

**ENERGIATÕHUSUSE JUHENDMATERJAL JA METOODIKA
PEAPROJEKTEERIJATELE JA ARHITEKTIDELE**

Rein Murula, Aleksei Tihhonov, Jarek Kurnitski, Martin Thalfeldt

2017

Eessõna

Avalike hoonete energiatõhususele hakkavad kehtima 01.01.2019 liginullenergiahoonete nõuded. Energiasäästlike hoonete projekteerimisel kui ka linnaehituslike lahenduste koostamisel on oluline protsessi laiapõhjalisus. Tuleb üle minna intuiitiv-sünteesivalt projekteerimiselt loogilis-analüütilisele projekteerimismeetodile. Kogemuslik-traditsionalistlik, eeskujusid matkiv lähenemisviiv tuleb asendada teadmispõhise, valideeritud monitooringutel ja teaduslikel uuringutel tuginevale käsitlusele.

Selle protsessi algvõti on arhitekti kui peaprojekterija taskus ning tema poolt väljapakutud lahendused projekteerimise algaasis, kui ka projekterijate meeskond ning tegevuspõhimõtted määravad kogu projekti edukuse.

Käesolev juhendmaterjal on jätkuks ja täienduseks 2012 ilmunud „Madal- ja liginullenergiahooned- Büroohoonete põhilahendused eskiis – ja eelprojektid“.

Lisatud on suuremad teemad nagu linnaplaneeringulised lahendused ning „tark asend“, mis eelkõige puudutavad arhitekti kuid ka KOV-de spetsialiste, kes teevad strateegilise otsuseid linnaruumi ning asustuse planeerimisel. Biokliimaatiliste tingimuste arvestamine ning ärakasutamine on võimalik ainult siis, kui linnaehituslik lahendus ja sealt tulenevad ehitusõiguslikud reeglid on seda arvestanud. Selline teemade järjestus püramiidiks ülesehitatuna, iseloomustab kõige paremini probleemi keerukust ja etapilisust. Hoone energiatõhusatele lahendustele peab olema loodud võimalikult head eeltingimused. Linnaplaneeringulised lahendused on kui komplekstooria klassikalised näited, mille puhul determinantsed mudelid ei ole kasutatavad. Sootsiumi otsused võivad olla vastuolulised ning ei allu energiasimulatsioonidele vaid kajastavad ühiskonnas aktsepteeritud või ka eelistatud lahendusi. Klassikaline näide tuuleparkidest kui roheline energia põhitootjast, on kohalike elenike poolt saanud tihti väga tugeva vastasseisu. Hoonete tehniliste lahenduste puhul hakkab inimfaktori osakaal vähenema, lubades protsesse oluliselt lihtsamalt kirjeldada ning projekti allutada energiatõhususe printsiipidele.

Arhitektuursete lahenduste energiatõhusus on tihti keeruliste kompromisside otsimine esteetika, funktsionaalsuse ja ratsionaalsuse vahel ning mõnikord ka vastuoluliste valikute temaatika. Samas mahulisi ja fassaadilahenduste möödalaskmisi ei saa pärast piirete soojapidavuse või tehnosüsteemide efektiivsuse abil kulutõhusalt parandada. Arhitektil peab olema algusest peale tunnetus ja abivahendid energiatõhususe jälgimiseks, sest tema poolt pakutud lahendus määrab enamuse hoone elemente, mis oluliselt mõjutavad hoone energiatõhusust s.h. ka köetava pinna suurus, mis on üks energiatõhususe valemipõhielemente. Juhendmaterjal on käsitletud kõiki energiatõhusa hoone kavandamiseks vajalikke arhitektuurseid ja tehnilisi lahendusi.

Samas jõuame püramiidi tipus-lokaalse taastuvenergia kasutamisel tagasi linneehituslike koosluse juurde läbi „targa linna“ integreeritud lahenduste.

