkond ulatub tavalise büroo õhuhulga vajadusest  $1,5\text{--}2 \text{ l/(s m}^2\text{)}$  kuni nõupidamisruumide õhuhulga vajaduseni  $4 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ .

## 4.5 Ruumijaotuse paindlikkuse tasemed ja vastavad lahendused

Ruumijaotuse paindlikkuse määravad kasutatav karkassi postisamm, sellest tulenev ruumimoodul, teisaldatavad vaheseinad ning tehnosüsteemide lahendused. Postisammu panevad tihti paika parkimiskohad keldris, näiteks palju kasutatud  $8,1 \text{ m}$  annab ruumi moodulmõõduks  $1,35 \text{ m}$ . Laialdaselt kasutatakse ka  $1,25 \text{ m}$  ja  $1,2 \text{ m}$  moodulit. Tavaliselt nähakse ette, et vaheseinad võivad paikneda iga teise moo-

duli järel ehk  $2,4\text{--}2,7 \text{ m}$  sammuga, vt joonis 22. See võimaldab kasutada kahte moodulit katvaid radiaatoreid, kuid on rajatud ka hooneid, kus on kasutatud lühikesi, ühte moodulisse paigaldatud radiaatoreid. Ventilatsiooni ja jahutuse ruumiseadmed

**Joonis 22.** ↓ Avatud kontoriruumi jaotus ruumimooduliteks ja ruumiseadmete (jahutustalade) paigutus iga teise mooduli keskele.



paigaldatakse iga teise mooduli keskele (mitte ruumi keskele), et tagada võimalike vaheseinade vaba paiknemine (põhimõtteliselt paigaldatakse nii seadmed kui ka radiaatorid mooduli sammuga).

Teisaldatavad elementvaheseinad paigaldatakse põrandakattematerjali peale, mis võimaldab nende ümbertõstmist ilma viimistlustööd tegemata. Elementvaheseinaga saavutatav heliisolatsioon on kontori- ja nõupidamisruumidele piisav.

Vastavalt valitud paindlikkuse tasemele nähakse ette büroomaastiku osalise või täieliku ümberkujundamise võimalust. Osalise ümberkujundamise võimaluse puhul piirab ventilatsiooni- ja jahutussüsteem nõupidamisruumide paiknemise teatud aladesse. Täieliku ümberkujundamise võimaluse puhul on nõupidamisruumide paigutus vaba ja sellisel juhul tagab ventilatsiooni- ja jahutussüsteem vajaliku õhuvahtuse  $1,5\text{--}4\text{ l/(s m}^2\text{)}$  vastavalt kasutusotstarbele: kontoriruumides  $1,5\text{ l/(s m}^2\text{)}$  ja nõupidamisruumides  $4,0\text{ l/(s m}^2\text{)}$ . Tuleb siiski arvestada, et vaheseinte vaba paigutus on lihtsalt teostatav piki fassaadi, kuna teises suunas määrab vaheseinte fikseeritud asukoha reeglina laest kuni ripplaie kõrguseni alla tulev vaheseina ots, mis on vajalik, et keskmise ripplaega tsooni paigaldada torustikke ja muid tehnosüsteeme. Vajaduse korral paigaldatakse näiteks jahutus-

talad või teised ruumiseadmed ja lõppelemendid “jupikaupa”, et võimaldada vaheseinade liigutamist ka teises suunas.

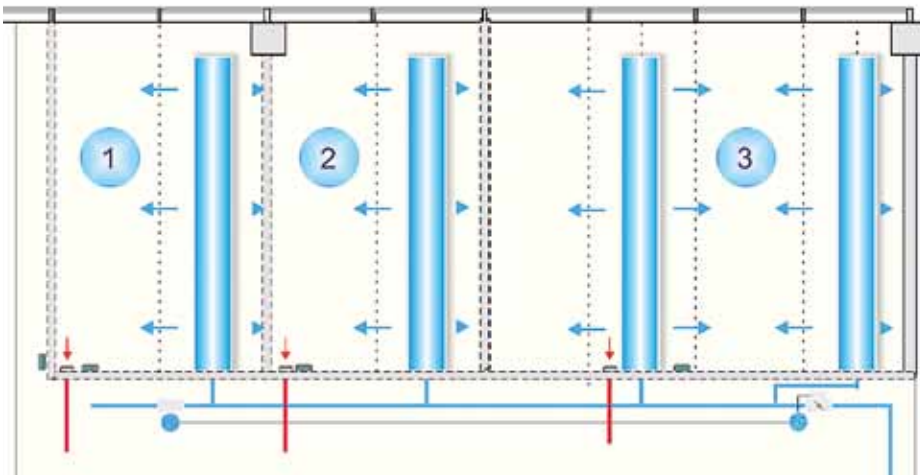
Ruumijaotuse või kasutusotstarbe muutmisel tekib vajadus õhuvooluhulkade ümberseadistamiseks. Selleks on peamiselt kolm võimalust:

- nõudluspõhine ventilatsiooni- ja jahutussüsteem reageerib muutustele automaatselt (juhtimine  $\text{CO}_2$ - ja temperatuuriandurite järgi);
- hoone automaatikasüsteemist elektriajamiga õhuklappide reguleerimine;
- käsitsi süsteemi ümberseadistamine;
- (süsteemi ümberehitamine ja uuesti seadistamine).

Meetodid, mis nõuavad väiksemat vaeva ning häirivad vähem kontori tööd, nõuavad suuremat alginvesteeringut, kuid tagavad reeglina ka parema energiatõhususe. Igal juhul peavad magistraalkanalid olema piisavalt suured, et võimaldada kõigile eeldatavatele kasutusotstarvetele vajalikku õhuhulka ka ventilatsioonišahtist kaugemal asuvates ruumides.

Ruumilahenduse muutmisel tekib tavaliselt ka vajadus jahutussüsteemi ümberseadistamise järele, mis võib olla üsna mahukas töö. Seda saab teha palju lihtsamaks,

**Joonis 23.** ↓ Avatud büroo muutmine kontoriruumideks.



kasutades ruumiseadmete ees rõhust sõltumatuid reguleer- ja tasakaalustusventiile, mis tagavad ülejäänud süsteemist sõltumatult projektijärgse külmakandja vooluhulga ning muudavad süsteemi ümberseadistamise märgatavalt odavamaks ja vähem ajamahukaks. Vastavad ventiilid maksavad küll tavapäraest reguleeriventilidest rohkem, kuid vähendavad kulusid juba süsteemi esmasel seadistamisel.

Joonisel 23 on toodud näide, kus jahutustaladega kontorimaastik muudetakse väiksemateks ruumideks ning mida see ventilatsiooni- ja jahutussüsteemi osas kaasa toob. Samad põhimõtted kehtivad ka teiste ruumiseadmete puhul. Kaheksast moodulist (1,25 m) koosnev avatud büroo on jagatud kolmeks kontoriruumiks. Ühte kahest moodulist koosnevat ruumi teenindab üks jahutustala ning kolmest moodulist koosnevaid kontoriruumi teenindavad vastavalt üks ja kaks jahutustala. Nii enne kui ka pärast ruumiplaneeringu muutust peab olema tagatud õhuvahetus  $1,5 \text{ l/(s m}^2\text{)}$  ja kui esialgu oli iga jahutustala sissepuhkeõhu vooluhulk  $15 \text{ l/s}$ , siis uues olukorras jäävad need vahemikku  $11,3\text{--}22,5 \text{ l/s}$ , vt tabel 17.

Seoses sellega, et osal jahutustaladel muutub teenindatava ala suurus, muutuvad ka arvutuslikud jahutuskoormused ning peale õhuvoolehulkade peab ka jahutussüsteemi ümber seadistama. Joonisel 23 olevad nooled näitavad, kuidas jahutustalade õhujaotus on tõmbuse vältimiseks ümber seadistatud. Kui algolukorras on sissepuhke võrdne mõlemas suunas, siis uues olukorras vähendatakse sissepuhket vaheseina poole ja sissepuhket suurendatakse vastavalt ruumi keskele.

Tabeli 17 viimasel real on toodud kolmas variant, kus ruum muudetakse nõupidamisruumiks ning sel juhul suureneb õhuhulk määrani  $60 \text{ l/s}$  (algolukorras  $30 \text{ l/s}$ ). Kui näiteks ruum 1 muudetakse väikseks nõupidamisruumiks, siis selle õhuhulk muutuks algolukorrast  $15 \text{ l/s}$  nõupidamisruumile vajalikuks  $40 \text{ l/s}$ . Õhuhulga sellised enam kui kahekordsed muutused on võimalikud ainult siis, kui projekteerimisel on lähtutud ruumijaotuse täieliku ümberkujundamise võimalusest. Ruumiseadmete osas eeldab see lisaõhuvõimalusega jahutustalade või muude piisavalt suure tööpiirkonnaga ruumiseadmete/lõppelementide kasutamist.

**Tabel 17.** ↓Jahutusalkide õhuvoolehulkade muutused sõltuvalt ruumiplaneeringust.

Ruum/jahutustala	Ruumitüüp	Õhuvahetus			
		l/s	l/(s m <sup>2</sup> )	l/s	l/(s m <sup>2</sup> )
1	Kontor	15	1,5	15	1,5
2	Kontor	15		22,5	1,5
3/A	Kontor	15		11,3	1,5
3/B	Kontor	15		11,3	1,5
3/A ja B	Nõupidamisruum	–		60	4,0

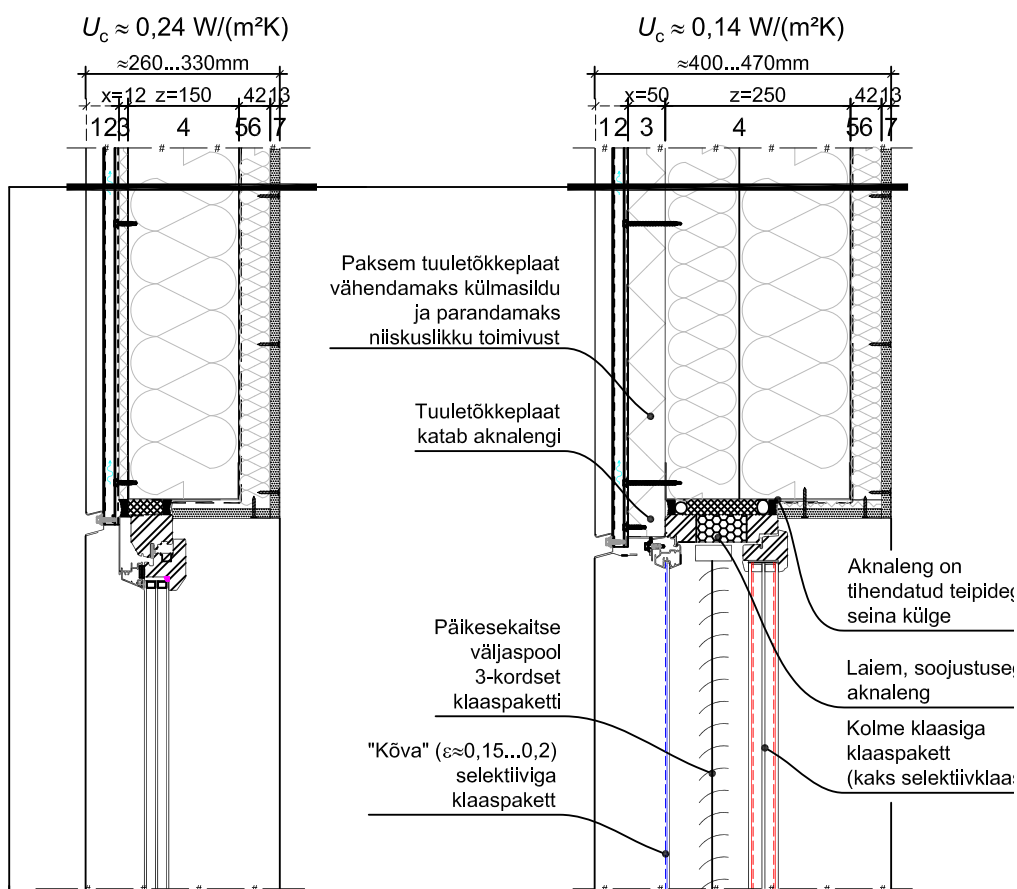
## Kasutatud kirjandus

EVS 894:2008 Loomulik valgustus siseruumides.

Jarek Kurnitski, Petri Pylysy, Juha Jokisalo. Performance of high-temperature room-conditioning solutions. Paper: R6-TS70-OP05. CLIMA 2010, 10th REHVA WORLD CONGRESS "Sustainable energy use in buildings", 9–12 May 2010, Antalya, Turkey.

Kosonen R, Virta M. Joustavuuden huomioon ottaminen ilmastointipalkkijärjestelmän suunnittelussa. Sisäilmastoseminaari 2006, Espoo 15–16.3.2006. SIY Raportti 24.

# 5. Kuidas projekteerida madal- ja liginull-energiahoone – eelprojekti küsimusi



1	Välisvooder	
2	Tuulutatav õhkvahe ( $\geq 25 \dots 40 \text{ mm}$ )	
3	Tuuletõkkeplaat ( $\lambda_s \leq 0,038 \text{ W/(mK)}$ ) sulundserv, teibitud, jätkud liistude vahel)	x mm
4	Sõrestikpostid / Soojustus ( $\lambda_s \leq 0,04 \text{ W/(mK)}$ )	z mm
5	Õhu- ja aurutõke (liitekohad 20cm ülekattega, teibitud ja liistude vahel)	
6	Roovitis/Soojustus ( $\lambda_s \leq 0,04 \text{ W/(mK)}$ )	42mm
7	Siseviimistlusplaat	13mm

**Joonis 24.** ↑ Külmatõkestusega teras- või puitsõrestikust välisseinapaneeli ja akna liitumine tavahoones (vasakul) ning madal- või liginullenergiahoones (paremal). Ka madal- ja liginullenergiahoones võib kasutada vasakul joonisel toodud kolmeklaasilist akent, kuid 3 + 1-klaasilahendus pakub lihtsat ja efektiivset päikesevarjestuse lahendust klaaside vahele paigaldatud ribikardinate näol.



## 5.1 Välispiirded

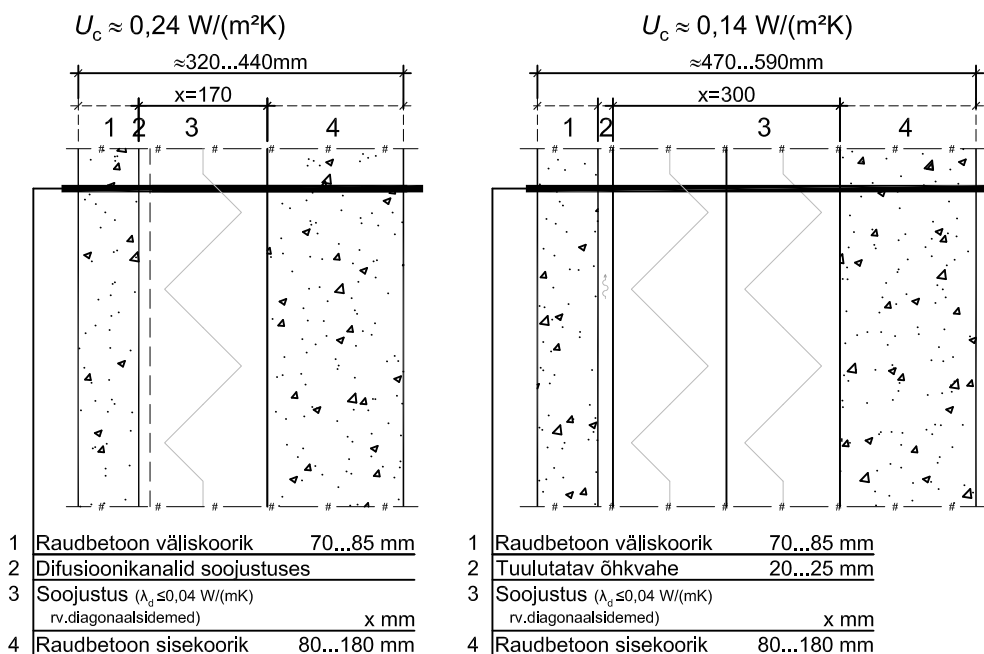
Järgnevalt on kirjeldatud peatükis 2.4 toodud energiatõhususe põhiparameetritele vastavaid välispiirdeid. Madal- ja liginullenergiahoonetesse sobivad lahendused on tavahoonetes kasutatavate lahendustega võrreldes paremini soojustatud, sellest on samuti toodud mõned näited. Peale hea soojustuse peavad välispiirded olema minimaalsete külmasildade ja õhuleketega, mis eeldab hästi läbi töötatud sõlmede lahendusi ja hoolikat ehitusaegset järelvalvet.

Piirdetarindid võib jagada massiivseteks ja kergkonstruktsioonideks. Mõlemaid on võimalik suures osas tööstuslikult valmistada. Seda meetodit ka eelistatakse, et viia keerulised tööoperatsioonid ehitusobjektile kontrollitud tehasingimustesse. Nii on lihtsam tagada kvaliteeti, mis eriti madal- ja liginullenergiahoonetes puhul on kriitilise tähtsusega. Tööstuslikult toodetavad välisseinte lahendused ulatuvad kergsõrestikust (külmatakkestusega terasprofiil, puitsõrestik, vt joonis 24) kuni raudbetoonist välisseinapaneelideni, vt joonis 25.

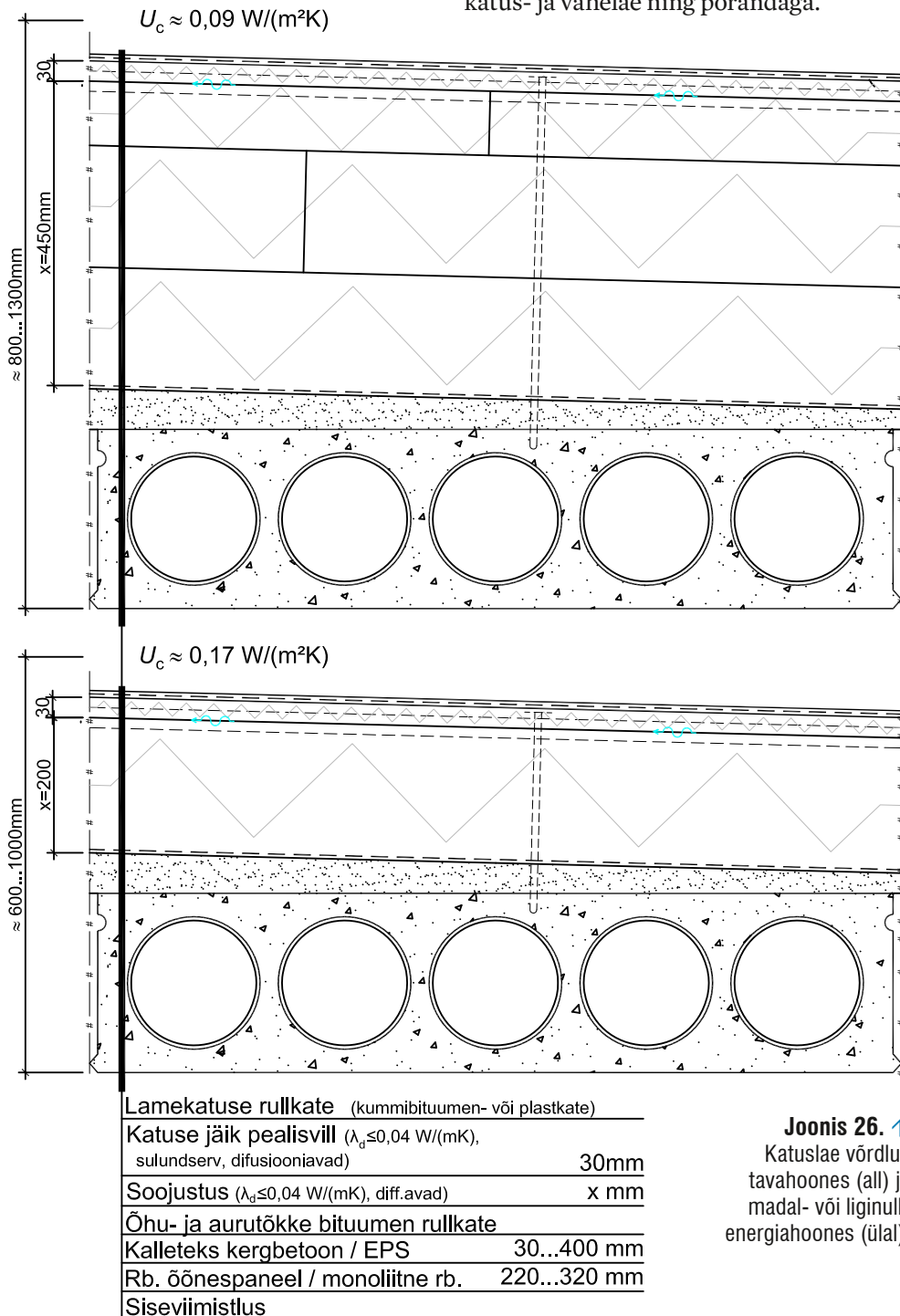
Vajalik soojustuse paksus on madal- ja liginullenergiahoonetes puhul 10–15 cm suurem kui tavahoonetes. See kehtib mitteilamutele, sest rohkemate välispiiretega väikemajades ja väiksemates hoonetes vajatakse paksemat soojustust. Suurusjärgudes võib arvestada välisseina paksuseks 40–60 cm ja katuslaele 80–130 cm. Põrandates ja katustes kasutatakse paksemat soojustust, kuna horisontaaltarindidele on soojustust lihtsam paigaldada ja tarindi paksusel on väiksem tähtsus, vt joonis 42 ja 43.