Rein Murula, Jarek Kurnitski

Sisukord

1	ÜLDOSA SISSEJUHATUS	4
2	LINNAPLANEERINGULINE LAHENDUS	7
2.1	ASUKOHT. LINNAKESKKOND.	7
2.1.1	<i>Energiaga seotud aspektide mõju linnade kujundamisele</i>	7
2.1.2	<i>Kompaktsete ja päikeseenergiat kasutavate hoonete projekteerimise põhimõtted</i>	10
2.1.3	<i>Linnaplaneerimise juhised</i>	16
3	TARK ASEND	27
3.1	BIOKLIIMAATILINE ANALÜÜS	27
3.1.1	<i>Päike ja orientatsioon</i>	27
3.1.2	<i>Tuul</i>	29
3.2	ASENDIPLAANILINE LAHENDUS	30
3.2.1	<i>Insolatsioon ja varjestus</i>	32
3.2.2	<i>Kõrghaljastus energiatõhususes</i>	35
4	ARHITEKTUURNE MAHT JA VORM	40
4.1	ENERGIASÄÄSTLIK TÜPOMORFOLOOGIA	40
4.1.1	<i>Vormifaktor</i>	41
4.1.2	<i>Aatriumi tehnoloogilised eelised ja kujundamine</i>	44
4.2	RESILIENTSUS	48
4.2.1	<i>Adaptatiivne arhitektuur</i>	49
4.2.2	<i>Segatud funktsioonid</i>	51
5	FASSAADIDE KUJUNDAMINE	56
5.1	VÄLISPIIRDED JA AVATÄITED	56
5.1.1	<i>Päevavalguse parameetrid</i>	60
5.1.2	<i>Aknaklaaside valgus-, päikese- ja soojustlähivus</i>	62
5.1.3	<i>Akende valik vastavalt päevavalgusele</i>	64
5.1.4	<i>Aknad ja klaasfassaadid</i>	68
5.3	VARIJSTUS.....	74
6	EFEKTIIVSED TEHNOSÜSTEEMID	83
6.1	SISEKLIIMA TAGAMISE EELDUSED	83
6.2	SISEKLIIMA PARAMEETRID	83
6.2.1	<i>Tehnoloogilise lahenduse skemaatiline kontseptsioon</i>	87
6.3	ÕHUSTAMISE PÕHIMÕTTELISED LAHENDUSED	87
6.3.1	<i>Lõppelemendi rõhulangule dimensioneerimine</i>	91
6.4	JAHUTUS	93
7	ENERGIAVARUSTUS	96
7.1	ENERGIATÕHUSUSE DEFINITSIOONID JA TASEMED	96
7.2	ENERGIAVARUSTUS, KÜTTE JA JAHUTUSSÜSTEEMID	98
7.2.1	<i>Soojuspumbad</i>	99
7.3	ENERGIAVÕRGUSTIK	101
8	LOKAALNE TAASTUENERGIA	103
8.1	PÄIKESEPANEELID	103
8.1.1	<i>Päikesekiirgus hoone tasapindadele</i>	103
8.1.2	<i>Katusele paigaldatavad päikesepaneelid</i>	106
8.1.3	<i>PV-paneelide optimaalne kaldenurk katusele paigaldamisel</i>	107
9	LISAD	110

1 Üldosa sissejuhatus

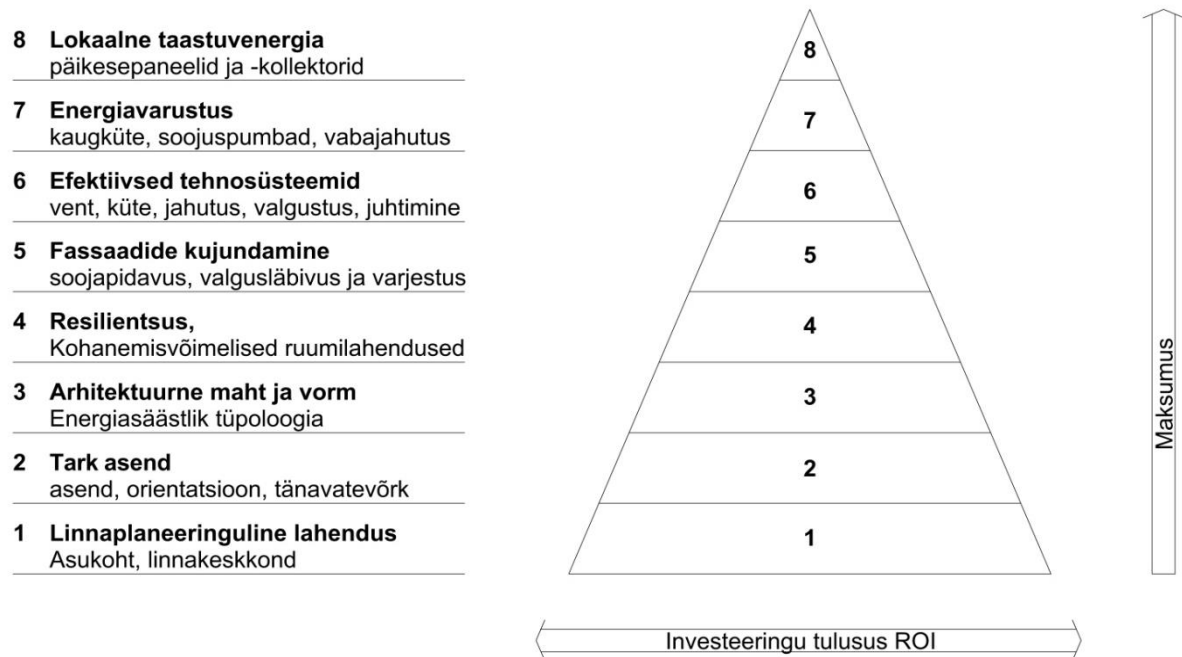
Juhend on koostatud projekteerimisprotsessi tegevuste järjekorda järgiva struktuuriga. Juhendi struktuur on jagatud kaheksaks teemaks koos sissejuhatava peatükiga. Kolm esimest teemat on hoone linnaplaneeringulisest lahendusest, paigutusest ja sidususest keskkonnaga ning arhitektuursest vormist. Esimesed teemad on planeeringu ja eskiisprojekti faasist, mis on kohaliku sootsiumi, tellija meeskonna ning arhitekt-projekterija vastutada. Alates viiendast teemast on käsitletud kitsamalt erinevaid projekti osasid ning nende probleematikat.

Samas jõuame püramiidi tipus lokaalse taastuenergia kasutamisel tagasi linnehituslike koosluste juurde läbi „targa linna“ integreeritud lahenduste.

Eesmärk

Eesmärgiks on koostada büroohonetele, koolimajadele ning muudele avalikele hoonetele kesksed projekteerimisühendused ning soovituslikke lahendusi energiatõhususe jälgimiseks ja tagamiseks projekteerimisprotsessis.

Erilist tähelepanu pööratakse lahenduste kirjeldamisele mida arhitekt otsustab enne eriosade projekteerija kaasamist energiasimulatsioonide eelses faasis. Juhendis esitatav metoodika, tüüpvõtted ja lahendused peavad võimaldama nii arhitektil kui tellijal algusest peale kontrollida, et projekteerimine läheb õiges suunas ning energiatõhususe eesmärgid saavutatakse kulutõhusal viisil.



Joonis 1.1 Originaallikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohonete põhilahendused eskiis- ja eelprojekti., Riigi Kinnisvara AS and Tallinn University of Technology, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

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.

Linnaplaneeringuline lahendus ja piirkonna energiapoliitika peaks sündima üldplaneeringu tasandil. Planeeringulised otsused - maakasutuse ning hoonete funktsioonide mitmekesisuses, biokliimatiliste faktorite arvestamine, infrastruktuuri kompaktsus, hoonestustihendus jne. on tihti energiatõhususe saavutamise võtmeküsimused. Samas tuleb näha probleemi kompleksust, sest teatud olukordades on sootsiumis vastuolud, näiteks uushoonestuse kavandamisel miljööväärtuslikele aladele või linnakeskuste tihendamisel.