Peale piirdetarindite lahenduste on olulised ka tarindite liitekohtade lahendused, mis määravad reeglina hoone õhupidavuse taseme ja külmasildadega seotud küsimused. Piirdetarindite soojusläbivuse vähenemisega on külmasildade ja õhulekete osakaal piirdetarindite kaudu toimivas soojuskaos suurenemas. Kriitilisemad ta-

**Joonis 25.** ↓ Raudbetoonist suurpaneelidest välisseina paneeli võrdlus tavahoones (vasakul) ja madal- või liginullenergiahoones (paremal).

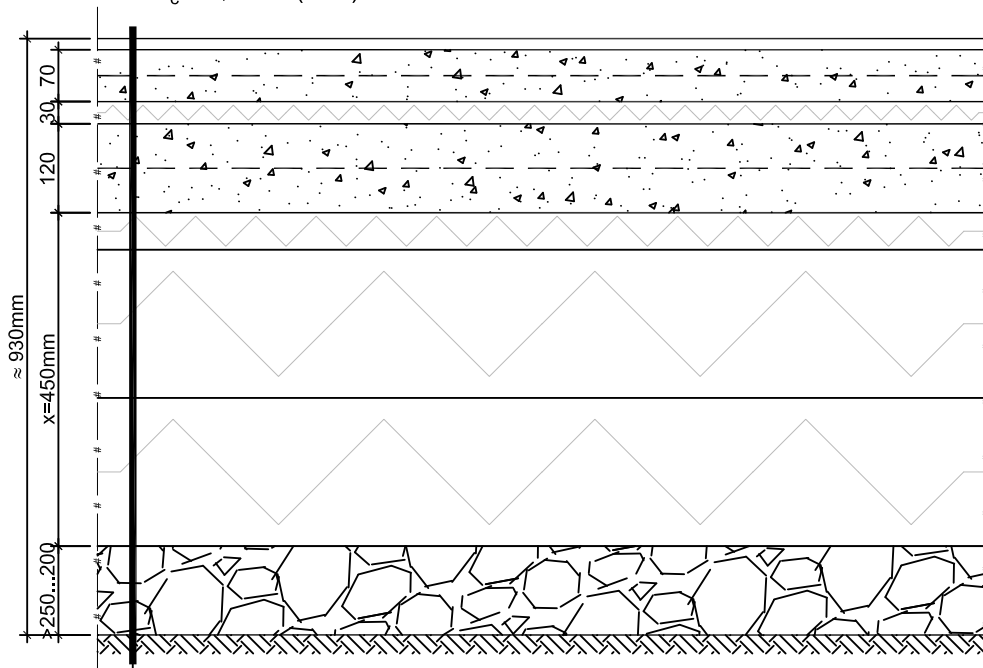


rindite liitekohad, mis tuleb projekteerimise ajal eriti hoolikalt läbi mõelda, on akna ja välisseina liitumine, välisseina liitumine katus- ja vahelae ning põrandaga.

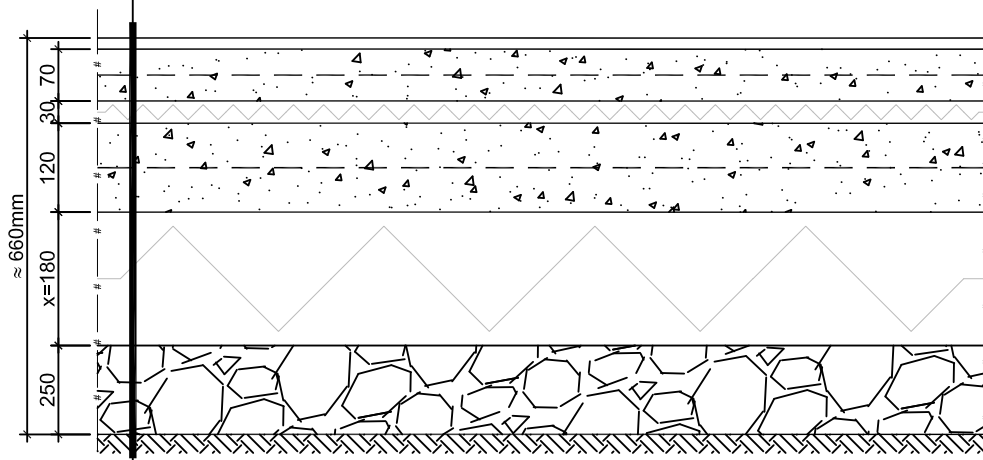


**Joonis 26.** ↑  
Katuslae võrdlus tavahoones (all) ja madal- või liginull-energiahoones (ülal).

$$U_c \approx 0,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$



$$U_c \approx 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$



Põrandakate

Lihvitud r.betoon (põrandaküte selles kihis),

Geotekstiil

Soojustus vahtpolüstüreen ( $\lambda_d \leq 0,04 \text{ W/(mK)}$ ) 30mm

Raudbetoon (kandev plaat pinnasel, paksus vastavalt tugevusarvutustele) ~120 mm

Geotekstiil

Vahtpolüstüreen XPS ( $\lambda_d \leq 0,04 \text{ W/(mK)}$ )

suletud booridega, veeimavus  $\leq 2\%$

x mm

Tihendatud killustik või kruus >250...200mm

Aluspinnas

### Joonis 27. ↑

Pinnasele toetuva põranda võrdlus tavahoones (all) ja madal- või liginull-energiahoones (ülal).

## 5.2 Aknad ja klaasfassaadid

Hoone välisseinad on otstarbekas kavandada aken-sein-süsteemis, kuna tüüpiliselt on sein soojuskaod 3–5 korda väiksemad kui klaasfassaadi läbipaistmatul osal. Aknaid valides on oluline nii aknaraami kui ka klaasiosa soojuslähivus. Vastavalt peatükis 4.2 toodule on päevavalguse seisukohalt otstarbekas valida võimalikult suure valguslähivusega klaasid ning ruumide ülekuumenemist vältida vajaduspõhise päikesevarjastusega.

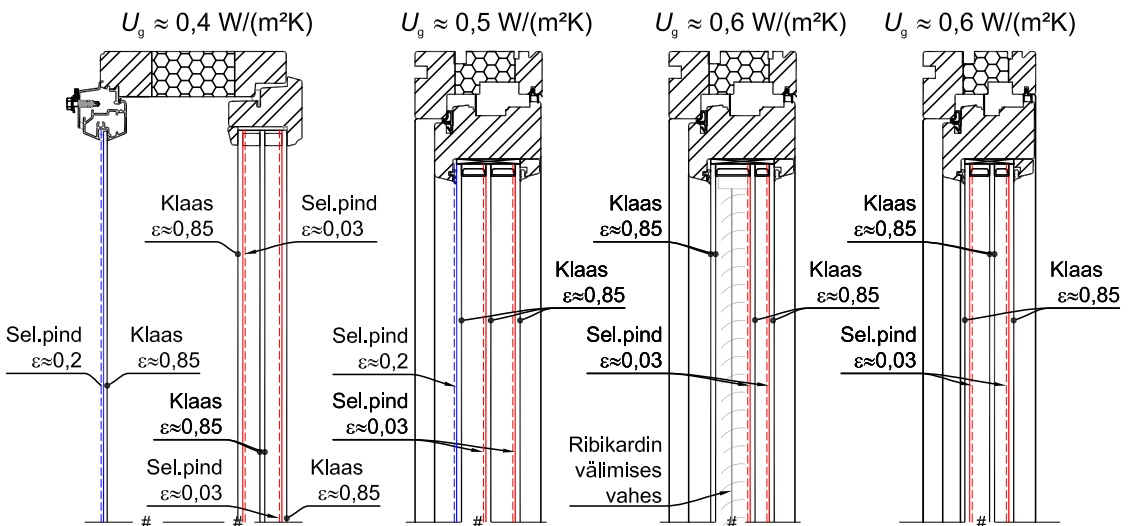
Akende klaasiosa peab madal- ja liginull-energiahoonetes sisaldama vähemalt kolmeklaasilist klaaspaketti, mille mõlemas hermeetilises inertgaasiga täidetud vahes (tavaliselt argoon) on selektiivkate. Pehme selektiivkate, mis löikab umbes 95% soojuskiirgusest, on aldis pinnavigastustele ja seda kasutatakse ainult klaaspaketi sees. Kõva selektiivpinda, mis löikab soojuskiirgusest umbes 80%, võib kasutada klaasi välispinnal, et vältida veeauru kondenseerumist hea soojapidavusega akende välispin-

nale. Näiteid selektiivklaaside asukohast akendes on toodud joonisel 28.

Aknaraami valik mõjutab akna või klaasfassaadi summaarset soojuslähivust eelkõige raami/klaasiosa suhte ja raami soojuslähivuse kaudu. Raamiosa võib moodustada sõltuvalt profiilidest ja akna suuruselt kogu aknast 15–40%. Kuna raami soojuslähivus on ilma erimeetmeteta suurem kui klaasi oma, on hakatud aknaraame kujundama vaate suunas võimalikult kitsana ja sein paksuse suunas võimalikult laia ning soojustatuna. Joonistel 29–32 on toodud valik näiteid energiatõhusate akende raamidest (Gustavsen jt 2007).

Klaasfassaadide juures on oluline, et sisemise ja välimise raamiosa vaheline külmatkestus oleks väikese soojusjuhtivusega, vt joonis 33.

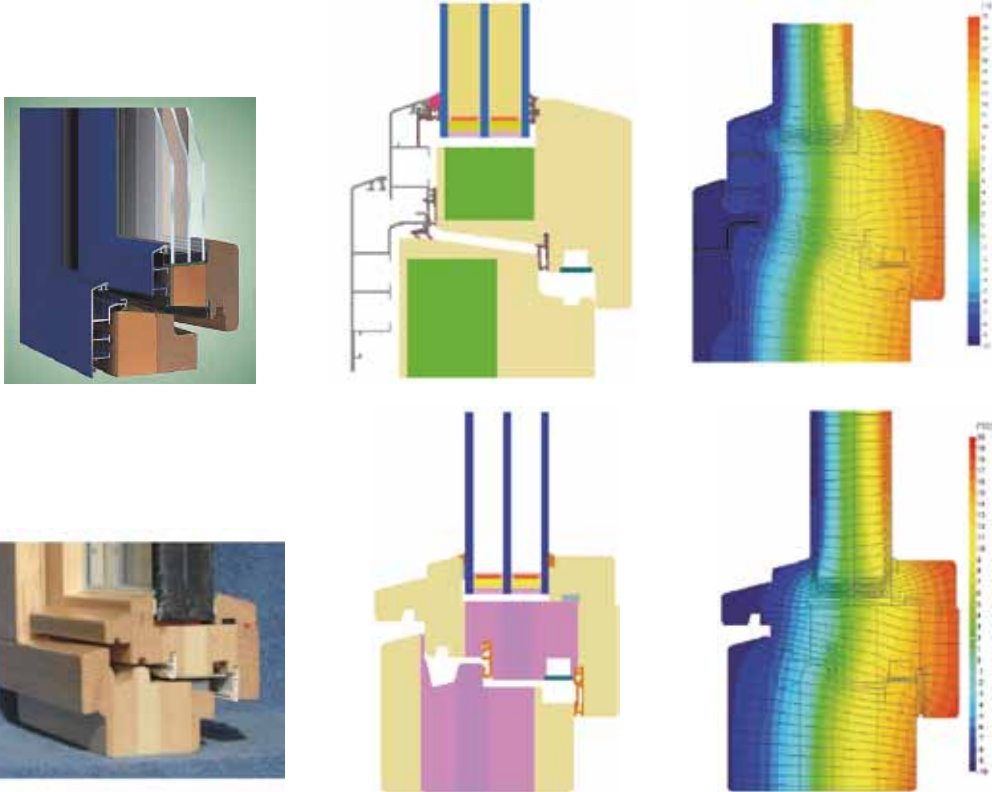
Joonis 28. ↓ Näiteid selektiivklaaside asukohast aknas.



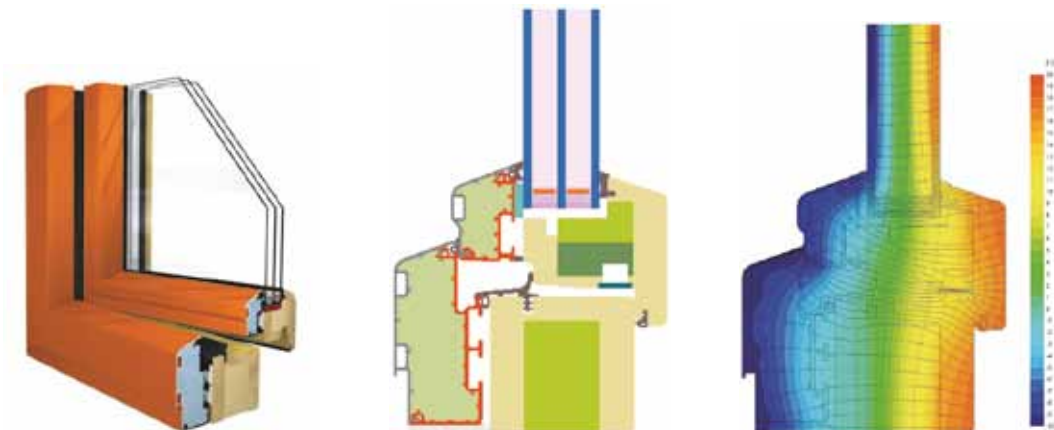
Klaasi pinna emissiivsuse iseloomustus:

- tavaklaas  $\epsilon \approx 0,8 \dots 0,9$
- "kõva" selektiivklaas  $\epsilon \approx 0,15 \dots 0,2$
- "pehme" selektiivklaas  $\epsilon \approx 0,02 \dots 0,05$

**Joonis 29.** ↓ Soojustatud puitraamiga aknad, mille raamiosa  $U_f \approx 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .



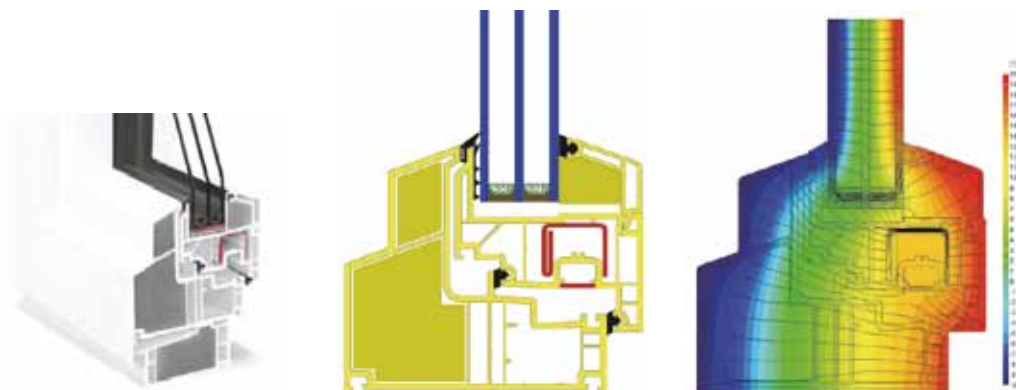
**Joonis 30.** ↓ Soojustatud alumiiniumraamiga kaetud puitaknad  $U_f \approx 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .



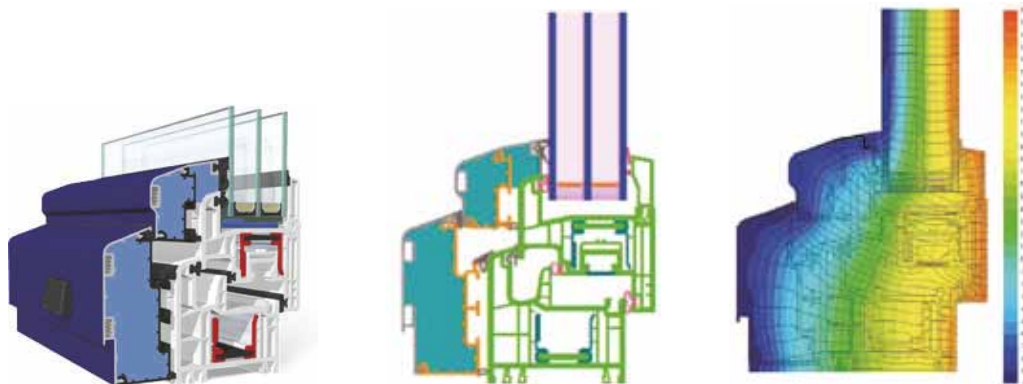
Teoreetiliselt parim soojapidavus akna ühendamisel välisseinaga saavutatakse, kui klaaspakett paigaldatakse ilma raami ja lengita otse soojustuse sisse. Selliseid

hooneid on ehitatud, kuid arusaadavalt on klaaspaketi paigaldus keeruline ja aknad pole avatavad. Seetõttu on otstarbekas “uputada” leng soojustusse, vt joonis 34.

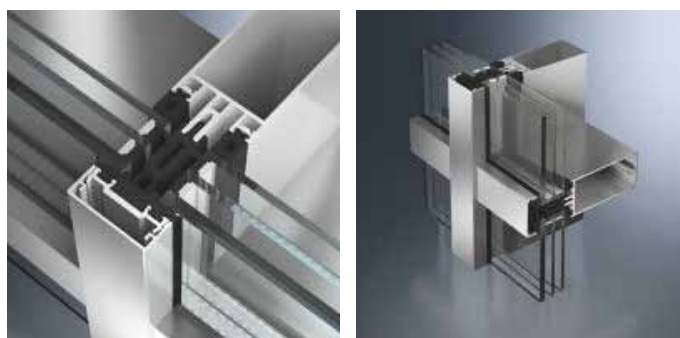
**Joonis 31.** ↓ Soojustatud täidetud plastraamiga aknad  $U_i \approx 0,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .



**Joonis 32.** ↓ Soojustatud alumiiniumraamiga kaetud plastaknad  $U_i \approx 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

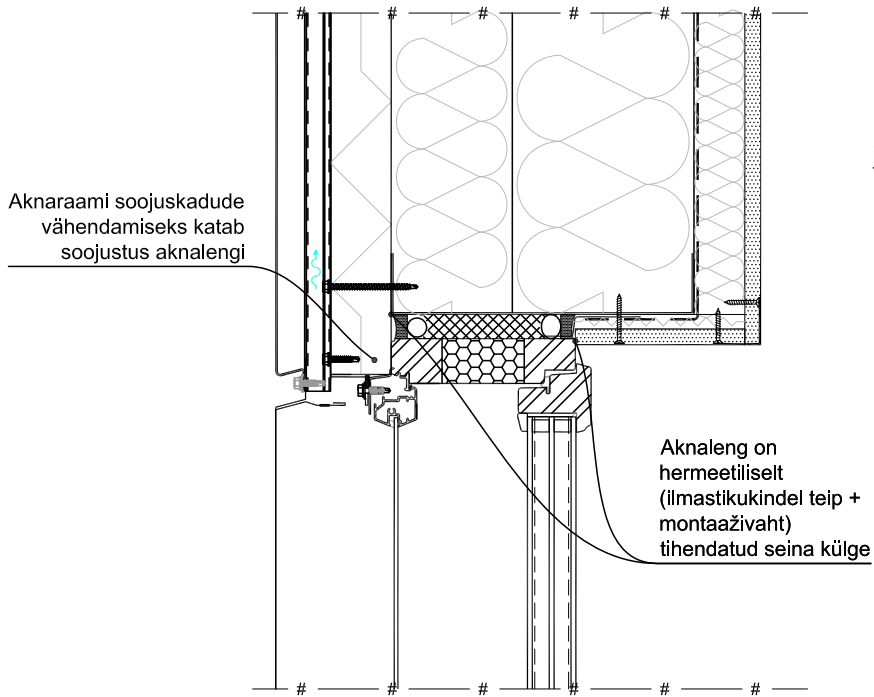


**Joonis 33.** ↓ Näiteid klaasfassaadi profiilidest soojusjuhtivusega  $U_i \approx 0,78-0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

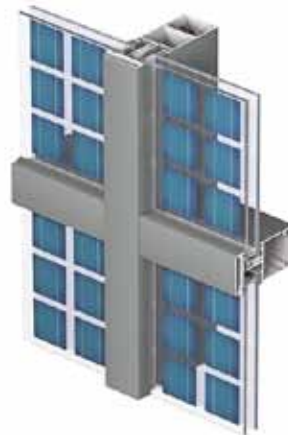


Raamide puudumise tõttu on mitteavatavatel akendel väiksemad soojuskaod kui samaväärsetel avatavatel akendel.

Aknaklaasid ja topeltfassaadid pakuvad lõunapoolsetel seintel mitmeid võimalusi päikesepaneelide integreerimiseks, mõned näited on toodud joonisel 35.



**Joonis 34.** ← Akna paigalduse juures tuleb pöörata tähelepanu raami soojuskadude vähendamisele, külmasilla ja õhulekete vältimisele akna-seina liitekohas.