Tark asend kui biokliimatilise olukorra maksimaalne ära kasutamine on põhifaktor, mis võimaldab lokaalse taastuvenergia maksimaalset kasutamist. Hea asendiplaneeringuline lahendus loob eelduse kasutada looduslikku varjestust kõrghaljastuse näol, mis on kõige ratsionaalsem lahendus hoonete ülekütmise vältimiseks.

Arhitektuurne maht ja vorm oma põhilahenduses määravad ära energiatõhususe mitmed põhiparameetrid. Hoone kompaktsus kirjeldatuna suhtarvuna, kus hoone soojuserikadu H taandatakse köetava netopinna ruutmeetrile, on põhieelduseks energiatõhusale lahendusele. Hoone soojapidavus mõõdetuna köetava netopinna kohta arvatud soojuserikaona H/A_{neto} on hoone soojapidavuse põhinäitaja, mis sisaldab nii kompaktsuse, akende suuruse ja soojustuse taseme mõju. Soojuserikadu H arvutatakse summeerides kõikide välispiirete osade soojusläbivuste (U -arvude) ja pindalade korrutised, millele lisatakse ka külmasildade ja infiltratsiooni soojuserikaod. Hoone kompaktsus ($A_{\text{vp}}/A_{\text{neto}}$ või A_{vp}/V , kus A_{vp} on välispiirete pindala ja V ruumala) paraneb olulisel määral hoone suuruse kasvades.

Fassaadide, soojapidavus, valguläbilaskvus, varjestus

Välispiirete soojapidavuse, akende ja seinte soojusläbivuse, akende osakaalu ning õhupidavuse näitajad on kõik abinäitajad, mis sisalduvad hoone soojapidavuse põhinäitajas. Välispiirete soojapidavus mõõdetuna soojuserikaona H/A_{vp} , kus A_{vp} on välispiirete pindala, tähendab sisuliselt välispiirete pindalaga kaalutud keskmist soojusläbivust ehk U -arvu. Nende abinäitajate väärtused sisaldavad teatud mänguruumi ja võimaldavad mitmeid valikuid, eeldusel et hoone soojapidavus H/A_{neto} suudetakse kontrolli all hoida.

Hoone projekteerimise algfaasis on otstarbekas kasutada energiatõhususe põhiparameetrite kontrollarvused, et hinnata madal- või liginullenergiahoone energiatõhususarvu saavutamist. Selliseid kontrollarve on toodud joonisel 4.4. Madal- ja liginullenergiahoonete ainuke erinevus on vastavalt definitsioonile lokaalse taastuvenergia tootmises, kuna madalenergiahoonete puhul ei eeldata lokaalset elektrienergia tootmist. Muud kontrollarvud on madal- ja liginullenergiahoonetele samad. Tabelis on toodud võrdlusbaasiks ka tavahoonete heale ehituspraktikale vastavad väärtused.

Hoone soojapidavus mõõdetuna köetava netopinna kohta arvatud soojuserikaona H/A_{neto} on hoone soojapidavuse põhinäitaja, mis sisaldab nii kompaktsuse, akende suuruse ja 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_{vp}/V , kus A_{vp} on välispiirete pindala ja V ruumala) paraneb olulisel määral hoone suuruse kasvades, on tabelis toodud eraldi väärtused vastavalt köetava netopinna suurusele.

Akende osakaal, päikeseläbivustegur g , päikesevarjestus ja jahutusvõimsus moodustavad ühe näitajate grupi, mis mõjutab päevalgust ja jahutusvajadust. Akende suurus ja valgusläbivus tuleb valida nii, et oleks tagatud minimaalne keskmine päevalgustegur päevalgustsoonis (töökohtades). Ühtlasi tuleb minimeerida kütte- ja jahutusvajadustest ning valgustusest tulenevat energiatõhususarvu osa, fassaadid nende parameetrite osas optimeerides. Fassaadide kujundamisega seonduvat on käsitletud punktides 4.2, 4.3 ja

5.1. Väline päikesevarjestus võimaldab kasutada hea valgusläbivusega klaase, mis omakorda võimaldavad vähendada akende pindala päevavalgusest sõltumata.