**Joonis 35.** ← Näiteid klaas- või topelfassaadi integreeritud PV-paneelidest.

**Foto 17.** ↓ Näiteid klaas- või topelfassaadi integreeritud PV-paneelidest.



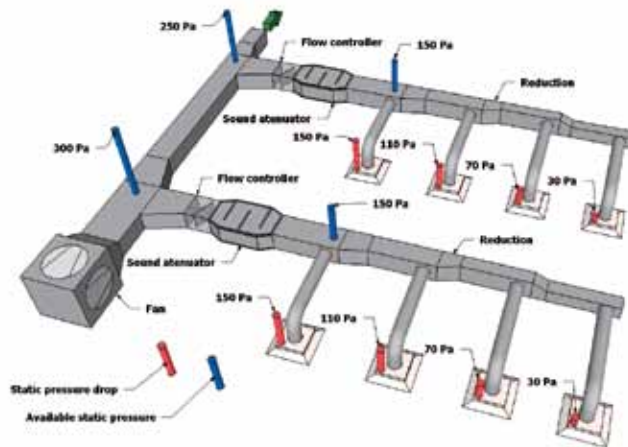
## 5.3 Ventilatsioon ja jahutus

### 5.3.1 Lõppelemendi rõhulangule dimensionimine

Teadaolevalt efektiivseim ja samas ka loomulikum ventilatsioon saavutatakse ventilatsioonikambrite optimaalse paiknemise ja tavapärasest 1–2 järku suuremate ventilatsiooniseadmete ja torustikega, mis on dimensionitud lõppelemendi rõhulangule. Lõppelemendi rõhulangule dimensionimine tähendab, et põhiline rõhulang toimub lõppelemendis, mistõttu pole vaja torustikku tasakaalustada. Eelduseks on, et magistraalitorudes (ventilatsiooniseadmes ja -šahtides) on õhu kiirus piiratud 5 m/s ja korrustel olevas õhujatustorusti-

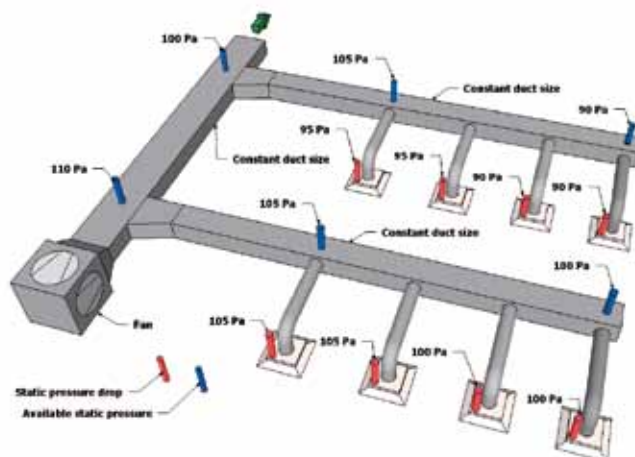
kus 3 m/s ning kogu torustiku staatiline rõhk 120 Pa. Tasakaalustamise vajaduse hoiab ära peale torustiku madala rõhulangule lõppelemendi suur rõhulang, mis on sõltuvalt lõppelemendi tüübist 50–100 Pa. Näiteks jahutustalade puhul on 100 Pa hästi põhjendatud, sest see tagab korraliku sissepuhkeõhu jaotuse ruumis, hoides õhu liikumise kiiruse ruumis kontrolli all. Joonisel 36 on esitatud näide torustiku osa tavapärasest ja joonisel 37 lõppelemendi rõhulangule dimensionimisest.

Lõppelemendi rõhulangule dimensiono-



**Joonis 36.** ←Tavapärase torustiku dimensionimine.

Ristlõikeid vähendatakse vastavalt õhuhulga vähenemisele, süsteem tasakaalustatakse reguleerklappidega ja müra vaigistatakse summutitega. Sinisega on märgitud staatilise rõhu tasemed torustikus ning punasega lõppelementide rõhulangud (REHVA GB No 17).



**Joonis 37.** ←Torustiku dimensionimine lõppelemendi rõhulangule  $100 \pm 10$  Pa.

Ventilatsiooniseadmes, magistraalis ja harudes on nadalad kiirused ning ristlõikeid ei vähendata. Süsteemi pole vaja tasakaalustada, mille tõttu jäävad ära reguleerklapid. Madala kiiruse tõttu ei teki märkimisväärset müra ning summuteid ei vajata.

Sinisega on märgitud staatilise rõhu tasemed torustikus ning punasega lõppelementide rõhulangud (REHVA GB No 17).



nitud süsteemis võivad olla sama õhuhulgaga lõppelemendid samas seades. Kuna rõhulang on võrdelises sõltuvuses õhuvooluhulga ruuduga, siis staatilise rõhu kõikumine torustikus  $100 \text{ Pa} \pm 10\%$  muudab õhuhulki kõigest  $\pm 5\%$  ja  $\pm 20\%$  rõhu kõikumine ligikaudu  $\pm 10\%$  (õhuvooluhulk on võrdeline rõhulangu ruutjuurega). Sellised õhuvooluhulga kõikumised on väikesed, kuna tavapäraste süsteemide tasakaalustamisel aktiveeritakse lõppelementide õhuhulkade kõrvalekaldeid kuni  $\pm 20\%$ .

Kui lõppelemendi rõhulangule dimensioonitud torustikule lisada ventilatsiooniseadmed, mille otsapinnakiirus ei ületa  $1,5 \text{ m/s}$  ja ventilatsiooniseadme rõhulang  $250 \text{ Pa}$ , on saavutatav ventilatsioonisüsteemi erivõimsus SFP umbes  $1,3 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Sellises madala ventilatsiooniseadme ja torustiku rõhulanguga süsteemis märkimisväärset müra ei teki ja rõhud püsivad torustikus üsna konstantsetena, mistõttu ei vajata ei summuteid ega reguleerklappe. Tasakaalustamist mittevajav süsteem peaks vähendama ka ventilatsioonisüsteemide

ekspluatatsiooni probleeme, millest mitetasakaalus olevad süsteemid on ühed levinumad.

Lõppelemendi rõhulangule dimensioonitud süsteemi võib kasutada nii konstantsete õhuhulkade kui ka nõudluspõhise ventilatsiooni korral. Ventilatorite kiirust reguleeritakse mõlemal juhul, et tagada torustikus püsiv staatiline rõhk (nt  $110 \text{ Pa}$  magistraaltorus pärast ventilatsiooniseadet). Kiiruse reguleerimise vajadus tuleneb filtrite rõhulangu muutumisest kasutuse ajal ning ka sellest, et ventilaatoreid on võimalik valida teatud sammuga, mitte täpse süsteemi õhuvooluhulgaga. Levinud on süsteemid, kus kontorites ja büroomaastikel hoitakse konstantset õhuhulka ning nõupidamisruumides ja vastavates juhikatakse õhuvooluhulka temperatuuri ja süsihappegaasi kontsentratsiooni järgi. Õhuhulkade muutmise näiteks ruumijaotuse muutumisel on suure torustikuga süsteemis üsna lihtne kas lõppelemente ümber seadistades, juurde paigaldades või välja vahetades.

## 5.3.2 Jahutus

Üldlevinud ruumiseadmetega, nagu jahutustalad ja -paneelid, süsteemid võimaldavad efektiivset kõrgetemperatuurilisel veekandjal põhinevat jahutust ning ka välisõhuga toimuva vabajahutuse ära kasutamist. Jahutussüsteemi väike energiakasutus saavutatakse peale jahutusvajaduse minimeerimise, kasutades võimalikult kõrge ESEER-jahutusteguriga külma jaama. Jahutustegur näitab, mitu kilovatti jahutusvõimsust või kilovatt-tundi jahutusenergiat toodetakse vastavalt  $1 \text{ kW}$  või  $1 \text{ kWh}$  elektriga.

Külmajaamade efektiivsust mõõdetakse peamiselt kahe jahutusteguriga. EER (*energy efficiency ratio*) on jahutustegur nominaalvõimsusel välistemperatuuril  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  ning jahutusvee temperatuuril  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  ehk siis

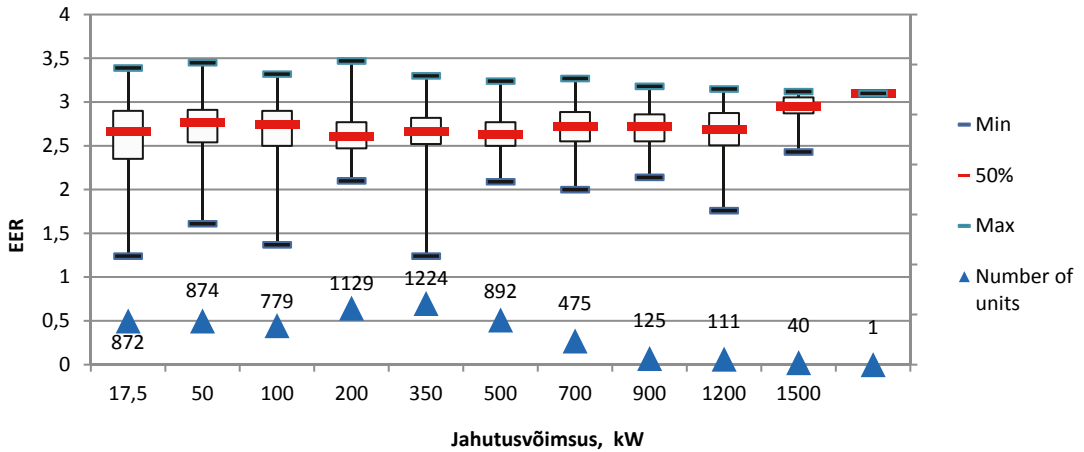
standardtingimustel tööpiirkonna nominaalses punktis, mis kirjeldab tipuvõimsust. Jahutustegur ESEER (*European seasonal energy efficiency ratio*) arvestab seadme tööd osakoormustel, lähtudes tinglikust Euroopa keskmisest jahuti kasutusprofiilist ja -tingimustest, ning pakub hea hinnangu jahuti reaalsele jahutusperioodi keskmisele jahutustegurile. ESEERi koosseisus esitatakse ka täpsed osavõimsuste ( $25, 50, 75$  ja  $100\%$ ) jahutustegurid, mille abil saab arvutada jahutusperioodi keskmise jahutusteguri konkreetse hoone läheteandmetega (jahutusvee temperatuurid ja jahutusvõimsuste ajaline jaotumine). Tabelis 18 on toodud näide ESEER-jahutusteguri arvutamisest.

Koormus %	Välisõhu temperatuur °C	Jahutustegur kW/kW	Käiduaeg %
100	35	$EER_1 = 2,73$	3
75	30	$EER_2 = 3,67$	33
50	25	$EER_3 = 4,21$	41
25	20	$EER_4 = 4,52$	23

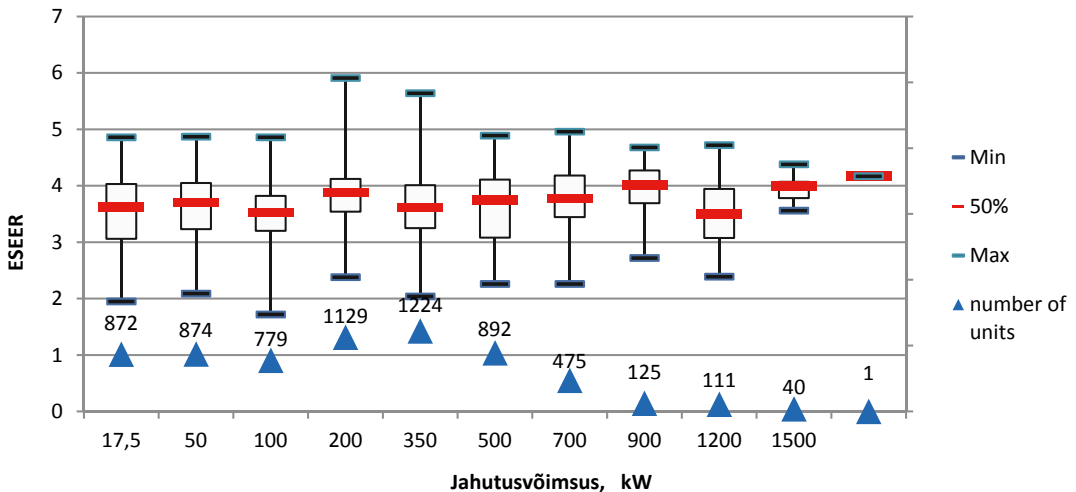
$ESEER = EER_1 \times 3\% + EER_2 \times 33\% + EER_3 \times 41\% + EER_4 \times 23\% = 4,09$

**Tabel 18.** ←Välisõhu jahutusega 600 kW külmaajama jahutustegurid. EERI väärtused on tootja andmed, käiduaeg vastab standardile ja on igas hoones erinev. Jahutusvee temperatuur 7 °C.

**Joonis 38.** ↓Välisõhu jahutusega külmaajamade EER-jahutusteguri jaotus Euroventi andmebaasis, 2010. aastal sertifitseeritud seadmed. Kastide alumine ja ülemine piir vastavad 25% ja 75% esinevusele ehk 50% seadmetest jäävad kasti sisse (Rivière 2011).



**Joonis 39.** ↓Välisõhu jahutusega külmaajamade tegelikku efektiivsust hindava ESEER-jahutusteguri jaotus Euroventi andmebaasis, 2010. aastal sertifitseeritud seadmed. Kastide alumine ja ülemine piir vastavad 25% ja 75% esinevusele ehk 50% seadmetest jäävad kasti sisse (Rivière 2011).



Tavapärase välisõhuga jahutatavate külmajaamade jahutustegurid EER ja ESEER ei arvesta kondensaatori ventilaatorite ega pumpade elektritarvet, mille tõttu on tegelikud jahutustegurid mõnevõrra kehvemad. Kondensaatori ventilaatorite ja pumpade elektritarvet ei arvestata jahutustegurite koosseisu, kuna osa külmajaamu müüakse koos kondensaatoriga ja osa ilma. Selle tõttu on valitud esitusviis, kus isegi terviklikele vedelikjahutusega kondensaatoriga külmajaamadele (*liquid chilling package*) esitatakse jahutustegurid ilma kondensaatori ventilaatorite ja pumpade elektrikasutusest. Need elektrikasutused tuuakse eraldi välja ning nende ja osakoormuste jahutustegurite abil saab arvutada jahutusenergiasimulatsiooni tulemusi, järelkäsitledes projekteeritava hoone tegeliku jahutusperioodi keskmise jahutusteguri.

Euroventi sertifitseerimise andmebaas annab hea ülevaate turul olevate jahutite

efektiivsusest. Euroventi sertifitseerimise programmis osalemine on tootjatele vabatahtlik, kuid eelduseks on kõikides võimsusvahemikes olevate toodete sertifitseerimine. 2010. aastal müüdud välisõhujahutusega külmajaamade jahutustegurid ning sertifitseeritud toodete arv on toodud joonistel 38 ja 39. Parimate jahutite EER küünib 3,5ni ning jahutite jahutusperioodi keskmist jahutustegurit hindav ESEER jääb 2 ja 6 vahele.

Kuna külmajaamade jahutustegurid kõiguvad suures vahemikus, on oluline määrata projektis peale jahutusvõimsuse ja temperatuuride ka ESEERi minimaalne väärtus. Vastasel juhul võib alltöövõtja valida odavama, kaks kuni kolm korda madalama efektiivsusega seadme. Turul olevate seadmete valik võimaldab nõuda ESEER-jahutustegurit 4,5 ning võimsusvahemikus 200–350 kW isegi 5,5. Eurovent jaotab jahutid ja muud seadmed seitsmesse efektiivsusklassi A–G, millest A on parim.

## Kasutatud kirjandus

---

REHVA Guidebook No 17. Design of energy efficient ventilation and air-conditioning systems. REHVA 2012.

Riviere P. (2011). Lot 6: Air-conditioning and ventilation systems. Draft Report Task 1-5. ARMINES – Center of Energy and Processes. 2 May 2011.

Eurovent liquid chilling package program: <http://www.eurovent-certification.com/>

EN 14511-1:2007. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 1: Terms and definitions. European Standard, CEN 2007.

EN 14825:2008. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling - Testing and rating at part load conditions. European Standard, CEN 2008.

## 5.4 Valgustus

Valgustuse põhilahendusena on soovitatav kasutada juhitavaid LED-valgusteid või T5 päevavalguslampe, mis suudavad päevavalgusanduri olemasolul hoida konstantset valgustaset. Nii LEDide kui ka T5-lampide puhul on heade valgustitega võimalik saavutada 5–7 W/m<sup>2</sup> installitud võimsus. Valgustuslahendusena tähendab see kas otseselt (st allapoole) või mõõdukalt ka lae kaudu valgustavaid valgusteid. Energiakasutuse seisukohalt on kõige efektiivsem umbes 2,5 m kõrgusele riputatud otse-  
ne valgusti, kuid tasasem, väiksemate kontrastierinevustega valgustus saavutatakse,

kasutades ka taustvalgustust. Riputatud valgustid ja vabalt paigaldatud jahutustaladesse integreeritud valgustid tagavad kõige paindlikumad lahendused otsese ja taustvalgustuse osas. Näide taustvalgustusega jahutustalade valgustitest ning nende kombineerimisest eraldi seisvate valgustitega on toodud fotol 18.

Peale efektiivse valgusallika on valgus-

**Foto 18.** ↓ Ka jahutustaladesse paigaldatud valgustid (fotodel T5-lampidega) võimaldavad taustvalgustust kasutada. Valgustite toomine laepinnast allapoole vähendab võimsusvajadust.



tuse energiakasutuse seisukohalt oluline nõudluspõhine juhtimine valgusteid sobivalt grupeerides. Parim tulemus saavutatakse juhitavate valgustite ja multianduritega, mis sisaldavad päevavalgus- ja kohalolekuandureid ning valgustuse juhtimiskontrollerit. Päevavalguse maksimaalseks ärakasutamiseks on tähtis ka päikesevarjestus, mis ei pimenda ruume. Horisontaalsete ribide automaatjuhtimise korral tähendab see kas piisavalt täpselt juhitavaid ribisid, mis ei või minna kinni, või perforreeritud ribisid, mis lasevad valgust läbi. Päikesevarjestust on käsitletud peatükis 4.3.

Valgustuse mõju energiatõhususele on analüüsitud tabelis 19 toodud arvutusnäites, kus on läbi arvatud paigaldatud val-

gustuse võimsused 10 ja 5 W/m<sup>2</sup>, valgustuse sisse/välja aegjuhtimine (tabelis *on/off*) ning nõudluspõhine juhtimine päevavalgus- ja kohalolekuanduritega. Energiatõhususarvu tulemused näitavad, et valgustuse suurema võimsuse korral on nõudluspõhise juhtimise mõju oodatult suurem, kuid see püsib olulisena ka väiksema valgustuse võimsuse juures. Parimal juhul on saavutatud energiatõhususarv 111 kWh/(m<sup>2</sup> a), mis ei ole enam kaugel ligi nullenergiahoone nõudest 100 kWh/(m<sup>2</sup> a).

**Tabel 19.** ↓ Valgustuse võimsuse ja juhtimise mõju energiatõhususele. Muud lähteandmed vastavad peatüki 4.3 arvutusnäitele (tabel 15) akende osakaaluga 25%.

	Energiavajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)				Energiakasutus kWh/(m <sup>2</sup> a)				Kaalumis- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	10	5	10	5	10	5	10	5		10	5	10	5
<b>Valgustuse võimsus, W/m<sup>2</sup></b>	10	5	10	5	10	5	10	5		10	5	10	5
<b>Valgustuse juhtimisviis</b>	<i>On/Off</i>		NP		<i>On/Off</i>		NP			<i>On/Off</i>		NP	
<b>Ruumide ja sissepuhkeõhu kütte</b>	24	28	25	29	24	29	25	29	0,9	22	26	23	26
<b>Sooja tarbevee soojendamise</b>	5,8				5,8				0,9	5,3			
<b>Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutus</b>	10	9,3	9,3	8,9	3,9	3,4	3,4	3,2	2,0	7,8	6,7	6,8	6,4
<b>Ventilaatorid ja pumbad</b>	11,6				11,6				2,0	23,2			
<b>Valgustus</b>	16	7,9	12	6,0	16	7,9	12	6,0	2,0	32	16	24	12
<b>Seadmed</b>	18,9				18,9				2,0	37,9			
<b>Summa</b>	<b>86</b>	<b>81</b>	<b>82</b>	<b>80</b>	<b>81</b>	<b>76</b>	<b>77</b>	<b>75</b>		<b>127</b>	<b>115</b>	<b>120</b>	<b>111</b>

## 5.5 Hooneautomaatika

### 5.5.1 Mõisted

- BAC** hooneautomaatika ja juhtimine / *building automation and control*.
- BACS** hooneautomaatika ja kontrollsüsteem / *building automation and control system*.
- BM** hoone juhtimine / *building management*.
- TBM** integreeritud hoone juhtimine / *total building management*.
- BMS** hoone juhtimissüsteem / *building management system*. Süsteem, millel on vähemalt ühte keskandmebaasi server ning püsiv operaatori töökoht. On ühendatud kas otse või üle IP-võrgu ning seob omavahel erinevaid hoone tehnosüsteeme. Kasutatakse ka terminit *building automation and control system* (BACS). Osaliselt samas mõttes kasutatakse ka vähem levinud mõisteid EMS ja EIS.
- EMS** energiajuhtimissüsteem / *energy management system*. Süsteem, mille kaudu on võimalik mõõta, jälgida, juhtida ning prognoosida energiatarbimist hoonetes (võib olla kas hoone- või korrusepõhine).
- EIS** energia infosüsteem / *energy information systems*. Süsteem, mis jälgib EMS-süsteemi ning võimaldab täiendada reaalaaja infot ilmajaama andmete ja energiahinna struktuuriga.
- LAN** kohtvõrk / *local area network*. Objekti piires välja ehitatud füüsiline andmesidevõrk.
- VLAN** virtuaalne kohtvõrk / *virtual local area network*. Virtuaalne andmesidevõrk, mis ühendab seadmeid VPNi kaudu.
- VPN** virtuaalne privaatvõrk / *virtual private network*. Virtuaalne andmevoo segmentimine andmesidevõrgus objektisiseseks või ka -väliseks suhtluseks.
- DNS** domeeninimede süsteem / *domain name system*. Süsteem, mis konverdir hosti- ja domeeninimed koht- või internetivõrkudes IP-aadressideks (TCP/IP-protokollil põhinevad).
- DHCP** dünaamiline hosti konfiguratsiooniprotokoll / *dynamic host configuration protocol*. Tarkvara, mis määrab automaatselt ajutise IP-aadressi kliendi seadmele, kes logib sisse IP-võrku.
- SNMP** lihtne arvutivõrgu jälgimise protokoll / *simple network management protocol*. Laialdaselt levinud võrgu seire ja juhtimise protokoll.
- SMTP** lihtne meiliedastusprotokoll / *simple mail transfer protocol*. Standardne e-kirjade protokoll.
- SCADA** automatiseeritud dispetšerjuhtimissüsteem / *supervisory control and data*. Programmsüsteem, mis jälgib ja juhib nt hoonete tehnosüsteeme.
- HMI** inimene-masin-liides / *human machine interface*. Esitab SCADA informatsiooni operaatorile, kes saab HMI-süsteemi kaudu jälgida ja juhtida objekti.
- DALI** digitaalsel juhtimisel põhinev intelligentne valgustuse juhtimise süsteem / *digital adressable lighting interface*.