Efektiivsed tehnosüsteemid

Projekteerimise algstaadiumis määratletakse sisekliima parameetrid - soojuslik mugavus, õhu kvaliteet, ruumide valgustus ja akustika. Nende parameetrite tagamiseks kujundatakse hoone tehnoloogiline üldkontseptsioon.

Määratakse tehniliste ruumide paiknemine ja suurus ning hoone siseinstallatsioonide vajalik ruumivõrgustik. „Maja kopsude“ ehk ventilatsiooniseadmete kui kõige suurema ruumivajadusega süsteemi lahendused peaksid kujunema projekteerimise algstaadiumis. Määratakse jahutuse kavandamise vajadus ning lahendused, kui seda ei saavutata arhitektuursete võtetega, mis eelkõige eluhoonete puhul oleks mõistlik.

Automaatika peab toimima adekvaatselt ja juhtima täpselt teoreetilist reguleerimisalgoritmi, tagamaks maksimaalse energiasäästu. Reageerimiskiirus peab vastama vajadusele. Juhtimine peab vältima või hoidma tehniliselt minimaalsel võimalikul tasemel kõik kõikumised.

Energiavarustus

Linnadel on väga suur roll vastamaks kliimatiliste tingimuste muudatustele. Kümne aastase kogemusele tuginedes on võimalik väita, et linnakeskkonna innovatsiooni ning mõtestatud linnajuhtimisega on võimalik mõjutada kliima muutumist. Vanades ja uutes linnapiirkondades seistakse nüüd silmitsi innustava väljakutsega, millega luuakse eeldused üleminekuks uut tüüpi linnade tekkeks. Uueks energiavarustuse kontseptsiooniks tiheasustusaladel peaks olema targa linna – *“Smart Zero Carbon City”* põhimõtetest lähtuv säästva linnakeskkonna terviklahendus, kus linna ökoloogiline jalajälg ja energianõudlus on kaasaegseid tehnoloogiaid kasutades viidud miinimumini ja energiavarustus baseerub taastuvatel kohalikel energiaressurssidel, mida hallatakse nutikate lahenduste abil.

Lokaalne taastuenergia

Büroohoonetes ja enamuses mitteeluhoonetes taandub lokaalne taastuenergia suures osas soojuspumpadele ja päikesepaneelidele, kuna päikesekollektoritel ei ole märkimisväärset kasutusotstarvet sooja tarbevee vähese kasutuse tõttu ning lokaalsed tuulikud ei paku hoonete kõrgusel nimetamisväärset tootlust. Samuti kuuluvad taastuenergia alla kaugküttes kasutatavad taastuvkütused, mis on arvesse võetud kaugkütte energiakandja kaalumisteguris.

2 Linnaplaneeringuline lahendus



2.1 Asukoht. Linnakeskkond.

*Energiaga seotud aspektide mõju linnaplaneerimisele
Kompaktse ja päikeseenergiat kasutava hoone projekteerimispõhimõtted
Näidisprojektid ja valminud liginullenergia- ja passiivhoonete arendused
Linnaplaneerimise põhimõtted*

2.1.1 Energiaga seotud aspektide mõju linnade kujundamisele

Hetkel laialt levinud märksõnu nagu "päikese linn" (*solar city*) või "energiatõhus linnade areng" (*energy-efficient urban development*) kasutatakse selleks, et rõhutada energiatõhususe nõuete kasvavat tähtsust uute linnaplaneeringuliste meetodite-, mudelite- ja planeerimiskontseptsioonidega. Tihti võetakse nendel juhtudel ruumi/energia vastastikuse sõltuvuse põhimõtted prioriteediks ning käsitletakse seda kui põhilist planeeringulist põhimõtet, arvestamata nende ühepoolset mõju linna- ja sotsiaalühiskondlikule tasandile. Vastuseks nendele konfliktidele ja paljude mõjurite omavahelistele vastastikuste sõltuvuste keerukusele püüavad paljud "traditsioonilised" linnaplaneerijad jätta energiatõhususega seotud temaatika välja linnaplaneerimise teooriast ning protsessidest.