## 5.5.2 Hooneautomaatika seos hoone muude tehnosüsteemidega

Hoone automaatika- ja juhtimis-süsteemid on hoonete “aju”. Neisse on koondatud informatsioon kogu hoone tehnoseadmetest ja ka tarbimisandmed. “Aju” juhib kütte- ja jahutussüsteeme, ventilatsiooni ja konditsioneeride, valgustust, kardinaid ja markiise, pimendamist, aga ka tule-tõrjesignalisatsiooni ja turvasüsteeme ning lokaalseid energiatootmissüsteeme. Hoone automaatika- ja juhtimissüsteem ning tehnilise haldamise juhtimine (TBM) mõjutavad hoone energiatõhusust paljudest aspektidest. BACS pakub efektiivset automaatikat ja juhtimist kütte, ventilatsiooni, jahutuse, sooja tarbevee, valgustuse jne osas, säästes halduskuludelt ja viies energiatõhususe suurenemiseni. Komplekssed ja integreeritud energia säästmise funktsioonid ning rutiinid saab häälestada hoone tegeliku kasutamise järgi sõltuvalt kasutaja vajadustest, vältimaks ebavajalikku energiakasutust ja CO<sub>2</sub> emissioone. Hoone haldamine (BM), eriti aga TBM, annab informatsiooni hoonete kasutamiseks, hool-

damiseks ja haldamiseks.

Eriti vajalikuks osutub nn energiahaldus, mis võimaldab avastada ja anda märku liigsest energiakulust. Hoone “aju” on võtmeks energiatarbimise ja haldamiskulude efektiivsel juhtimisel. Hoone automaatika- ja juhtimisfunktsioonid tuleb valida vastavalt hoone kasutamise efektiivsusele. Antud peatüki eesmärgiks on selgitada hoone automaatika- ja juhtimissüsteemide olemust, tõstmaks teadlikkust energia efektiivsest kasutamisest, ja anda lühiülevaade sellest, milliste meetoditega on energiasääst saavutatav. Samuti käsitletakse Euroopa Liidu standardit EN 15232, mis annab piisava ja üldarusaadava aluse, et kõik ehituse ja kinnisvara arenguga seotud osapooled saaksid energiasäästust rääkida ühist keelt kasutades.

Suurima energiatõhususe ja mugava sisekliima saavutamiseks on automaatika põhimõttelised funktsioonid otstarbekas kokku leppida selle kavandamise varases faasis.

## 5.5.3 Hooneautomaatika ülesanded ja võimalused

Energiasäästu ei saa taotleda iga hinna eest ja vahendeid valimata. Igal hoonel on oma otstarve, seal töötavad inimesed peavad olema kindlustatud optimaalse sisekliimaga ja neile peab olema tagatud maksimaalne ohutus. Automaatika ülesanne on kindlustada optimaalne sisekliima maksimaalse energiatõhususe ja töökindlusega. Ka hoones asuvate materiaalsete väärtuste säilimise kaitsmine kuulub hooneautomaatika valdkonda. Euroopas on ajalooliselt BACS alguse saanud peamiselt sisekliima juhtimisest ning alles viimastel aastakümnetel on tänu arvutustehnika arengule hakanud lisanduma muud hoone funktsionaalsused, valve, juurdepääs, tuleohutustemaatika jne. Töökindlus ning hoolduse ja remondi võimalikult kiire ning

kvaliteetse teostamise vajadus koos nn investeeringukaitsega on samuti oluline osa BACSi valikutest.

Põhimomendid BACSi valikuks ja toimimiseks:

- saavutada optimaalne sisekliima minimaalse energiakuluga;
- integratsioon erinevate hoone tehnosüsteemide ühildamiseks ja funktsioonide lisamiseks peab põhinema analüüsil, mis arvestab üldist säästupotentsiaali, et saavutada madalat energiatarvet täpse ja adekvaatse juhtimisega (*low-consumption, accurate control*);
- valitud BACS peab võimaldama laiendamist, moderniseerimist ning sidet hoolduseks, jälgimiseks ning operatiivseks juhtimiseks, kasutades avatud kommunikat-

siooniprotokolle, et süsteem oleks liidetav erinevate struktuuridega;

- automaatika kui tervik peab võimaldama operatiivset juhtimist, otsuseid peab saama kiiresti ellu viia;
- peab olema tagatud inimeste ohutus ja tehnika ning materiaalsete väärtuste kaitse;

- süsteem peab ühilduma hoonega seotud kontsernipõhiste tarkvaralahendustega, nagu näiteks hooldustegevuste koordineerimine jne;
- juhtimisarvuti peab teatud intervalliga tegema andmebaasist *backup*-koopiaid;
- süsteeme tuleb regulaarselt hooldada.

## 5.5.4 Hooneautomaatika seos sisekliimaga

Hoonete sisekliima parameetrid on määratud tellija lähteülesandega, soovitatavalt vastavalt standardile EVS-EN 15251:2007. Sisekliima tagamise süsteemid peavad olema kavandatud nõnda, et fikseeritud väärtused oleks tagatavad.

Suurim energiasääst saavutatakse sellega, et hoitakse võimalikult täpselt teoreetilist reguleerimisalgoritmi. Automaatika peab toimima adekvaatselt ja juhtimine täpselt. Reageerimiskiirus peab vastama vajadusele. Juhtimine peab kõikumisi vältima või hoidma kõik kõikumised tehniliselt minimaalsel võimalikul tasemel.

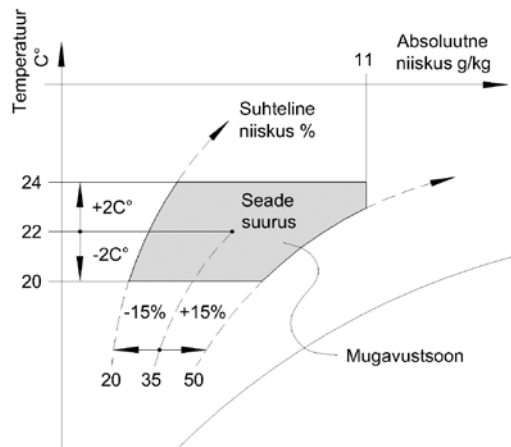
Kui süsteem on liidetud keskujuhtimisega, on võimalikud ka ennetavad toimingud, mis tõstavad reguleerimistäpsust veelgi, vähendades sellega ka energiakulukust: näiteks küttegaafiku korrigeerimine ilmaprognoosi alusel jne. Oluline kokkuhoid saavutatakse sellega, et kõik hoone tehnosüsteemid töötavad sünkroonis. Teine kokkuhoid on reguleerimisel hoida mugavusparameetreid vastavana tegelikule vajadusele.

Näiteks joonisel 40 on kujutatud mugavustemperatuurina 22 °C ning see tohiks kõikuda 20 ja 24 kraadi vahel. Analoogilised normeeritud piirid on ka õhu kvaliteedile. Temperatuurid 20 °C ja 24 °C vastaksid kütmise ja jahutamise alustamiseks. Kui selline  $\pm 2$  kraadine kõikumine vastab kasutaja soovidele ja vajadustele, ongi selle tagamine hooneautomaatika ülesanne. Kui hoone selles osas puudub jahutus, ei ole näiteks temperatuuri ülemine piir kontrol-

litav. Kui küttesüsteemis on radiaatoritel käsiseadega termostaadid, on temperatuur seatav kohapeal, ent tsentraalne muutmise ja jälgimise võimalus puudub. Kui ventilatsiooniseade pole varustatud õhuniisutus-seadmetega, pole ka ruumiõhu niiskust juhitav jne. Käesolev näide käib temperatuuri kohta, ent samasugused on võimalused ka suhtelise niiskuse ja õhu kvaliteedi (CO<sub>2</sub> ja/või VOC sisaldus õhus) reguleerimisel. See tähendab, et hooneautomaatikale ei saa seada ülesandeks reguleerida reguleerimatut, mis omakorda põhjustab olukorra, et reguleerimatu süsteemi puhul pole võimalik taotleda energiatõhusust ja süsteemi töö optimeerimise võimalusi.

Tänapäeva automaatika võimaldab programmiselt (kui BACS on välja ehitatud, siis ka tsentraalse käsuga kogu maja jaoks) seada temperatuuri ja ka muude parameetrite piirkonda muuta nii vähenemi-

**Joonis 40.** ↓ Sisekliima parameetrid hx-diagrammil.





se kui ka suurenemise poole. Piirkonda saab muuta igas ruumis või tsoonis, kus kõnealne juhtimine on teostatav. Tasub meeles pidada, et teostamiseks peavad HVAC-reguleeriviitid, VAV- ja CAV-klapid, *fan-coil*'d vms olema ka tegelikult BAC-Siga ühendatavad. Kui jahutust pole, ei saa automaatika ka selle eest vastutada. Ka tasub arvestada levinud projekteerimispõhimõtet, mille järgi dimensioonitakse nt jahutussüsteemid selliselt, et mugavustemperatuur ruumis tagatakse kuni teatud välistemperatuuri ja suhtelise niiskuse väär-

tuseni. Kui võimsust jätkub  $+27\text{ °C}$  ja  $\psi = 50\%$ , ei piisa seda välisõhu olekus  $+31\text{ °C}$  ja  $\psi = 70\%$ .

Kui hoones puudub BACS, tasub rõhku panna sellele, et kontrolleri paigaldamisel oleks kontrollerial võrguühenduse võimalus. Süsteemi hilisema laiendamise juures on võimalik kontrolleri siduda hooneautomaatikasüsteemi. Kui ühendusvõimalus puudub, tuleb paigaldada uus kontrolleri BACSi ühendamise jaoks: võrguühendusega kontrolleri on tavalisest marginaalselt kallim.

### 5.5.5 Hooneautomaatikasüsteemide ülesehitus

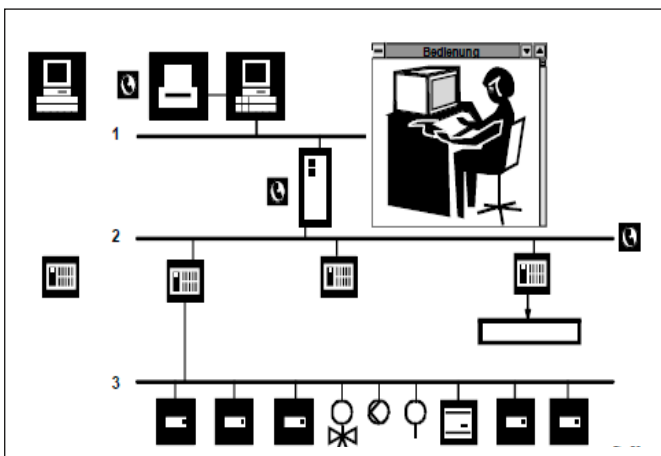
Hooneautomaatika on keskjuhtimisega süsteem, mis juhib, jälgib ja optimeerib sisekliima tagamise süsteemide ja muu hoone kasutusmugavuse ning turvalisusvarustuse toimimist. Reeglina on erinevad tehnosüsteemid ühendatud ja interaktsioonis ning energia tarbimise optimeerimine ja mõõtmine on teostatav. Kasutatakse vabalt programmeeritavaid (DDC, *direct digital control*, aga ka vabalt konfigureeritavaid) seadmeid ning juhtimiskeskus on PC baasil. Riistvaraliselt on struktuur vähemalt kolmeastmeline, vt joonis 41.

Joonisel 41 toodud juhtimistasandid tähendavad alljärgnevat.

- Juhtimistasand (1) sisaldab juhtimiseks arvutit või arvuteid, milles juhitakse, jälgi-

takse, kogutakse mõõteseadmete näite ja analüüsitakse neid, võetakse vastu veateateid, analüüsitakse ja edastatakse neid, jälgitakse hooldusvälpi, koostatakse raporteid ning fikseeritakse kõik muudatused süsteemis. Koostatakse trendid, võimaldamaks analüüsida tegelikke parameetreid, sünkroniseeritakse erinevad ajakavad ja seadeparameetrid ning neile vastavad töörežiimid. Kasutatakse visualiseerimist, hõlbustamiseks tegelikku juhtimist ja juhtimisotsuste vastuvõtmist. Juhtimiskeskuses on printer ja välisühendusi võimaldavad seadmed. Juhtimiskeskus võib olla erinevatele hoonetele ühine ja paikneda mujal.

- Automaatikatasand (2) sisaldab reguleerimise ja juhtimiselemente nn alakeskustes ja teenindatavate tehnosüsteemide juures. Selle taseme seadmed töötavad autonoomselt edasi ka tingimustes, kus keskjuhtimi-



Joonis 41. ← Hooneautomaatika juhtimissüsteemi hierarhiline struktuur.

- 1 Juhtimistasand
- 2 Automaatikatasand
- 3 Platsitasand

ne ei toimi. Reeglina on neile hoolduseks ja juhtimiseks võimalik ligi pääseda üle võrgu. Kasutatakse nn modulaarset ehitust, mille puhul on võimalik sisendeid/väljundeid vastavalt vajadusele lisada või muuta. Kasutatakse ka nn kompaktsid kontrolleereid. Andmed ja seadeparameetrid, mis edastatakse üle võrgu teiste alamsüsteemide ja keskse juhtimise jaoks, valitakse optimaalses mahus.

- Platsitasand (3) sisaldab andureid ja mõõteseadmeid, ruumi- ja tsooniregulaatoreid, lülitusseadmeid, reguleerventiile, klappe koos vastavate täiturmootoriga, sagedusmuundureid jne.

### 5.5.6 Andmeedastus, võrgud

Kommunikatsioon juhtimis- või automaatikasemest väljapoole lahendatakse enamasti internetti kasutades. Interneti kaudu ligipääsetavate lahenduste korral ei tohi unustada turvalisust. Vajalik on VPN.

Juhtimiseks on palju võimalusi ka nn *remote desktop*'i kasutades. *Remote desktop*'i puhul on ligipääs kogu arvutile. Õigem oleks tavakasutajale teha ligipääs li-saveebiliidese kaudu.

Üle veebi BACSi erinevatele tasemetele sissepääsuks koos õiguste ulatuse valikuga on erinevaid võimalusi, millest saab valida sobivaima, vt joonis 42.

Kõigi ehitusautomaatika juhtimissüsteemide pikaajalise eduka töö ning kasutajate vajadustest johtuvate muutuste hõlpsa teostamise eelduseks on juhtimisel avatud

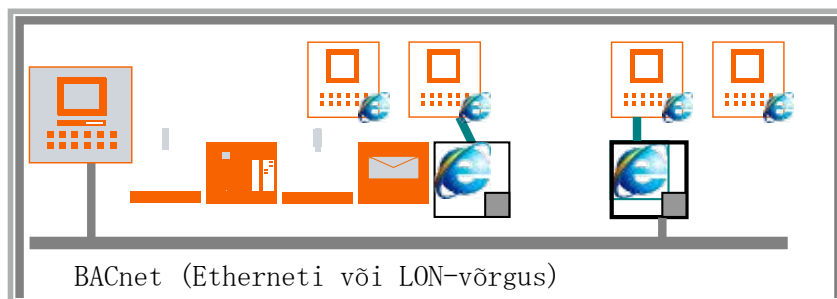
Tänapäeva trendiks on, et ülespoole juhtimistaset on lisandumas veel üldisem ja totaalsem juhtimistase, mis haldaks mitmeid hooneid ja linnu, võimaldades valida kõige optimaalsemaid energiaallikaid (*smart grid*), ning teiselt poolt oleks võimaline raamatupidamisele edasi andma andmeid konkreetse sündmuse või vea arvestamiseks. *Smart grid*'i all mõeldakse elektrivõrku, mis intelligentselt integreerib selle külge ühendatud kasutajate omadused ja käitumise – tootjad, tarbijad ja need, kes teevad mõlemat –, tagades tõhusalt säästliku, majanduslikult efektiivse ja kindla elektrivarustuse.

ja standardsete protokollide kasutamine.

Kõigi laienduste ja muudatuste tegemiseks on lai valik sõlmede-komponentide ning hoolduse pakkujaid. Levinuimad on BACnet (Etherneti või LON-võrgus), LON, KNX, Modbus. Suurte juhtimissüsteemide osad saavad olla ka teiste avatud protokollidel põhinevate platsiseadmete, nagu M-Bus, DALI ja KNX, osad. Ka üle veebi on võimalik juhtida ning monitoorida.

Eri tootjate tehaseelise valmidusega üle veebi juhitavaid seadmeid (parempoolne ala skeemil) ei tasu kasutada, sest terviklik lahendus ja ka ülevaade juhitavast ning tegelikkusest ei ole reeglina eri veebiserveritest vaadatuna võimalik. Hoone energiakulukuse ja kasutusmugavuse määrab ikkagi kompleksne juhtimine.

Interneti kasutamise levik on võimalik



Joonis 42. ←  
BACSi välis-  
ühendused.

kuks teinud ka lahendused, milles on loobutud objekti juhtimisarvutist, ning veebiserver annab BACSi asendades võimaluse juhtida ja jälgida juhtimisarvutit nii koduvõrgust kui ka üle interneti. Lahenduse miinuseks on internetiprobleemide korral süsteemi juhtimise ja jälgimise häired. Suurtel süsteemidel on heaks tavaks kohapealne arvuti koos veebiliidese-ga ning väikestel tavalahendusega süsteemidel veebiserver. Kasutada tuleks VPN-ühendust.

Hoone automaatikasüsteem on vaja üles ehitada selliselt, et oleks tagatud süsteemi kaughaldus tavalise veebipõhise rakenduse kaudu või kohalikku LAN-võrku ühendatud arvuti abil. Kõikidest süsteemis toimunud häiretest antakse automaatselt e-posti või SMSi vahendusel teada.

Selleks et hooneautomaatika saaks toimida, on vaja, et andmehõive ja juhtimis-signaalide edastamine süsteemis toimuks tõrgeteta ja vajalikus mahus. Kõrgemale tasemele edastatavat informatsiooni on otstarbekas filtreerida, vältimaks võrgu liigset koormamist.

#### **Kõige levinumad avatud kommunikatsiooniprotokollid:**

- **BACnet™** ([www.big-eu.org](http://www.big-eu.org)). Selle arendajaks on ASHRAE. Eesmärgiks on just hoonete kompleksne juhtimine. Protokoll on tarkvarapõhine, ei ole seotud füüsilise kandjaga, ei vaja litsentsimist IP-kommunikatsiooni kasutamisel. BACnetil on palju tarnijaid üle maailma. Katab kõik BACSi vajadused ja on algselt erinevate tehnosüsteemide jaoks ühtlustatud ning kindlustab nende hõlpsa ühildamise.
- **LonWorks®** ([www.lonmark.org](http://www.lonmark.org)). Selle on loonud Echelon® Inc. (LonTalk® protocol), 1990. aastast standardimisel, katab kõik BACSi vajadused.
- **Konnex** ([www.knx.org](http://www.knx.org)). Standarditud, *point-to-point*-kommunikatsioon, millel on üle 200 tootja ja tuhandeid sertifitseeritud tooteid. Eriti levinud elektriseadmete juhtimisel. Tarkvarapõhine, andmekandjaks

on TP, PL, RF ja IP, levinud Euroopas ja palju treeningkeskusi. Suurte süsteemide puhul võib jääda kohmakaks ja aeglaseks.