Käesoleva teema eesmärk on viia kaks perspektiivi kokku nii, et energiaga seotud temaatika ning probleemistik muutuksid linnaprojektide oluliseks komponendiks protsessi ühepoolset domineerimata. Erinevad uuringud ja juba rajatud elamukompleksid on näidanud, et madal- ja liginullenergiahoonete ning passiivhoonete kontseptsioonid ja põhimõtted pakuvad sobivaid ja praktilisi lahendusi eelnevalt kirjeldatud probleemidele.

Energiatõhusat linnaplaneerimist mõjutavad tegurid

Faktorid mis mõjutavad energiatõhusat linnaplaneerimist on väga mitmekülgsed ja väga keerulise omavahelise korrelatsiooniga. Just sel põhjusel on palju artikleid, mis sisaldavad väiteid ja soovitusi, mis paistavad vastuolulised. Linnaplaneerimise seisukohast on see väga oluline, et oleks võimalik eristada olulisi ja vähem olulisi parameetreid, samal ajal jälgides energiaga seotud ja planeeringulis-ruumilisi tingimusi.

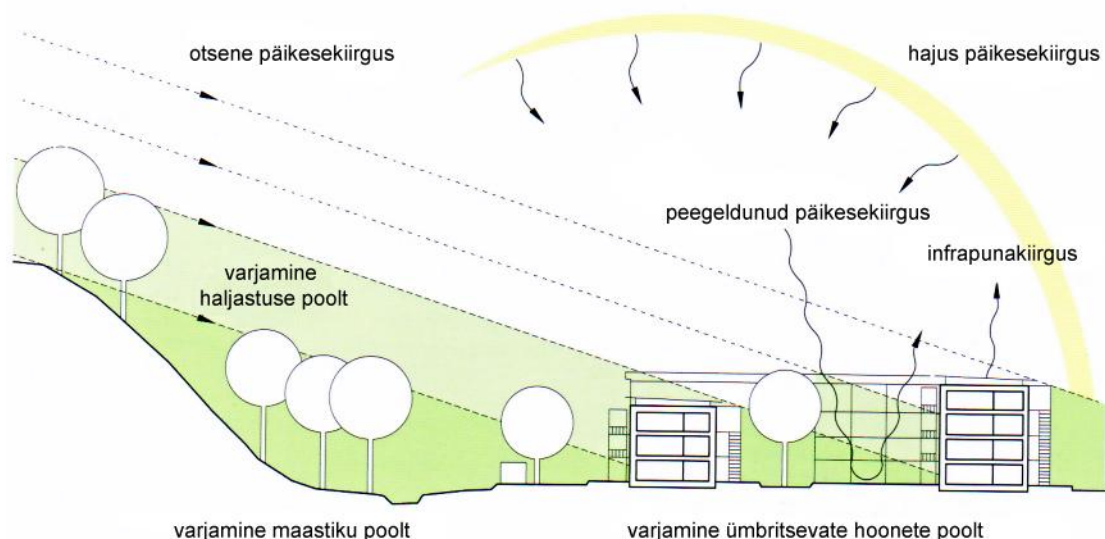
Autorite (1,2,3) süstemaatiliste uuringute tulemused linnaplaneerimise ja energiaga seotud temaatika vastastikuste sõltuvuste kohta võib kokku võtta järgmiselt (joonised 2.1 kuni 2.6)

- Ehitiste energiatõhususe näitajad on elamurajooni energianõudluse kõige olulisem ja peamine tegur.
- Lisaks ehitise energiatõhususele on ehitise tehnosüsteemide kontseptsioon peamiselt vastutav kogu kinnistu primaarenergia tarbimise ja kasvuhoonegaaside heitkoguste eest.
- **Hoonestuse tihedus on linnaplaneerimises kõige olulisim ruumi/energiakasutuse suhet mõjutav planeeringuline parameeter.** See tegur on äärmiselt oluline ka majandusliku efektiivsuse poolest.
- Hoonete ja rajatiste asukoht ning paiknemine linnakeskkonnas mõjutavad olulisel määral päikesevalguse, energia ja insolatsiooni olukorda. Põhifassaadide ja katuste orientatsioon ning ülevarjestamine (varjutamine), topograafilise keskkonna, naaberhoonete ja taimestiku tõttu, mõjutavad päikese soojusenergia kasutatavat kogust.

- Nii suvel kui talvel, on soojusmugavus suurem hoonetes, kus põhifassaadid jäävad lõunasse, kuigi suvel vajavad lõunasse orienteeritud aknad ülekütmise ning valgusräiguse eest varjestust.
- Fassaadide varjutamine on problemaatilisem alumistel korrustel ning hoone sisenurkades. Nendele piirkondadele tuleb hoolikalt tähelepanu pöörata, et tagada piisav päikese ja päevavalguse hulk.
- Regionaalne kliima - isegi väike piirkonna eripära - on oluline küttevajadust mõjutav tegur ja veelgi enam soojuslikku mugavust suvel sise- ja välistingimustes mõjutav faktor.
- Mitmeid põhimõtteid, mida on minevikus peetud väga oluliseks, näiteks tuulekaitse, külmade õhubasseinide moodustumise vältimine või täielikult klaasitud puhverruumide kasutamine on tänapäeva planeerimises jäänud tagaplaanile õhukindla ja väga hästi isoleeritud ehituse piirdetarindite kvaliteedi tõttu.

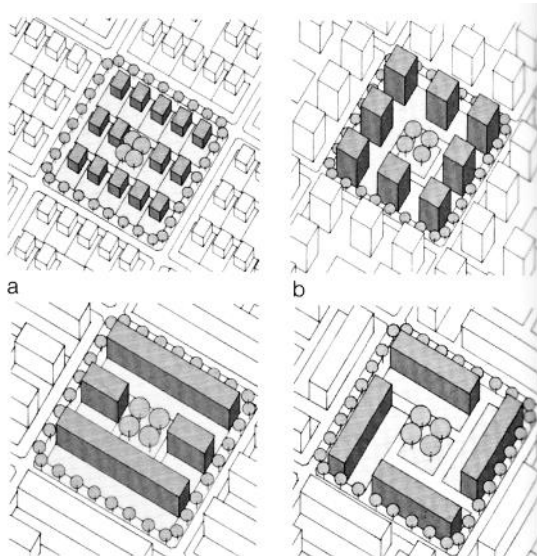
Eespool nimetatud tegurite koostoimet saab hinnata linnade energiauuringute abil. Eesmärk on koostada elamupiirkonna ja üksikute ehitiste energiabilanss, võttes arvesse ehitiste energiatõhusust ja linnaruumi keskkonna eripärasid.

Sel eesmärgil on olemas mitmesuguseid simulatsiooniprogramme, näiteks GOSOL, mis näitavad päikeseenergia kasutamise potentsiaali ja seda mõjutavaid faktoreid (vormi tegur, ebasoodsast orientatsioonist ja minimaalsest varjestusest tingitud vähendatud päikesekütte kogus).