#### **Vähem levinud kommunikatsiooni-standardid:**

- **DALI** (*digital addressable lighting interface*) ([www.dali-ag.org](http://www.dali-ag.org)). Levinud lahendus valgustuse juhtimiseks.
- **M-Bus** (*Meter-Bus*) ([www.m-bus.com](http://www.m-bus.com)). Enam levinud mõõteseadmete jaoks.
- **Modbus** ([www.modbus.org](http://www.modbus.org)). Avatud standardprotokoll tööstusele.
- **OPC** (*standardized software interface*) ([www.opcfoundation.org](http://www.opcfoundation.org)). *Software interface defined in process automation*.
- **SMI** (*standard motor interface*) ([www.smi-group.com](http://www.smi-group.com)). Spetsiifiline kardi-nate ja markiiside juhtimiseks.
- **Veeb**: IT standardtehnoloogia.

Suuremate hoonete puhul on levinud ja ennast õigustanud BACnet™, LonWorks® või KNX, kombineeritult teiste protokollidega spetsiifiliste ülesannete lahendamisel. Nii sobivad KNX ja DALI valgustuse ning sisekliima juhtimiseks hooneosades, jättes operatiivse info, mida keskjuhtimine ei vaja, konkreetse tsooni sisse. M-Busi kasutatakse kõige rohkem mõõteseadmetes. Juhtimisfunktsioonideks sobib see vähem.

Üldiselt võimaldavad BACnet™ ja LonWorks® juhtimistasandil integreerida ka kõiki teisi standardsete protokollidega seadmeid, ent parim tulemus ja investee-ring saavutatakse, kui analüüsida, milline kombinatsioon on optimaalsem, ka investeeringust lähtudes. Praktikas, kus ehitaja eelistab tehasespetsiifilisi ja ehk ka odava-maid lahendusi, võib süsteemi kui terviku funktsionaalsus ja töökindlus langeda, sest vajatakse lisaseadmeid (konverteereid) ning tuleb juurde inimlik faktor eri tootjate ja protokollide loogilisel ühendamisel. Vabalt programmeeritavate kontrolleri-te puhul seisneb probleem arendaja tasemes, sest ta kirjutab programmi ka kogemata vigu sisse.

## 5.5.7 Hooneautomaatikasüsteemide kavandamine – standard EN 15232

Standard EN 15232 on loodud, et ühendada, teha arusaadavaks ja metoodiliselt kirjeldada seda mõju, mis on vastastikku hoone tehnosüsteemidel (TBM) ja hoone automaatika- ja kontrollsüsteemi (BACS) mõju hoone energiatõhususele. Olles kasutatav nii uute kui ka olemasolevate hoonete puhul, annab see kompleksse aluse, valimaks automaatika- ja juhtimissüsteemi, lähtudes selle funktsionaalsusest ning saavutatavast energiasäästust. Ühendades erinevaid distsipliine, annab see ülevaate hoone energiatõhususest. Samuti si-

saldab standard nn lihtsustatud arvutusmeetodit ning üldarusaadavaid funktsioonide kirjeldusi. Välja on ka töötatud automaatika energiatõhususe klassifikatsioon, mis annab indikatsiooni automaatikalahenduste võimalikust mõjust energiatõhususele, vt tabel 20. Uute hoonete puhul on relevantssed tasemed A ja B. Energiatõhususe klassidele vastavad lahendused on toodud tabelis 21.

**Tabel 20.** ↓ Hooneautomaatika energiatõhususe klassifikatsioon.

Mitteeluruumidega hoonete tüübid	BACi energiatõhususe soojusfaktorid			
	D	C	B	A
	Mittetõhus	Standard	Suurendatud tõhusus	Kõrge tõhusus
Bürood	1,51	1	0,80	0,70
Loengusaalid	1,24	1	0,75	0,5 a
Restoranid	1,23	1	0,77	0,68
Müügipinnad	1,56	1	0,73	0,6 a
Mitteeluruumidega hoonete tüübid	BACi energiatõhususe elektrienergia faktorid			
Bürood	1,10	1	0,93	0,87
Loengusaalid	1,06	1	0,94	0,89
Restoranid	1,04	1	0,96	0,92
Müügipinnad	1,08	1	0,95	0,91
Teised tüübid		1		

### Kasutatud kirjandus

Hoonete automaatika- ja kontrollsüsteemide standardid:

EN ISO 16484-2 Hoone automaatika- ja kontrollsüsteemid (BAC) / Osa 2: Seadmed

EN ISO 16484-3 Hoone automaatika- ja kontrollsüsteemid (BAC) / Osa 3: Funktsioonid

EN ISO 16484-5 Hoone automaatika- ja kontrollsüsteemid (BAC) / Osa 5: Andmesideprotokoll – BACnet Sideprotokollide standardid, enim kasutatavatele:

EN ISO 16484-5 /-6-BACnet

EN 14908-1 .. -6-LonWorks

EN 50090 ja EN 13321 – KNX

EN 15232 Hooneautomaatika ja juhtimise mõju hoone energiatõhususele

(Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management)

Tabel 21. ↓Energiaühenduse klassidele vastavad lahendused.

KÜTTE KONTROLL, - esitatud osaliselt		Mitteeluruumid			
		D	C	B	A
<b>Emissiooni kontroll</b>					
	Kontrollsüsteem on paigaldatud emitterisse või ruumi tasemele, juhtumil 1 võib üks süsteem kontrollida mitut ruumi				
0	Automaatne juhtimine puudub				
1	Tsentraalne automaatne juhtimine				
2	Individaalne ruumi automaatne juhtimine termostaadi või elektroonilise kontrolleri abil				
3	Individaalne ruumide automaatne juhtimine ühendust pidavate kontrolleri ja BACSi abil				
4	Integreeritud individaalne ruumi kontrolli süsteem k.a. juhtimine nõudmise peale (hõivatuse, õhukvaliteedi jne peale)				
JAHUTUSE KONTROLL, - esitatud osaliselt		Mitteeluruumid			
		D	C	B	A
<b>Emissiooni kontroll</b>					
	Kontrollsüsteem on paigaldatud külma tootva seadme juurde või ruumi tasemele, juhtumil 1 võib üks süsteem kontrollida mitut ruumi				
0	Automaatne juhtimine puudub				
1	Tsentraalne automaatne juhtimine				
2	Individaalne ruumi automaatne juhtimine termostaadi või elektroonilise kontrolleri abil				
3	Individaalne ruumide automaatne juhtimine ühendust pidavate kontrolleri ja BACSi abil				
4	Integreeritud individaalne ruumi kontrolli süsteem k.a. juhtimine nõudmise peale (hõivatuse, õhukvaliteedi jne peale)				
VENTILATSIOONI JA ÕHU KONDITSIONEERIMISE KONTROLL, - esitatud osaliselt		Mitteeluruumid			
		D	C	B	A
<b>Õhuvoo juhtimine ruumi tasemel</b>					
0	Juhtimine puudub				
1	Käsijuhtimisega				
2	Ajakava järgi juhtimine				
3	Viibimist, kohalolekut arvestav juhtimine				
4	Juhtimine vastavalt vajadusele				
VALGUSTUSE KONTROLL, - esitatud osaliselt		Mitteeluruumid			
		D	C	B	A
<b>Ruumis viibimise arvestamisega juhtimine</b>					
0	Käsitsi lülitatavad lülitid				
1	Käsitsi lülitatav lülitid ja lisaks automaatne väljalülitussignaali				
2	Automaatne sisse/hämaraks				
3	Automaatne sisse/välja				
4	Käsitsi sisse/hämaratud				
5	Käsitsi sisse / automaatselt välja				
<b>Päevavalgust arvestav juhtimine</b>					
0	Käsitsi				
1	Automaatne				

## 5.6 Lokaalne taastuvenergia

Büroohoonetes taandub lokaalne taastuvenergia suures osas soojuspumpadele ja päikesepaneelidele, kuna päikese-kollektoritel ei ole märkimisväärset kasutusotstarvet sooja tarbevee vähese kasutuse tõttu ning lokaalsed tuulikud ei paku hoonete kõrgusel nimetamisväärset tootlust. Samuti kuuluvad taastuvenergia alla kaugküttes kasutatavad taastuvkütused, mis on arvesse võetud kaugkütte energia-kandja kaalumisteguris.

Käesolevas osas on esitatud lühiülevaade turul pakutavate päikesepaneelide (PV-paneelide) tehnilistest andmetest, nende

võrdlusest ja tootlikkuse hinnangust hoo-ne eri tasapindadel. Samuti kirjeldatakse tüüpilisi PV-paneelidega elektripaigaldiste lahendusi.

Päikesepaneelidega toodetud elektri mõju energiatõhususele on analüüsitud tabelis 22 toodud arvutusnäites. Hoone katuse vaba varjestamata pind on kaetud päikesepaneelidega, mille tootlus on paranda-

**Tabel 22.** ↓Päikesepaneelide mõju energiatõhususele. Muud lähteandmed vastavad peatüki 5.4 arvutusnäitele (tabel 19) akende osakaaluga 25%.

	Energia-vajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Energia-kasutus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Kaalumis-tegur, -	Energia-tõhususarv ETA, kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	Ei ole	On	Ei ole	On		Ei ole	On
PV-paneelid							
Ruumide ja sissepuhkeõhu kütte	28,6		29,2		0,9	26,3	
Sooja tarbevee soojendamise	5,8		5,8		0,9	5,3	
Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutus	8,9		3,2		2,0	6,4	
Ventilaatorid ja pumbad	11,6		11,6		2,0	23,2	
Valgustus	6,0		6,0		2,0	11,9	
Seadmed	18,9		18,9		2,0	37,9	
PV-paneelid	-	-5,2	-	-5,2	2,0	-	-10,4
<b>Summa</b>	<b>80</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>70</b>		<b>111</b>	<b>101</b>

**Tabel 23.** ↓Parema jahutusteguri mõju energiatõhususele.

	Energia-vajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Energia-kasutus kWh/(m <sup>2</sup> a)		Kaalumis-tegur, -	Energia-tõhususarv ETA, kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	Ei ole	On	Ei ole	On		Ei ole	On
Külmamasina ESEER	3,0	4,5	3,0	4,5		3,0	4,5
Ruumide ja sissepuhkeõhu kütte	28,6		29,2		0,9	26,3	
Sooja tarbevee soojendamise	5,8		5,8		0,9	5,3	
Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutus	8,9	8,9	3,2	2,1	2,0	6,4	4,3
Ventilaatorid ja pumbad	11,6		11,6		2,0	23,2	
Valgustus	6,0		6,0		2,0	11,9	
Seadmed	18,9		18,9		2,0	37,9	
PV-paneelid	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	2,0	-10,4	-10,4
<b>Summa</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>70</b>	<b>68</b>		<b>101</b>	<b>98</b>

nud energiatõhususarvu 10,4 ühiku võrra.

Saavutatud energiatõhususarv 101 kWh/(m<sup>2</sup> a) on ühe ühiku võrra suurem kui liginullenergiahoone puhul nõutu. Kuna katusele rohkem paneele ei mahu, on liginullenergiahoone täitmiseks kolm põhimõttelist võimalust:

- paigaldada päikesepaneele ka lõunafassaadile;
- arhitekt peab hakkama hoonet ümber joonestama energiatõhususe parandamiseks;
- tuleb otsida energiatõhususe parandamise võimalusi muude tehniliste lahenduste abil.

Antud näites on osutunud kõige lihtsaks jahutussüsteemi efektiivsuse tõstmine, valides parema jahutusteguriga külma-jaama, vt tabel 23. Jahutusteguri ESEER tõstmisel tavapärastel tasemetel 3,0 parima-

te võimalike seadmete ligilähedase 4,5ni on viinud energiatõhususarvu 98ni, millega on liginullenergia-büroohoone nõue 100 kWh/(m<sup>2</sup> a) täidetud.

## PV-paneelide võrdlus ja tehnilised andmed

Tabelis 24 esitatud tehnilised andmed ja hinnad põhinevad veebilehel [www.jhroerden.com](http://www.jhroerden.com) esitatud paneelide tootepassidel ja hinnakirjal. Tabelis 24 esitatud ruutmeetri hinnas pole arvestatud PV-paneelide lisa-seadmeid, mille maksumus võib sõltuvalt lahendusest olla samaväärne installitavate PV-paneelide hinnaga. (Andmed põhinevad standard-testimistingimustel ehk *STC Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum Air Mass 1.5 and cell temperature 25 °C*.)

**Tabel 24.** ↓PV-paneelide tehnilised andmed.

Tootja	Ühik	SOLAR-WORLD	Schott	Würth WS 11007/80	Schott	Avancis	Flex-cell	Uni-solar	Schott Asithru
Seadmetüüp		Mono-Si	Poly-Si	CIS	a-Si	CIS	a-Si	a-Si	a-Si
MPP-võimsus	Wp	235	235	80	100	120	100	136	27
Avatud ahela pingeline UOC	V	37,5	37,1	45,5	23,8	59,7	64,1	46,2	49
Pingeline UMPP	V	30,3	30,2	36	17,5	43,1	45,4	33	36
Lühisvool ISC	A	8,19	8,42	2,5	6,79	3,18	3,0	5,1	1,02
Vool IMPP	A	7,77	7,78	2,22	5,71	2,79	2,23	4,13	0,75
<b>MPP-võimsus ruutmeetri kohta</b>	<b>Wp/m<sup>2</sup></b>	<b>140,16</b>	<b>140,45</b>	<b>109,74</b>	<b>69,00</b>	<b>109,99</b>	<b>31,86</b>	<b>62,92</b>	<b>45,00</b>
<b>Kasutegur</b>	<b>%</b>	<b>14,02</b>	<b>14,04</b>	<b>10,97</b>	<b>6,90</b>	<b>11,00</b>	<b>3,19</b>	<b>6,29</b>	<b>4,5</b>
Maksimaalne süsteemi pingeline SC II	V	1000	600	-	1000	1000	600	600	1000
Maksimaalne vastuvool	A	16	15	-	15	5	-	-	-
Lumekoormus vastavalt standardile IEC61215	kg/m <sup>2</sup>	540	3662	240	245	551	-	-	320
Võimsuse temp. koef. $\partial_p$	%/°C	0,45	0,44	0,36	0,2	0,5	-	0,21	0,2
NOCT	°C	47	45,5	47	-	39,3	-	-	-
Töötemperatuur	°C	-	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-	-	-	-40...+85

PV-elementide arv mooduli kohta		60	60	-	58	-	-	-	-
Möödaviikdiiodide ( <i>bypass diodes</i> ) arv		3	3	-	-	-	-	-	-
Pikkus	m	1,675	1,685	1,205	1,108	1,595	3,353	5,486	1
Laius	m	1,001	0,993	0,605	1,308	0,684	0,936	0,394	0,6
Pindala	m <sup>2</sup>	1,677	1,673	0,729	1,449	1,091	3,138	2,161	0,600
Garantii	a	25	25	-	20	20	20	20	
Kaal	kg	21,2	23	12,7	18	19,6	-	7,7	14
Hind	€	323	247	182	91	-	-	-	-
Hind pindala kohta	€/m <sup>2</sup>	192,64	147,62	166,82	62,79	-	0	0	0

mustumine mõjutab oluliselt paneelide väljundvõimsust ja selle üksikelementide eluiga. Sellest tulenevalt peab paneelide valikul eelistama PV-paneele, millel on rohkem möödaviikdiode (*bypass diodes*). Möödaviikdiiodidele peavad olema tagatud head jahutustingimused.

- Projekteerimisel tuleb silmas pidada, et otsese päikesekiirguse mõjul võib PV-paneelide temperatuur olla 20–40 kraadi kõrgem ümbritsevast temperatuurist. Selline temperatuuritõus põhjustab PV-paneelidel täiendavaid võimsuskadusid, mida saab vältida paremate jahutustingimuste tagamise abil.
- Paneelide valikul tuleb pöörata tähelepanu temperatuurikoefitsientidele, mis väljendavad kadu temperatuuri ühekraadise muutuse kohta.
- Käidukulude vähendamise seisukohalt tuleb projekteerimisel arvestada sellega, et PV-paneelide:
  - mustumine toimuks võimalikult aeglaselt;
  - kontrollimine ja väljavahetamine oleks kiire ja lihtne;
  - vastupidavus keskkonnatingimustele, sh tuulele ja lumele, oleks oludele vastav.
- Eelistada tuleb standardseid tooteid, nt seadmeid, mille tootlikkus on pärast 25aastast käitu vähemalt 80% esialgsest. Osa tootjaid lubab sama tootlikkuse langust juba 20 aasta möödudes.

### Hoonete fassaadidesse ja akendesse integreeritavate lahenduste tootjad ja näidisandmed

Hoonesse integreeritavate fassaadide, laminaatpaneelide ja kilede tootjatest on tuntumad:

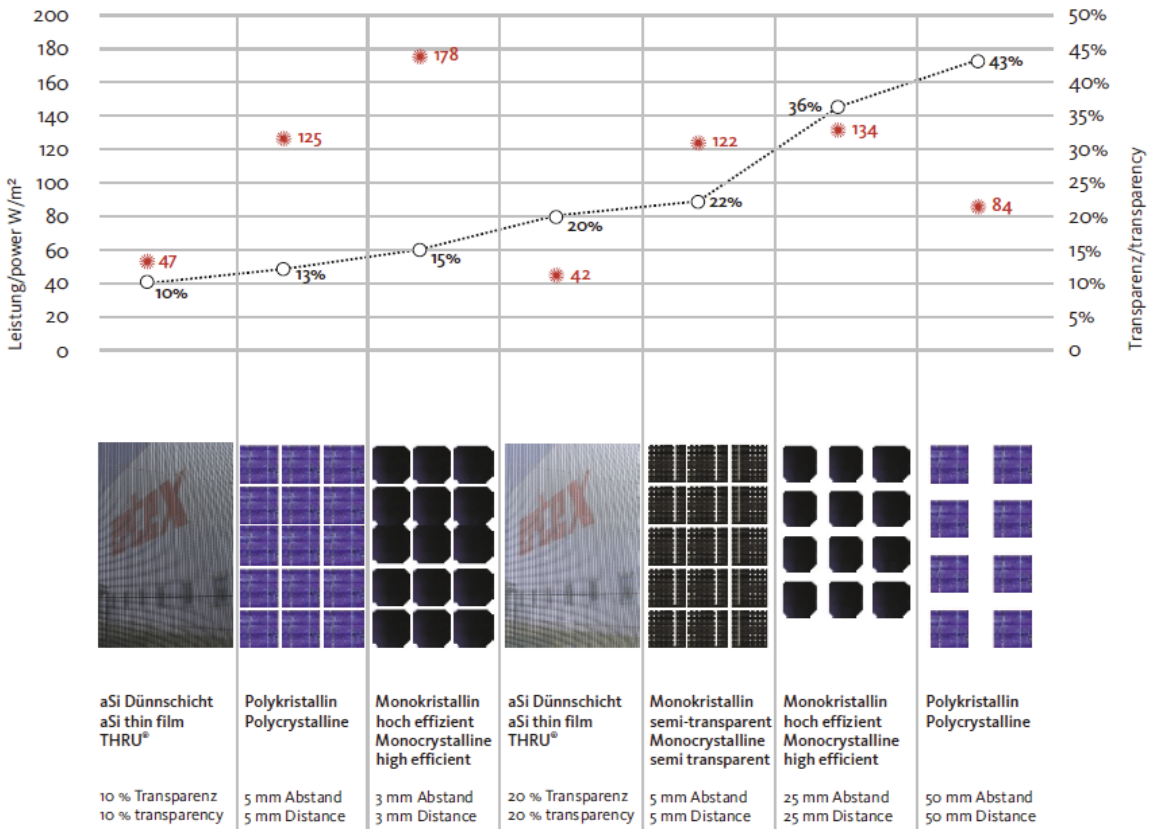
- Arnold Glas – VOLTARLUX ([www.voltarlux.de](http://www.voltarlux.de));
- ERTL GLAS AG / Ertex Solar ([www.ertex-solar.at](http://www.ertex-solar.at));
- Scheuten Solar ([www.scheutensolar.com](http://www.scheutensolar.com));
- Schott Solar ([www.schottsolar.com](http://www.schottsolar.com));
- Kaneka Solar ([www.kaneka-solar.com](http://www.kaneka-solar.com));
- Würth-Solar ([www.wuerth-solar.de](http://www.wuerth-solar.de)).

Kõige laiemat tootevalikut pakub ülal kirjeldatud tootjatest ERTL GLAS AG.

Suurema läbipaistvuse ehk valguse läbilaskvusega (*transparency*) moodulite puuduseks on väikesem nimivõimsus ruutmeetri kohta. Reeglina pole amorfsete ränipaneelide läbipaistvus suurem kui 20%. Kui soovitakse saada suuremat läbipaistvust või heledust fassaadi taga, kasutatakse mono- või polükristallist PV-elementide mustriga paneele. Kuna mono- ja polükristallist PV-elementidel on suurem kasutegur, siis vaatamata suuremale läbipaistvusele on nende tootlikkus pinnaühiku kohta reeglina samaväärne või parem kui *thin-film*-paneelidel, vt joonis 43.



Joonis 43. ↓ Seadmete võimsus ruutmeetri kohta ja läbipaistvus.



## Päikesekiirgus hoone tasapindadele

Tabelis 25 on esitatud summaarsed päikesekiirguse (HS) andmed hoone eri tasapindadele. Esitatud on energiaarvutuste baasaasta arvutuslikud andmed ja PVGISi andmebaasi andmed. Viimased põhinevad maapealsete mõõtejaamade andmete interpoleerimisel. PVGISi and-

mebaasi andmed sisaldavad pika perioodi jooksul mõõtejaamadest saadud kuude keskmisi globaalse ja hajukiirguse andmeid. PVGISi andmebaasi keskmised andmed on arvutatud kümne aasta (1981–1990) andmete alusel.

Tabel 25. ↓ Päikesekiirgus hoone tasapindadele.

Hoone tasapinna suund ja kalle	Peegeldunud kiirgus aastas	Hajukiirgus aastas	Otsene kiirgus aastas	Summaarne kiirgus arvatatud näidisaasta põhjal	Summaarne kiirgus arvatatud PVGISi andmete põhjal	Erinevus
kraadides	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	%
E 90°	94,39	273,02	229,82	597,23	632	5,82%
S 90°	94,39	353,99	423,01	871,39	837	-3,95%
W 90°	94,39	316,72	282,56	693,67	631	-9,03%
S 0°	0,00	513,84	429,79	943,63	957	1,42%
S 45°	28	531	592	1151	1140	-0,96%
N 90°	94,39	217,89	34,31	346,59	280	-19,21%

## PV-paneelide tootlikkus hoone eri tasapindadel

Tabelis 26 esitatud PV-paneelide ideaalse (EPV), standardkadudega (EPV, 15%) ja 25aastase käidu järgse tootlikkuse (EPV, 25 a) arvutused pinnaühiku kohta põhinevad eeltoodud andmetel. 25aastase käidu jook-

**Tabel 26.** ↓PV-paneelide tootlikkus ja tasuvusaeg.

Kuna moodulite hind moodustab terviksüsteemi maksumusest hinnanguliselt 40–60%, siis alltoodud tabelis võib lugeda lõuna suunas 45kraadise kaldega paigaldatud firma Schott paneelid ka terviksüsteemina tasuvaks.

Tootja		SOLAR-WORLD	Schott	Avancis	Schott	Würth WS 11007/80	Flex-cell	Uni-solar	Asithru
Seadmetüüp		Mono-Si	Poly-Si	CIS	a-Si	CIS	a-Si	a-Si	a-Si
$H_S$ , S 45°	kWh/m <sup>2</sup>	1151	1151	1151	1151	1151	1151	1151	1151
$E_{PV}$ , S 45°	kWh/m <sup>2</sup>	161,32	161,66	126,60	79,42	126,31	36,67	72,42	51,80
$E_{PV,15\%}$ , S 45°	kWh/m <sup>2</sup>	137,12	137,41	107,61	67,51	107,36	31,17	61,56	44,03
<b><math>E_{PV,25a}</math>, S 45°</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>109,70</b>	<b>109,93</b>	<b>86,09</b>	<b>54,01</b>	<b>85,89</b>	<b>24,94</b>	<b>49,25</b>	<b>35,22</b>
<b>Tasuvusaeg (0,1 €/kWh)</b>	<b>aastat</b>	<b>17,56</b>	<b>13,43</b>	<b>19,38</b>	<b>11,63</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
$H_S$ , S 90°	kWh/m <sup>2</sup>	871,39	871,39	871,39	871,39	871,39	871,39	871,39	871,39
$E_{PV}$ , S 90°	kWh/m <sup>2</sup>	122,13	122,39	95,85	60,13	95,62	27,77	54,83	39,21
$E_{PV,15\%}$ , S 90°	kWh/m <sup>2</sup>	103,81	104,03	81,47	51,11	81,28	23,60	46,60	33,33
<b><math>E_{PV,25a}</math>, S 90°</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>83,05</b>	<b>83,22</b>	<b>65,18</b>	<b>40,89</b>	<b>65,02</b>	<b>18,88</b>	<b>37,28</b>	<b>26,66</b>
<b>Tasuvusaeg (0,1 €/kWh)</b>	<b>aastat</b>	<b>23,20</b>	<b>17,74</b>	<b>25,60</b>	<b>15,36</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
$H_S$ , E 90°	kWh/m <sup>2</sup>	597,23	597,23	597,23	597,23	597,23	597,23	597,23	597,23
$E_{PV}$ , E 90°	kWh/m <sup>2</sup>	83,71	83,88	65,69	41,21	65,54	19,03	37,58	26,88
$E_{PV,15\%}$ , E 90°	kWh/m <sup>2</sup>	71,15	71,30	55,84	35,03	55,71	16,18	31,94	22,84
<b><math>E_{PV,25a}</math>, E 90°</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>56,92</b>	<b>57,04</b>	<b>44,67</b>	<b>28,02</b>	<b>44,57</b>	<b>12,94</b>	<b>25,55</b>	<b>18,28</b>
<b>Tasuvusaeg (0,1 €/kWh)</b>	<b>aastat</b>	<b>33,84</b>	<b>25,88</b>	<b>37,35</b>	<b>22,41</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
$H_S$ , W 90°	kWh/m <sup>2</sup>	693,67	693,67	693,67	693,67	693,67	693,67	693,67	693,67
$E_{PV}$ , W 90°	kWh/m <sup>2</sup>	97,22	97,43	76,30	47,86	76,12	22,10	43,65	31,22
$E_{PV,15\%}$ , W 90°	kWh/m <sup>2</sup>	77,78	77,94	61,04	38,29	60,90	17,68	34,92	24,97
<b><math>E_{PV,25a}</math>, W 90°</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>66,11</b>	<b>62,35</b>	<b>48,83</b>	<b>30,63</b>	<b>48,72</b>	<b>14,15</b>	<b>27,93</b>	<b>19,98</b>
<b>Tasuvusaeg (0,1 €/kWh)</b>	<b>aastat</b>	<b>29,14</b>	<b>23,68</b>	<b>34,16</b>	<b>20,50</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
$H_S$ , S 0°	kWh/m <sup>2</sup>	943,63	943,63	943,63	943,63	943,63	943,63	943,63	943,63
$E_{PV}$ , S 0°	kWh/m <sup>2</sup>	132,26	132,53	103,79	65,11	103,55	30,07	59,37	42,46
$E_{PV,15\%}$ , S 0°	kWh/m <sup>2</sup>	105,81	106,03	83,03	52,09	82,84	24,05	47,50	33,97
<b><math>E_{PV,25a}</math>, S 0°</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>89,93</b>	<b>84,82</b>	<b>66,43</b>	<b>41,67</b>	<b>66,27</b>	<b>19,24</b>	<b>38,00</b>	<b>27,18</b>
<b>Tasuvusaeg (0,1 €/kWh)</b>	<b>aastat</b>	<b>21,42</b>	<b>17,40</b>	<b>25,11</b>	<b>15,07</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
$H_S$ , N 90°	kWh/m <sup>2</sup>	346,59	346,59	346,59	346,59	346,59	346,59	346,59	346,59
$E_{PV}$ , N 90°	kWh/m <sup>2</sup>	48,58	48,68	38,12	23,91	38,03	11,04	21,81	15,60
$E_{PV,15\%}$ , N 90°	kWh/m <sup>2</sup>	38,86	38,94	30,50	19,13	30,43	8,83	17,45	12,48
<b><math>E_{PV,25a}</math>, N 90°</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>33,03</b>	<b>31,15</b>	<b>24,40</b>	<b>15,31</b>	<b>24,34</b>	<b>7,07</b>	<b>13,96</b>	<b>9,98</b>
<b>Tasuvusaeg (0,1 €/kWh)</b>	<b>aastat</b>	<b>58,32</b>	<b>47,38</b>	<b>68,37</b>	<b>41,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

sul on tootlikkuse kaoks arvestatud 20%. Arvutustes on kasutatud standardaasta kiirgusandmeid. Tabelis esitatud tasuvusarvutustes pole arvestatud PV-paneelide lisaseadmeid, mille maksumus võib sõltuvalt lahendusest olla samaväärne installitavate PV-paneelide hinnaga.

Hinnanguliselt on PV-süsteemi kaod (kaablid, inverter jne), kui paneelid on toepelfassaadi integreeritud ja katusel spetsiaalsetel konstruktsioonidel, ligikaudu 14%. Peale selle tuleb arvestada temperatuurist ja kiirguse peegeldumisest tingitud kadusid, mis jäävad hinnanguliselt vahemikku 8–12%. Need kaod sõltuvad otseselt PV-elementide tüübist.

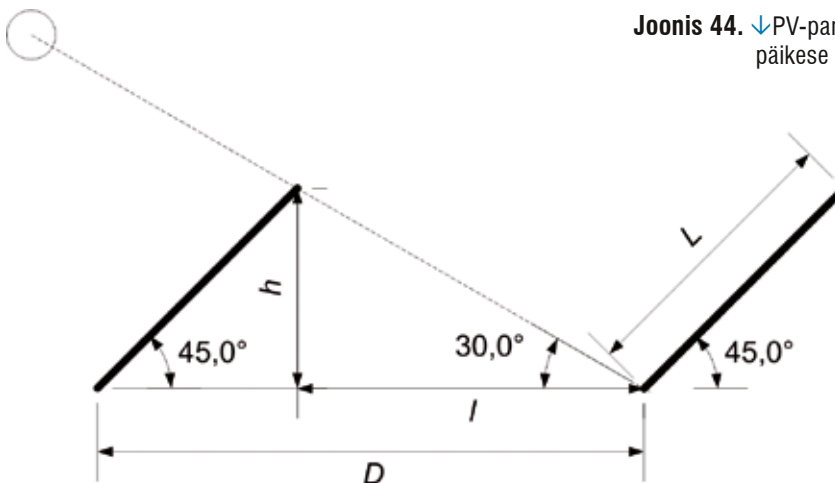
### PV-paneelide optimaalne kaldenurk katusele paigaldamisel

Arvutused annavad katusel paneelide optimaalseks kaldenurgaks lõunasuunal 40°. Tegelikuses pole aastases toodangus märkimisväärset vahet, kui paneelide kaldenurk jääb vahemikku 30–45°.

Kogu aastasest horisontaalsele pinnale langevast päikesekiirgusest umbes 85% (kaheteljelise päikest järgiva ajamiga süsteemide puhul umbes 80%) langeb suveperioodi, s.o aprillist septembrini. Seepärast tuleks paneelide vahekauguste planeerimisel arvestada sellega, et suveperioodi jääva halvima kiirgusega kuus ehk sep-

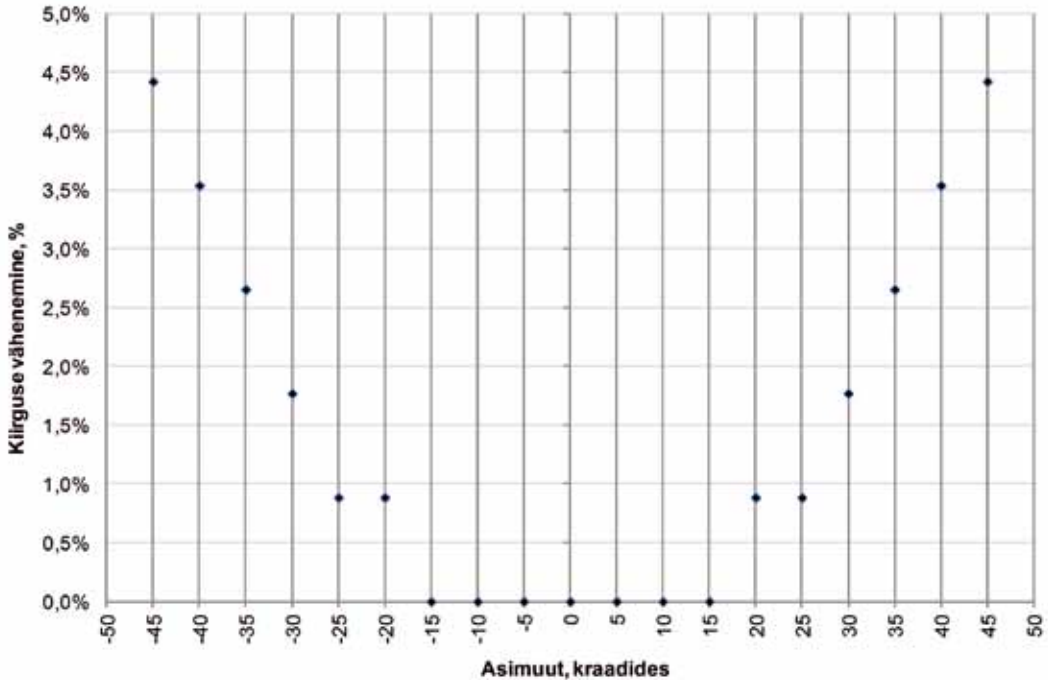
tembris on päikese kõrgus horisondist umbes 30°. See tähendab, et varju pikkus  $l$  on umbes 1,75kordne varjutava objekti kõrgus  $h$ . Lubatav vahemik  $l = (1,7...1,8) \times h$ , vt joonis 61. Katusepind on optimaalseimalt kasutatud, kui paneelid paigaldatakse kaldega 30°. Tootlikkus ruutmeetri kohta võrreldes 40kraadise kaldega paneelidega väheneb ligikaudu 1%, kuid kasutatav pind suureneb 5% võrra, mistõttu suurema arvu paneelide installimisest tulenev summaarne aastane tootlikkus suureneb teoreetiliselt 10%. Paneelide paigaldusel kaldega 30° tuleb arvestada mustumisest tingitud kadudega 2–10%, väiksema kaldega paigaldamisel suurenevad mustumisest tingitud kaod märgatavalt.

Teine oluline analüüsi osa on PV-paneelide asimuut ehk suund lõuna suhtes ja sellest sõltuv kiirgus 30kraadise kaldega PV-paneelidele. Vastavalt joonisel 44 esitatule ei muutu päikesekiirgus pinnauhikule, kui PV-paneeli pöörata lääne või ida suunas 15 kraadi. Kui paneelid on pööratud lõuna suhtes 15–25 kraadi, toob see kaasa umbes 1% päikesekiirguse languse pinnauhikule, sh ka samaväärse tootlikkuse languse. Et tagada sama tootlikkus, mis on lõunasuunaliselt paigaldatud paneelidel, on soovitatav valida paneelide asimuut vahemikus  $\pm 15$  kraadi.



Joonis 44. ↓PV-paneelide kaldenurk ja päikese kõrgus horisondist.

**Joonis 45.** ↓30kraadise kaldega pinnal päikesekiirguse vähenemine sõltuvalt pinna suunast lõuna suhtes (asimuudist).



### PV-paneelidega elektripaigaldise põhimõtteskeem

PV-elektripaigaldised ühendatakse tavaliselt võrguga paralleelselt (*on-grid*). Iseisvalt (*off-grid*) töötavad ja kombineeritud süsteemid eeldavad energiasalvesti kasutamist. Võrguga paralleelselt töötavad süsteemid on odavamad tänu energiasalvestite puudumisele, kuid puuduseks on see, et võrgutoite katkestuse korral lülitatakse ohutuse kaalutlustel PV-süsteem välja ehk katkestatakse elektritootmine. Suurtes hoonetes kasutatakse kolmefaasilisi

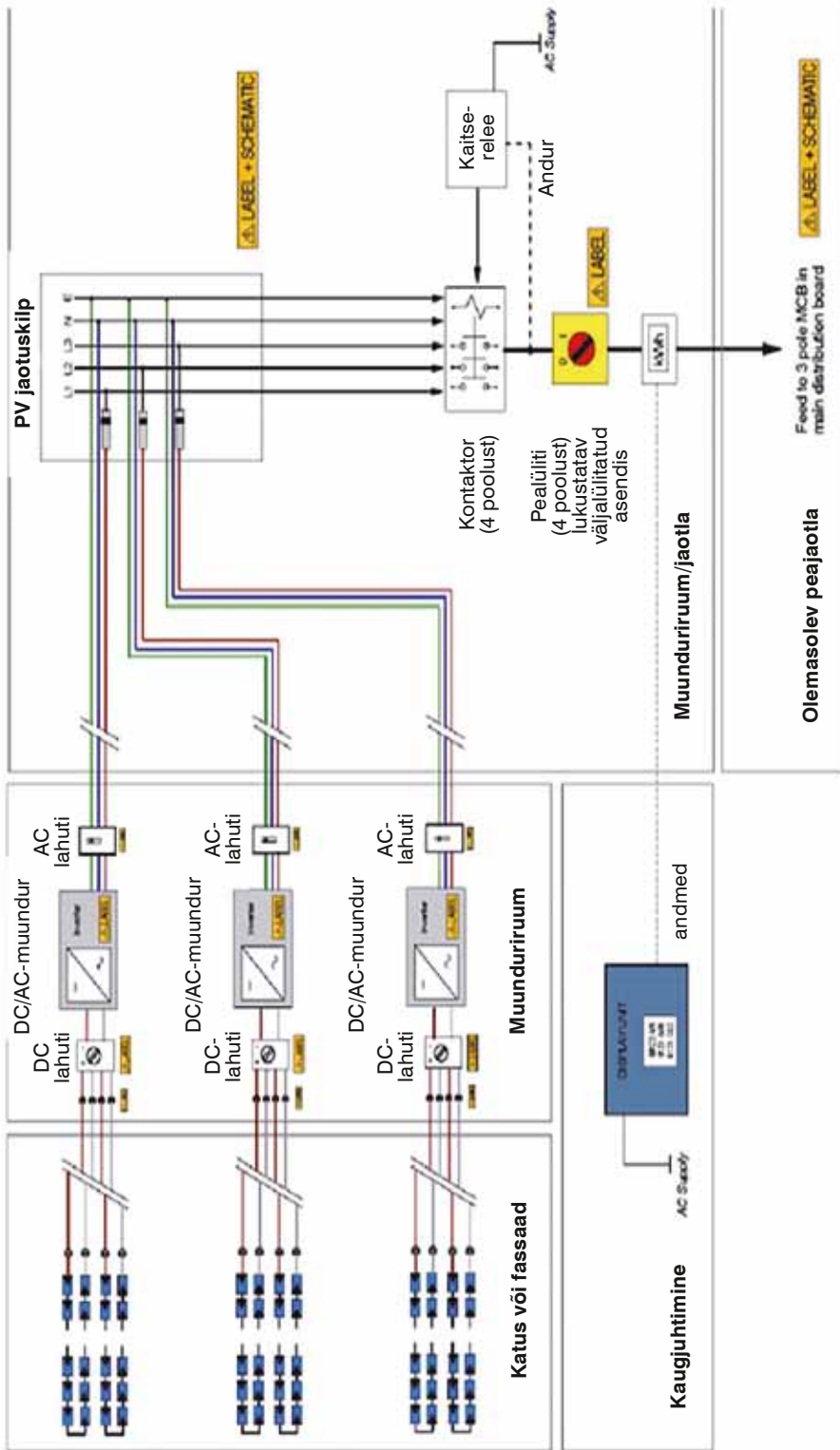
(vt joonis 46) ja kodumajapidamistes ühefaasilisi lahendusi.

Kolmefaasilistes lahendustes on PV-paneelid jaotatud kolme gruppi ning iga grupp on ühendatud võrgu sagedusega sünkroniseeriva vaheldi kaudu eraldi faasiga. Süsteemi komponentide lihtsamaks teenindamiseks ja elektriõhutuse tagamiseks tuleb süsteemi erinevad sõlmed varustada lahutite ja nõuetekohaste kaitseahelatega.

### Kasutatud kirjandus

Guide to the installation of PV systems. 2nd Edition. 2006. [http://www.bre.co.uk/filelibrary/pdf/rpts/Guide\\_to\\_the\\_installation\\_of\\_PV\\_systems\\_2nd\\_Edition.pdf](http://www.bre.co.uk/filelibrary/pdf/rpts/Guide_to_the_installation_of_PV_systems_2nd_Edition.pdf)

Joonis 46. ↓Võrguga paralleelselt töötav kolmefaasiline süsteem büroohoonele.



# 6. Näiteid olemasolevatest hoonetest

## 6.1 Helsingi keskkonnaamet: Ympäristötalo, Viikki

Helsingi keskkonnaameti uus hoone Viikkis on näide avaliku sektori suuna näitaja rollist energiatõhususe parandamisel. 2011. aastal valminud Ympäristötalo tellija ja ehitushanke korraldaja oli Helsingi linna HKR-Rakennuttaja, ehitushanke põhiaandmed on toodud tabelis 27. Hoone energiatõhususarv on 85 kWh/(m<sup>2</sup> a) Soome kaalumistegurite (elekter 1,7 ja kaugküte 0,7) ja arvutusreeglitega, mis on täpselt pool Soome büroohonete miinimumnõudest 170 kWh/(m<sup>2</sup> a). Eesti kaalumisteguritega arvutades tuleb energiatõhusus-

arvuks 103 kWh/(m<sup>2</sup> a). Saavutatud energiatõhususarvu väärtus vastab praegusele arusaamale tuleviku liginullenergiatasemest. Hoone on suudetud ehitada äärmiselt kulutõhusalt, kuna liginullenergialahenduste ehitusmaksumuse lisa on ainult 3–4% hanke ehitusmaksumusest.

**Foto 19.** ↓Ympäristötalo, Viikki, Helsingi. Lõunapoolsed fassaadid on topelfassaadid, kuhu on integreeritud päikesepaneelid. Kõik fassaadid on erinevad, kuna arhitektuursel projekteerimisel on lähtutud päevavalgusest ja päikesevarjestusest.

Foto: Helsingin kaupungin aineistopankki: Mari Thorin, Rhinoceros Oy



Tabel 27. ↓Ympäristötalo ehitushanke andmeid.

Ympäristötalo, ehitusaasta 2011	
Tellijä	HKR-Rakennuttaja
Omanik	Helsingin kaupungin ympäristökeskus
Ehitusmaksumus	16,5 mln € (2430 €/m <sup>2</sup> )
Hinnanguline nZEBi lisamaksumus	0,5–0,7 mln € (70–100 €/m <sup>2</sup> , 3–4%)
Köetav netopind	6390 m <sup>2</sup>
Brutopind	6791 m <sup>2</sup>
Inimeste arv/tihedus	240 / 25 m <sup>2</sup> / hlö (keskiarvo)
Arhitekt	Ab Case Consult Oy, Kimmo Kuismanen
Energia ja KVVK projekteeija	ClimaConsult Finland

## Energiatõhusus

Hoone välispiirded on piisavalt hästi soojustatud (vt väärtusi tabelist 29), lõunapoolsed fassaadid on topeltfassaadid integreeritud päikesepaneelidega, mis osaliselt töötavad ka päikesevarjestusena. Kogu hoone, välja arvatud siseõued, on ventileeritud ja jahutatud võimalikult efektiivse tsentraalse sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsiooni ning vabajahutusüsteemiga, kus ruumiseadmetena on kasutatud aktiivja passiivjahutustalaseid. Sisekliima kvaliteet vastab II klassile, mis näitab, et energiatõhusust pole saavutatud sisekliima arvelt. Vabajahutusüsteemi jahutusenergia saadakse puurkaevudest, millest tulev vesi tsirkuleerib ventilatsiooniseadmete jahutuselementides ja -talades. Küte on lahendatud radiaatorkütte ning hoone liidetud kaugküttega. Energiatõhususe võtmetegurid on suured ventilatsiooniseadmed ja -torustikud, mis koos nõudluspõhise juhtimi-

sega mujal kui kontoriruumides tagavad madala ventilatsioonisüsteemi erivõimsuse ja efektiivse soojustagastuse ning samuti kohaloleku- ja päevalgusanduritega varustatud juhivad valgustid.

Hoone arvutuslik energiabilanss on toodud tabelis 28. Lokaalsel taastuvenegial, mille alla kuuluvad 7,1 kWh/(m<sup>2</sup> a) päikeselektri toodang ja 10,6 kWh/(m<sup>2</sup> a) vabajahutust puurkaevudest, on oluline mõju saavutatud energiatõhususarvule ETA = 85 kWh/(m<sup>2</sup> a). Liginullenergia-büroohoonele tüüpiliselt on moodustunud suurimaks ETA komponendiks kasutajaseadmete elektrikasutus.

Hooneautomaatikasüsteemis on ligikaudu 60 alamõõtmist energiakasutuse jälgimiseks. See võimaldab jälgida, kus elektrit kasutatakse, ja vajaduse korral probleeme

Tabel 28. ↓Simulatsioonarvutuse energiabilanss. Kõik arvud on toodud köetava netopinna kohta.

	Energia netovajadus kWh/(m <sup>2</sup> a)	Tarnitud energia kWh/(m <sup>2</sup> a)	Energia-kandja tegur, -	ETA kWh/(m <sup>2</sup> a)
Ruumide küte ja vent.õhu soojendamine	26,6	32,2	0,7	22,6
Sooja tarbevee soojendamine	4,7	6,1	0,7	4,3
Jahutus	10,6	0,3	1,7	0,5
Ventilaatorid ja pumbad	9,4	9,4	1,7	16,0
Valgustus	12,5	12,5	1,7	21,3
Seadmed	19,3	19,3	1,7	32,7
PV		-7,1	-1,7	-12,0
<b>Kokku</b>	<b>83</b>	<b>73</b>		<b>85</b>

kiirelt analüüsida ja need lahendada. Kontoriruumide pistikupesad on lülitatud vastavalt kohalolekuandurile – tühjas ruumis lülitub elekter välja. Samuti juhitakse valgustussüsteemi nõudluspõhiselt.

### Hoone maht, vorm ja päikesekaitse

Hoone on üsna kompaktne ja liiga suuri klaaspindu on välditud. Lõunapoolse topeltfassaadiga on siiski tekitatud klaasmaja ilme. Kompaktsuse saavutamiseks kasutatud arhitektuurne võte on tööruumide paigutamine ümber kahe siseõue, vt joonis 47. Siseõued saavad päevavalgust klaasfassaadi ning püstiste katuseakende kaudu, mis on näha fotolt 20. Soojuskadude vähendamiseks on siseõuede katused soojustatud.

Akende pindala on kõigest 23% välisseinte pindalast. Nii madala osakaaluni on jõutud päevavalgussimulatsioonidega, millega on näidatud päevavalguse piisavust ja valgusräiguse puudumist valitud akende puhul, mis on kõikidel fassaadidel eri suurusega. Akendes on kaks kahekordset klaasipaketti, mille vahel on ribikardinad.

Topeltfassaad on alt avatud ja selle ülalosas on ajamitega aknad liigsoojuse väljalaskmiseks suvel. Kokku on topeltfassaadil ja siseõuede klaasseinte alumises ja üle-

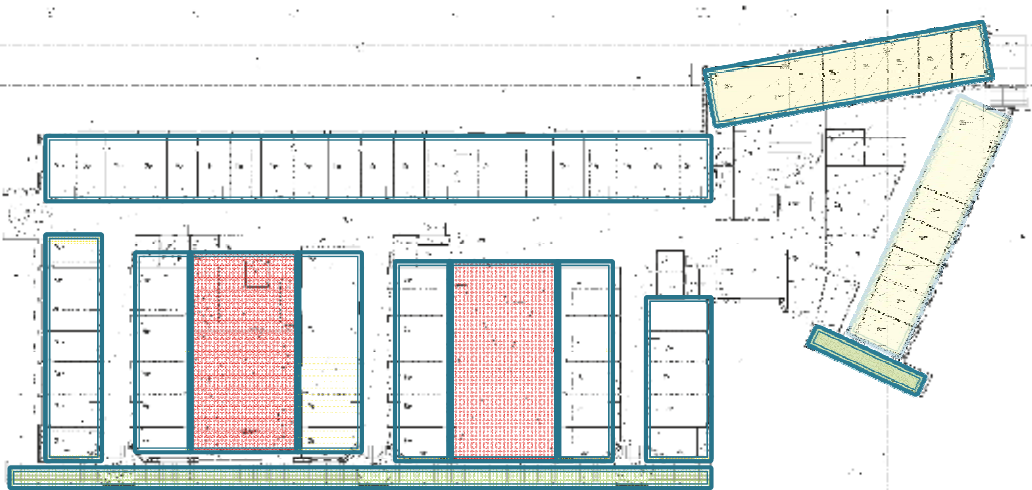
ses osas ligikaudu 30 ajamiga akent, millest osa töötavad ka suitsuärastusena. Neid aknaid võib avada käsitsi juhtimiskeskusest, kuid vajaduse korral suletakse need automaatselt ilmajaama mõõdetud tuulekiiruse, vihma või õhutemperatuuri väärtuste põhjal, vt foto 20.

### Energiavarustus

Hoone on ühendatud kaugküttega ning kõikides ruumides on radiaatorkeskküte.

Kogu jahutus toodetakse vabajahutusega puurkaevudest. Puurkaeve on 25, kõik on sügavusega 250 m ning süsteemi koguvõimsus on 160 kW. Lihtne tsirkulatsioonipumba ja akumulaatorpaagiga jahutussüsteem teenindab nii ventilatsiooniseadmete jahutuselemente kui ka ruumides olevaid jahutustalaseid. Puurkaevud on dimensioonitud tootma maksimaalselt 15 °C pealevoolu (tagasivool 20 °C) akumulaatorpaaki dimensioonimistingimustel, mis lubab puurkaevudevälja märkimisväärset soojenemist võrreldes tavapärase kalju temperatuuriga 7 °C. Ventilatsiooniseadmetesse on valitud suure pindalaga jahutuselemendid, mis on dimensioonitud tavapärasest kõrgematele temperatuuridele 16/20 °C. Samu dimensioonimistemperatuure on kasuta-

**Joonis 47.** ↓ Tööruumide (joonisel kollasega) paigutamine ümber siseõuede (joonisel punasega) muudab maja sügavaks ja mahu kompaktsuks.





**Foto 20.** ↓ Siseõuedes ei ole jahutust ja ülekuumenemist välditakse, avades all ja üleval olevaid ajamitega aknaid.



**Foto 21.** ↓ Päikesepaneelid lõunafassaadil töötavad ka osalise päikesevarjestusena.



tud ka jahutustalade puhul.

Lõuna topelfassaadile on paigaldatud päikesepaneelid, vt foto 21. Peale selle on päikesepaneele paigaldatud ka katusele. Paigaldatud koguvõimsus on 60 kW (570 m<sup>2</sup>) ja paneelid toodavad umbes 17% aastasest summaarsest elektrikasutusest.

### Ventilatsioon ja jahutus

Hoones on mehaaniline sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsioon jahutustaladega, joonis 48. Põhiventilatsiooniseadmeid on kolm ja korrusereguleerklappidega šahte neli igal korrusel.

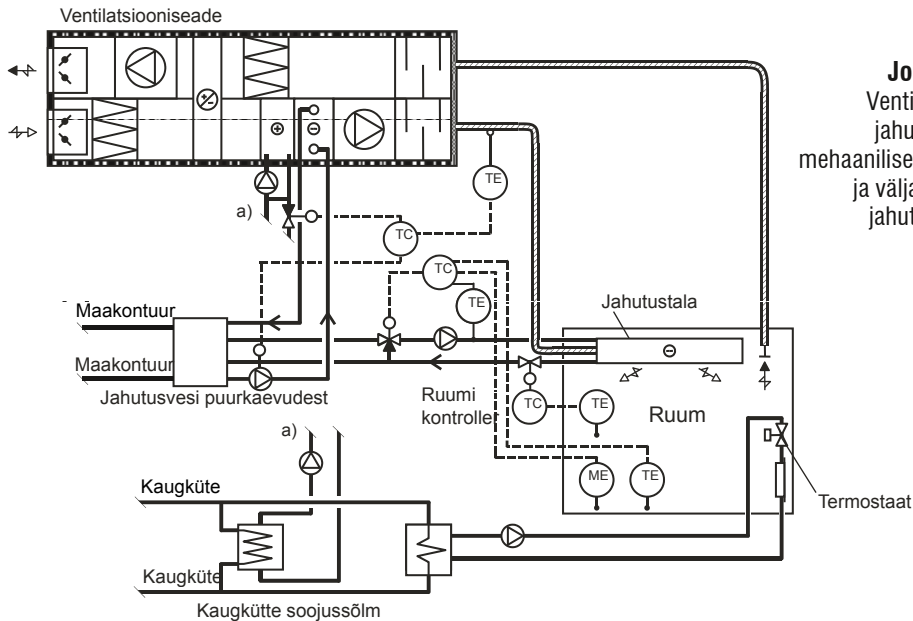
Eraldi väljatõmbeid ei ole ning nende asemel on kasutatud WC-grupi puhul oma väikest 0,5 m<sup>3</sup>/s rootorsoojusvahetiga ventilatsiooniseadet, vt foto 22. Selle abil saavutatud 80% soojustagastuse temperatuurisuhte WCde väljatõmbeõhust on teadaolevalt maailmarekord. Selle ventilatsiooniseadme sissepuhkeõhk puhutakse tagasi

WCde eesruumidesse ning võimalike lõhnade kohta kaebused puuduvad (see ei tähenda, et rootorsoojusvaheti ei kannaks üle lõhnu, vaid seda, et õhuvoolude segunemisel toimub lahjenemine ja küsimuseks ei ole sigaretisuitsuga võrreldav lõhn, mis läbi rootorsoojusvaheti leviks).

Põhiventilatsiooniseadmed on 2,4, 4,2 ja 4,0 m<sup>3</sup>/s suurused ja nende soojustagastuse temperatuurisuhted on vastavalt 80, 79 ja 78%, vt foto 23. Muude väiksemate ventilatsiooniseadmete temperatuurisuhted on 80–81%. Ventilatsioonisüsteem on täiesti tasakaalus ehk sissepuhke summaarne õhuvooluhulk on sama suur kui väljatõmbe summaarne õhuvooluhulk.

### Ventilatsiooni ja jahutuse ruumiseadmed

Avatud ja tubakontorites on jahutustalad, mis töötavad konstantsel õhuvooluhulgal, foto 24. Muudes ruumides on



**Joonis 48.** ← Ventilatsiooni- ja jahutussüsteem mehaanilise sissepuhke ja väljatõmbe ning jahutustaladega.

**Foto 23.** ↓ Suured ventilatsiooniseadmed ja madala rõhulanguga torustik tagavad madala ventilatsioonisüsteemi elektrikasutuse. Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus on 1,4–1,6 kW/(m<sup>3</sup>/s) kontorite ja vastavate ruumide konstantse õhuvooluhulgaga ventilatsiooniseadmetel ning 1,8 kW/(m<sup>3</sup>/s) nõupidamis- ja muude ruumide muutuva õhuvooluhulgaga ventilatsiooniseadmetel.



**Foto 22.** ↑ WC-grupi rootorsoojusvahetiga ventilatsiooniseade.

kasutatud passiivseid jahutustalaseid, mis võimaldavad jahutust ka öösel ja nädalavahetustel, kui ventilatsioon on välja lülitatud. Pideva jahutusega on vähendatud jahutuskoormuste tipuvõimsusi, nii et dimensioonitud jahutusvõimsused ei ole üle 40 W/m<sup>2</sup>, mis on oluline piiratud vabajahutusvõimsusega süsteemi puhul.

Nõupidamisruumides, aulades ja näitusruumides on kasutatud nõudluspõhist

ventilatsiooni, mida juhitakse süsihappegaasi ja temperatuuri järgi. Muutuva õhuvooluhulgaga süsteemis reguleeritakse nõupidamisruumide õhuvooluhulka 0–4 l/(s m<sup>2</sup>) vahel. Kontoriruumides on konstantne õhuvooluhulk 1,5 l/(s m<sup>2</sup>). Sissepuhkeõhu temperatuuri reguleeritakse vastavalt väljatõmbeõhu temperatuurile 17 ja 22 °C vahel.



Foto 24. ↑→Avatud ja tubakontorite jahutustalad ja valgustid.



## Valgustus

Valgustitena on kasutatud T5-lampidega juhitud valgusteid, mille paigaldatud võimsus on  $7 \text{ W/m}^2$ . Suuremates ruumides kasutatakse kohaloleku- ja päevavalgusandureid, mis võimaldavad valgustitel töötada minimaalsel võimsusel, kasutades ära päevavalgust. Tubakontorites on kohalolekuandurid ja valgustite võimsuse käsitsi

reguleerimise võimalus. Valgustid on ühendatud hooneautomaatikasüsteemi, mis lülitab need pärast tööaja lõppu välja. Pärast tööaega ruumi sisenedes lülitavad valgustuse sisse kohalolekuandurid. Hädavalgustus on lahendatud LED-lampidega.

Tabel 29. ↓Ympäristötalo tehnilisi andmeid.

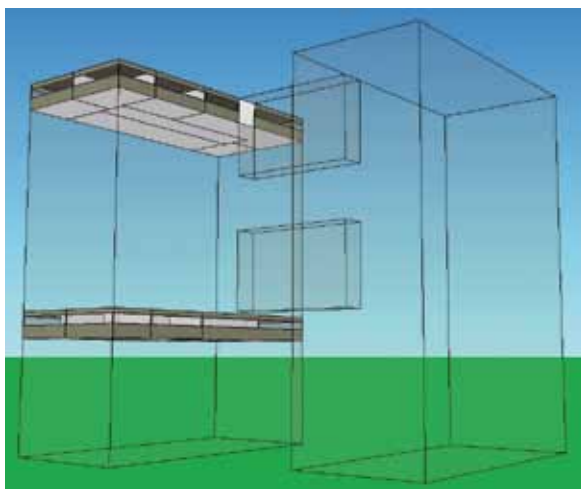
Sisekliima sihtarvud	
Sisekliimaklass (Sisäilmastoluokitus 2008)	S2
Ehitustööde puhtuseklass (Sisäilmastoluokitus 2008)	P1
Ventilatsioonisüsteemi puhtuseklass (Sisäilmastoluokitus 2008)	P
Õhuvooluhulk kontoriruumides	$1,5 \text{ l/(s m}^2\text{)}$
Õhuvooluhulk nõupidamisruumides	$0-4 \text{ l/(s m}^2\text{)}$
Ruumitemperatuur, talv	$21 \text{ }^\circ\text{C}$
Ruumitemperatuur, suvi	$25 \text{ }^\circ\text{C}$
Õhu liikumise kiirus, talv	$0,14 \text{ m/s}$
Õhu liikumise kiirus, suvi	$0,20 \text{ m/s}$
Valgustihedus, tööpiirkond	$500 \text{ lx}$
Valgustihedus, lähiümbus	$300 \text{ lx}$
Välispiirded	
Akende soojuslähivus	$0,8 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Akende päikesetegur	0,30
Välisseinte soojuslähivus	$0,17 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Põrand pinnasel soojuslähivus	$0,16 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Katuslae soojuslähivus	$0,09 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Välispiirete kaalutud keskmine soojuslähivus	$0,259 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna ruutmeetri kohta	$0,276 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Õhulekkearv n50 (möödetud)	$0,56 \text{ 1/h}$

## 6.2 Suur-Ameerika tn 1 kavandatava büroohoone liginullenergiaalohendused

Järgnevalt on analüüsitud madal-energiahoone Suur-Ameerika tn 1 kavandatava büroohoone eskiisprojekti käigus läbi töötatud variante, et kirjeldada, kuidas eskiisprojekti tagada reaalsed võimalused liginullenergiahoone nõuete täitmiseks. Analüüsis on kasutatud eskiisi faasi jaoks sobivat väga lihtsat energiasimulat-

sioonimudelit, kus tüüpkorrused on jagatud ilmakaarte kaupa tsoonidesse ja hoone keskel asuv tüüpkorruse energiakasutus on arvesse võetud 12kordselt vastavalt tüüpsete vahekorruste arvule, vt joonis 49. Ar-

**Joonis 49.** ↓ Suur-Ameerika tn 1 kavandatava büroohoone arvutusmodell.



**Tabel 30.** ↓ Suur-Ameerika tn 1 kavandatava büroohoone lähteandmete iseloomustus.

Büroohoone	Kõetav pind, m <sup>2</sup>			Korruseid		
			7433,4		13	
Välispiirded	Välissein			Katuslagi		
Soojusjuhtivus, W/(m <sup>2</sup> K)	0,15			0,12		
Pindala, m <sup>2</sup>	2682,6			1125,0		
Aknad	Pindala, m <sup>2</sup>		Summaarne soojusjuhtivus, W/(m <sup>2</sup> K)	Raami osakaal, %	Päikeseläbivus, -	
					Põhi/ lõuna	
	260,5/ 260,5	532,2/ 535,9	0,63	15	0,26	0,16
Sisemised soojuseraldused	Inimesed		Valgustus		Seadmed	
Võimsus, W/m <sup>2</sup>	5		10		12	
Kasutusaste	0,55		0,55		0,55	
Ventilatsioon	Õhuvahetus, l/(s m <sup>2</sup> )			Soojustagastuse temperatuuri suhtarv, %		
			±2,0		73,3	

vutusmudeli lähteandmete kirjeldus on toodud tabelis 30. Eesmärgiks on leida põhilahendused, millega saavutatakse ligi nullenergiahoone energiatõhususarvu piirväärtus 100 kWh/(m<sup>2</sup> a).

Hoone pikematele külgedele ehk ida- ja läänefassaadidele (joonisel külgvaates) on ette nähtud ühekordse välise päikest varjestava klaasiga topelfassaad. Selle tõttu on algolukorras (variant 1) ka akende valguslähivus üsna väike (esimene suurem arv viitab tavalistele akendele otsaseintel ning väiksem arv topelfassaadi taga olevatele akendele, vt tabel 32).

Hoones on konstantse õhuvooluhulgaga sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsioonisüsteem, mida kasutatakse tööajal. Ruume köetakse radiaatoritega, soojusallikaks on kaugküte, ning jahutatakse jahutustaladega, mille jahutusenergia toodetakse välisõhuga jahutatava vedelikjahutiga kompressormasinaga.

Algvariandi (variant 1) energiatõhususe

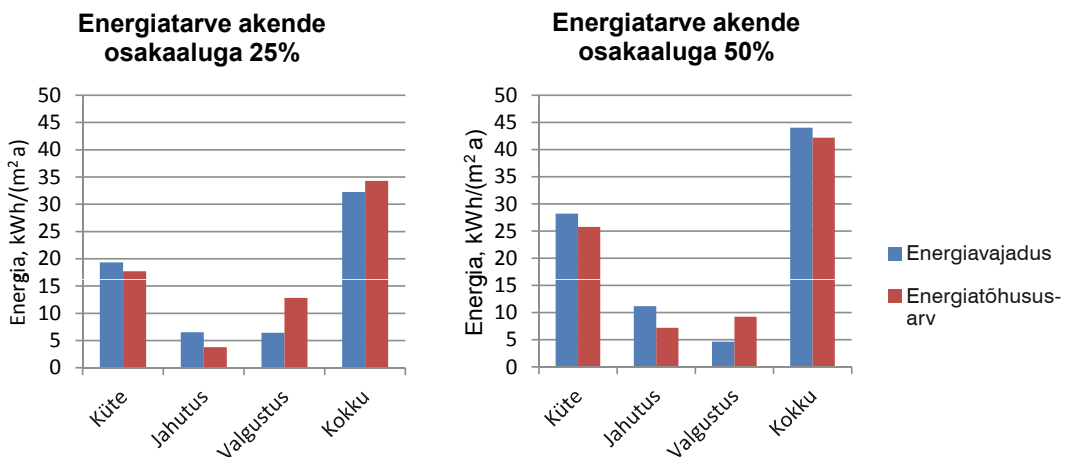
parendamist on alustatud fassaadilahendusest, mille järel on järgnevat arvutusvariantides parandatud ka ventilatsioonisüsteemi ja valgustuse efektiivsust. Algvariandis kasutati väga väikese soojus- ja päikesekiirguse läbivusega klaaspakette, mille päikesekiirgust ja valguslähivust vähendas ida- ja läänekülgede topelfassaad veelgi. Sellise lahendusega üritati vältida topelfassaadi vahele vajalikke ribikardinaid.

Päevavalgusest ja energiatõhususest lähtuvat fassaadikujundamist selgitab järgmine näide. Fassaadilahendus mõjutab peaaegu kõiki olulisi energiavajaduste komponente ehk kütet, jahutust, päeva- ja tehiskülmust. Toodud näide illustreerib, kuidas muutuvad ruumide kütte, jahutuse ja valgustuse energiavajadused ning vastavad energiatõhususarvu komponendid, kui akende osakaalu muudetakse välisseintes

**Tabel 31.** ↓ Akende osakaalu arvutusnäite lähteandmed.

Akende osakaal välisfassaadist, %	25	50
Akna summaarne soojusjuhtivus, W/(m <sup>2</sup> K)	0,52	0,52
Valguslähivus T <sub>vis</sub> , %, topelfassaadita/topelfassaadiga	71/62	71/62
Päikesekiirguse läbivus g, -, topelfassaadita/topelfassaadiga	0,51/0,42	0,51/0,42
Seina soojusjuhtivus, W/(m <sup>2</sup> K)	0,15	0,15

**Joonis 50.** ↓ Kütte- ja jahutussüsteemide ning valgustuse energiatarbed.



25%lt 50%le. Mõlemal juhul on kasutatud variandi 4 klaaspakette ja muid läheandmeid, vt tabel 31. Tulemused joonisel 50 näitavad, kuidas akende osakaalu suurendamine vähendab valgustust, kuid tõstab märgatavalt kütte- ja jahutusenergiavajadust ning vastavaid energiatõhususarvu komponente (mille sisse kuuluvad ka süsteemide kaod ja kasutegurid). Toodud energiatõhususarvu komponentide summeerimine näitab, et 25% akna osakaaluga (mis tagab keskmise päevalgusteguri 2%) on saavutatud palju väiksem energiatõhususarv.

Fassaadi kujundamise näites toodud põhimõtteid järgides on variandis 2 vähendatud akende pindala 25%ni. Et tagada piisav päevalgus, on asendatud algsed klaaspaketid võimalikult kirkaste, kuid samas väga soojapidavate pakettidega (variant 3), mis kaetakse automaatselt juhitavate väliste ribidega lõunaküljel ning topelfassaadi vahele paigaldatud ribidega ida- ja lääneküljel (variant 4). Võrreldes väliste üsna tugevate ribidega kõlbavad topelfassaadi vahele kergemad ribad, kuna need on kaitstud tuule ja sademete eest. Kirkaste klaaside kasutamine võimaldab efektiivsemalt ära kasutada loomulikku päevalgust ning seeläbi vähendada akende osakaalu esialgselt 36%lt 25%le.

Variandis 5 on kasutusele võetud efektiivsem ventilatsioonisüsteem, mis vajab ka rohkem ruumi suuremate ventilatsiooniseadmete ja torustike tõttu. Variandis 6 on lisatud parim võimalik LED-valgustite ning nõudluspõhise juhtimisega valgustussüsteem. Sellega on energivajadust vähendavad meetmed ammendunud ning edasiseks energiatõhususe parendamiseks tuleb kasutusse võtta lokaalse taastuenergia lahendused. Variandis 7 ongi lisatud

päikeseelektrisüsteem, mille puhul on eeldatud, et 75% hoone katuse pinnast on kaetud lõunasse orienteeritud PV-paneelidega kogupindalaga 251 m<sup>2</sup> ning paneelid on paigaldatud 0,5 m vahega varjestuse vältimiseks. Arvutusvariantide lähteandmed, mida analüüsi käigus muudeti, on toodud tabelis 32.

Tulemused näitavad, et sedavõrd kompaktses ja optimeeritud fassaadilahendusega hoones pole nõutud energiatõhususarvu 100 kWh/(m<sup>2</sup> a) saavutamine väga keeruline, vt tabel 33. Antud juhul andsid energiakasutuse vähendamisel suurima efekti ventilatsiooni ja valgustuse efektiivsuse suurendamine. Kuna algolukorras oli akende osakaal välisfassaadil juba üsna väike, mõjutasid selle edasine vähendamine ning välisvarjestuse kasutamine energiakasutust vähemal määral. Tulemused näitavad, et kirkamate klaaside kasutamine ilma välisvarjestuseta suurendab energiakasutust, aga kirkad klaasid koos välise päikesevarjestusega on vajalikud päevalguse maksimaalseks kasutamiseks. Muidu ei oleks võimalik saavutada nõudluspõhise valgustusega tabelis toodud väikest valgustuselektrit.

Kokkuvõttes saavutati energiatõhususarv 86 kWh/(m<sup>2</sup> a), ilma PV-paneelidega toodetud elektrienergiata 97 kWh/(m<sup>2</sup> a). Kuna on tegemist on eskiisprojekti staadiumi väga lihtsa mudeliga, peavad tulemused olema piisava varuga. Näiteks mudelis puuduva tänavakorruse suuremad klaaspinnad võivad energiatõhususarvu suurendada, mis koos muude võimalike muudatustega võivad ilma PV-paneelideta variandi 6 energiatõhususarvu viia üle 100 piiri. Koos PV-paneelidega (variant 7) ligi nullenergiaõue täidetakse aga kindlalt.

**Tabel 32.** ↓ Suur-Ameerika tn 1 kavandatava büroohoone arvutusvariantide lähteandmed.

Variant	Kirjeldus	Akende osakaal	Akende soojusjuhtivus, W/(m <sup>2</sup> K)	Akende kogu päikesekiirguse läbivus, -	Akende valguse läbivus, -	Päikesevarjestus	Soojus-tagasti temp. suhtarv, %/SFP, W/(l/s)	Valgustuse võimsus, W/m <sup>2</sup>	Valgustuse juhtimine	Taastuvenergia kasutamine
1	Eelprojekt	36	0,63	0,26/0,16	0,47/0,30	Puudub	73/1,55	12	On/off	Puudub
2	Akende osakaal 25%	25	0,63	0,26/0,16	0,47/0,30	Puudub	73/1,55	12	On/off	Puudub
3	Väga head aknad	25	0,58	0,51/0,42	0,71/0,62	Puudub	73/1,55	12	On/off	Puudub
4	Välised ribad	25	0,58	0,51/0,42	0,71/0,62	Välised ribad	73/1,55	12	On/off	Puudub
5	Energiatõhus ventilatsioon	25	0,58	0,51/0,42	0,71/0,62	Välised ribad	80/1,3	12	On/off	Puudub
6	Hea nõudluspõhine valgustus	25	0,58	0,51/0,42	0,71/0,62	Välised ribad	80/1,3	5	NP	Puudub
7	PV-paneelid	25	0,58	0,51/0,42	0,71/0,62	Välised ribad	80/1,3	5	NP	PV-paneelid

– algolukord  
– muudetud

**Tabel 33.** ↓ Suur-Ameerika tn 1 kavandatava büroohoone arvutusvariantide energiakasutus.

Variant	Ruumide ja sissepuhkeõhu kütte energia- vajadus, kWh/(m <sup>2</sup> a)	Ruumide ja sissepuhkeõhu tarbevee soojendamise, kWh/(m <sup>2</sup> a)	Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutuse energia- vajadus, kWh/(m <sup>2</sup> a)	Ruumide ja sissepuhkeõhu jahutuse energiakasutus, kWh/(m <sup>2</sup> a)	Ventilaatorid ja pumbad, kWh/(m <sup>2</sup> a)	Valgustus, kWh/(m <sup>2</sup> a)	Seadmed, kWh/(m <sup>2</sup> a)	PV-paneelid, kWh/(m <sup>2</sup> a)	Energia- tõhusus- arv, kWh/(m <sup>2</sup> a)
1	25,7	26,0	5,8	2,8	11,4	18,9	18,9	0,0	132,7
2	23,6	23,9	5,8	2,3	11,4	18,9	18,9	0,0	129,8
3	19,8	20,0	5,8	4,7	11,4	18,9	18,9	0,0	131,2
4	21,4	21,7	5,8	2,4	11,4	18,9	18,9	0,0	128,1
5	14,8	15,0	5,8	2,4	9,7	18,9	18,9	0,0	118,8
6	19,3	19,7	5,8	1,9	9,7	6,4	18,9	0,0	96,8
7	19,3	19,7	5,8	1,9	9,7	6,4	18,9	-5,5	85,9

## Lisa 1

### Energiatõhususe ja -arvutuse põhimõisted

**Eksporditud energia** – hoones või kinnistul toodetud soojusenergia või elekter, mida ei kasutata hoones ja mis eksporditakse energiavõrkudesse.

**Lokaalne taastuenergia** – hoones või kinnistul päikese-, tuule-, vee-, pinnase- või tuuleenergiast toodetud elekter või soojusenergia. Soojuspumpade puhul võetakse energiaallikast saadud taastuenergia energiaarvutuses arvesse soojuspumba soojusteguriga.

**Tarnitud energia** – aastane elektrivõrkudest hangitud elektrienergia või kaugküttevõrkudest hangitud soojusenergia kilovatt-tundides (kWh/a) või kütuste tarnijatelt hangitud kütuste energiasisaldus kilovatt-tundides, millega kaetakse lokaalsest taastuenergiast katmata jääv hoone summaarne aastane energiakasutus. Kinnistult hangitud kütused loetakse tarnitud energiaks.

**Hoone summaarne energiakasutus** (kWh/a) – hoone sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ja elektriseadmete kasutamiseks vajalik tehnosüsteemide soojusenergia ja elektrikasutus, arvestamata lokaalset taastuenergiat (välja arvatud soojuspumbad). Hoone summaarne energiakasutus sisaldab kõiki tehnosüsteemide, sealhulgas soojusallikate ja lokaalse tootmise jaotussüsteemide kadusid ja energia muundamist (näiteks soojuspumba soojustegur, külmajaama jahutustegur, koostootmine, kütuseelement).

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

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

**Erikasutus** – aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone kōetava pinna ruutmeetri kohta [kWh/(m<sup>2</sup> a)].

**Summaarne eksporditud energiaste kaalutud erikasutus** – energiakandjate lõikes arvutatud eksporditud energiaste ja energiakandjate kaalumistegurite korrutiste summa.

**Summaarne tarnitud energiaste kaalutud erikasutus** – energiakandjate lõikes arvutatud tarnitud energiaste ja energiakandjate kaalumistegurite korrutiste summa.

**Hoone standardkasutus** – hoone tavapärase kasutus energiastõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamisel. Standardkasutuse kindlaks määramisel võetakse arvesse hoone kasutamise otstarve, välis- ja sisekliima, hoone ja tehnosüsteemide kasutusaeg ning vabasoojus.

**Energiatõhususarv** [kWh/(m<sup>2</sup> a)] – arvutuslik summaarne tarnitud energiaste kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiaste kaalutud erikasutus.

**Välispiirete summaarne soojuserikadu kōetava pinna ruutmeetri kohta** [W/(m<sup>2</sup> K)] – hoone kōetava pinna ühe ruutmeetri soojuskadu läbi välispiirete, kui temperatuuride erinevus hoone sees ja väljas on üks kraad. Soojuserikadu moodustub summaarselt kõikidest välispiirete ja välispiirete ebatihedustest (infiltratsioonist) tulenevatest soojuskadudest.

**Netoenergiavajadus** – sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ning valgustuse ja seadmete kasutamiseks vajalik soojus- ja elektrienergia ilma süsteemikadude ning energia muundamiseta. Netoenergiavajadus jaguneb järgnevalt: netoenergiavajadus ruumide kütteks, ruumide jahutamiseks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, ventilatsiooniõhu jahutamiseks, ventileerimiseks, tarbevee soojendamiseks, valgustamiseks ja seadmete kasutamiseks.

**Valideeritud tarkvara** – sisekliima ja energiaarvutuse tarkvara, mille valideerimiseks on tehtud võrdlusarvutus vastava standardi või meetoodika järgi. Vabariigi Valitsuse määrus nr 68 aktsepteerib valideerimiseks



vastavaid Euroopa (EVS-EN), ISO, ASHRAE ja CIBSE standardeid ning IEA BESTESTi meetodikat või nendega samaväärseid üldtunnustatud meetodikaid.

**Kuluoptimaalse energiatõhususega hoone** – hoone, mille energiatõhususarvu piirväärtus tagab minimaalsed elutsükli kogukulud, mis moodustuvad ehitusmaksumusest ning iga-aastastest energia-, hooldus- ja käituskuludest (arvestuslikult elamutele 30 aastat ja mitteelamutele 20 aastat elutsük-

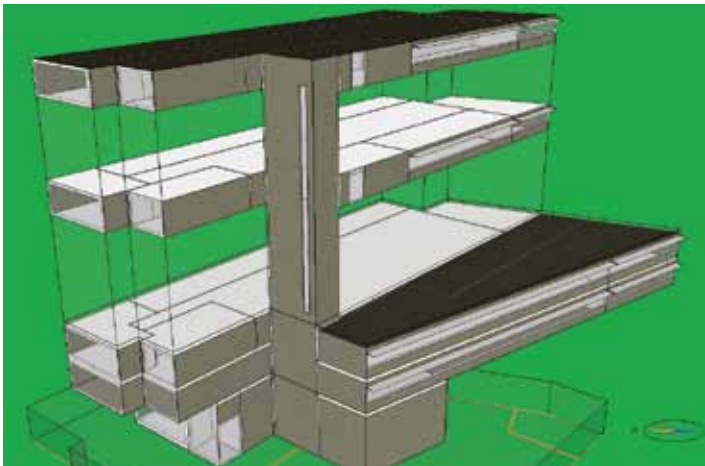
li nüüdisväärtuse investeerimisarvutusena).

**Kõetav pind** – sisekliima tagamisega ruumide netopind.

**Õhulekkearv** – hoone välispiirete õhupidavust iseloomustav näitaja, mis on määratud õhulekkestega 50 paskali (Pa) rõhkude erinevusel. Hoone keskmine õhulekkearv [ $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ] antakse välispiirete ruutmeetri kohta. Välispiirete pindala arvutatakse sise- mõõtude põhjal.

## Lisa 2

### Arvutusnäidetes kasutatud büroohoone lähteandmed



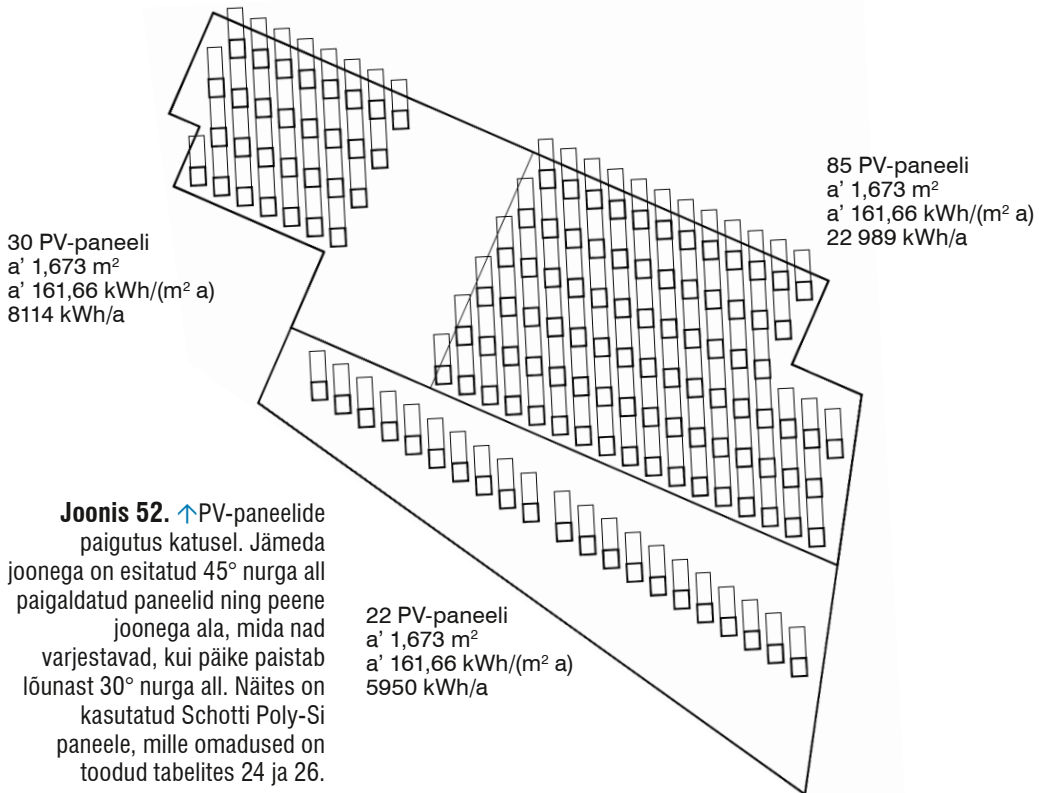
**Joonis 51.** ←IDA-ICE energiasimulatsiooni arvutusmudel. Allpool on näha büroohoonest modelleeritud esimesed kolm korrust, mille mõõtmel erinevad muudest korrustest. Muudest korrustest on modelleeritud 7. ja ülemine (10.) korrus.

**Tabel 34.** ↓Arvutusnäite büroohoone pindalad ja muud lähteandmed.

Büroohoone	Kõetav pind (v.a garaaž), m <sup>2</sup>		Korruseid (v.a garaaž)	
		7116,3		10
Välispiirded	Välissein	Katuslagi	Põrand välisõhu kohal	
Soojuslähivus, W/(m <sup>2</sup> K)	0,18	0,15	0,15	
Pindala, m <sup>2</sup>	2682,6	1125,0	692,7	
Aknad	Pindala, m <sup>2</sup>	Summaarne soojusjuhtivus, W/m <sup>2</sup> K	Raami osakaal, %	Päikeselähivus, -
		1522,0	1,4	20
Sisemised soojuseraldused	Inimesed	Valgustus	Seadmed	
Võimsus, W/m <sup>2</sup>	5	10	12	
Kasutusaste, -	0,55	0,55	0,55	
Ventilatsioon	Õhuvahetus, l/(s m <sup>2</sup> )		Soojustagastuse temperatuuri suhtarv, %	
	±2,0		70–80	

Peatükk	Soojtagasti temp. suhtarv, %/SFP, W/(l/s)	Akende osakaal, %	Akende soojusläbivus U, W/(m <sup>2</sup> K)	Akende kogu päikesekiirguse läbivus g, -	Päikesevarjestus	Vent. sissepuhe, °C	Valgustuse võimsus, W/m <sup>2</sup>	Valgustuse juhtimine	Taastuenergia kasutamine
2.3	70/2,5	35	1,4	0,40	Puudub	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.1	80/1,3	35	1,4	0,40	Puudub	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.2	80/1,3	25	1,4	0,40	Puudub	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.2	80/1,3	50	1,4	0,40	Puudub	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.2	80/1,3	90	1,4	0,40	Puudub	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.2	80/1,3	25	0,58	0,50	Puudub	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.2	80/1,3	50	0,58	0,50	Puudub	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.2	80/1,3	90	0,58	0,50	Puudub	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.3	80/1,3	25	0,58	0,50	Väline ribi	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.3	80/1,3	50	0,58	0,50	Väline ribi	+16...+19	10	On/off	Puudub
4.4	80/1,3	25	0,58	0,50	Väline ribi	+22	10	On/off	Puudub
4.4	80/1,3	25	0,58	0,50	Väline ribi	+16...+19	5	On/off	Puudub
4.4	80/1,3	25	0,58	0,50	Väline ribi	+16...+19	10	Nõudluspõhine	Puudub
4.4	80/1,3	25	0,58	0,50	Väline ribi	+16...+19	5	Nõudluspõhine	Puudub
5.6	80/1,3	25	0,58	0,50	Väline ribi	+16...+19	5	Nõudluspõhine	PV-paneelid

Tabel 35. ↑Büroohoone arvutusmodellide variantide kirjeldus.





Käesolev raamat on valminud Tallinna Tehnikaülikooli liginullenergiahoonete uurimisgrupi esimese aasta töö tulemusena.

Uurimisgrupi juht, professor Jarek Kurnitski on Euroopa Kütte-, Ventilatsiooni- ja Õhukonditsioneerimise Assotsiatsioonide Föderatsiooni (REHVA) asepresidendina juhtinud REHVA liginullenergiahoonete töörühma, mille eesmärgiks on Euroopa liginullenergiahoonete tehniliste määratluste väljatöötamine.

Teadaolevalt on Eesti Taani järel teise Euroopa Liidu riigina kehtestanud ametlikud liginullenergiahoonete nõuded, mis koos energiatõhususe miinimumnõuete ja arvutusmetoodika määrustega kuuluvad uurimisgrupi esimese aasta töötulemuste hulka.

Euroopa parima oskusteabe ja liginullenergiahoonete kogemuse koondamine käesoleva raamatu kaante vahele annab Eesti kinnisvaraarendajatele ja ehitussektorile ainukordse võimaluse projekteerida ja ehitada tehniliselt kõrgetasemelisi energiatõhusaid hooneid majanduslikult otstarbekal viisil.