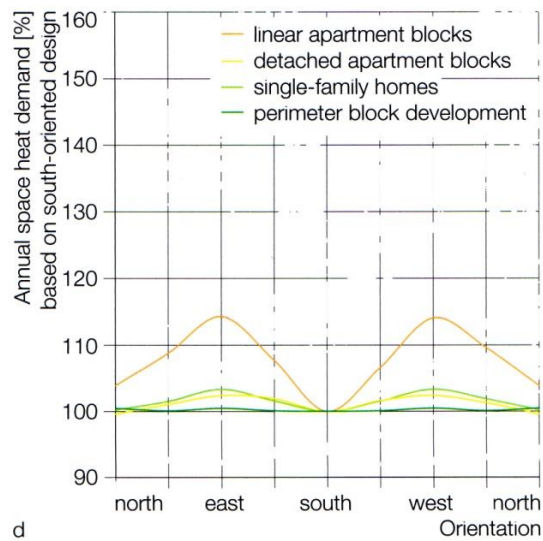
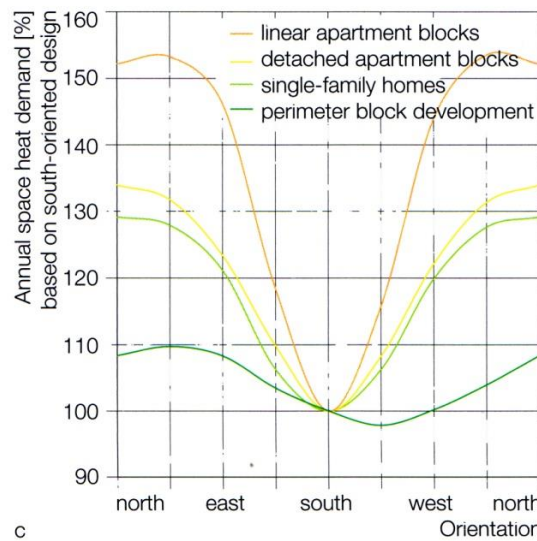
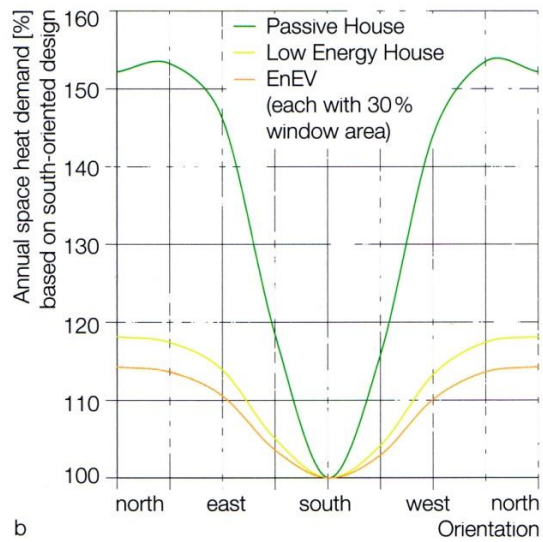
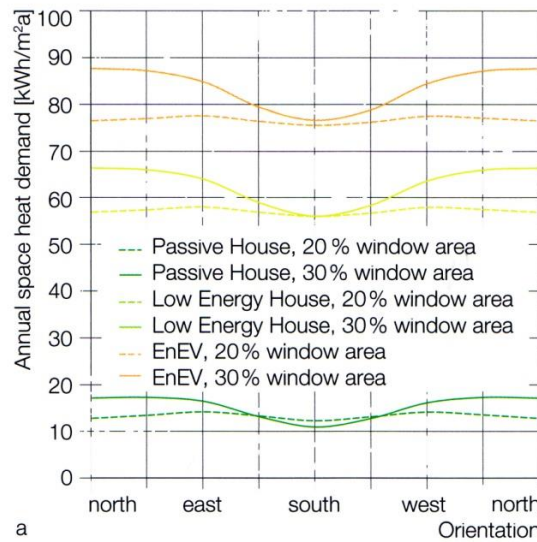
Joonis 2.1 - Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.

Joonis 2.1 - Skemaatiline diagramm, mis kirjeldab päikesevalguse olukorda korterelamute kvartalis. Korterelamute kvartal saab päikeseenergiat otsese-, kaudse ja peegeldunud päikesekiirguse kaudu. Selleks, et hinnata summaarset päikese energia kasutatavuse potentsiaali tuleb arutada igat tüüpi päikesekiirguse langemist päikeseenergiat kasutatavatele pindadele (avatäited, päikesepaneelid), võttes arvesse ilmakaari, kaldeid ja varjestamist (naaberhooned ja haljastus). Ka pika lainepikkusega päikesekiirgus on oluline (kiirgusvahetus külma öise taevaga).



Joonis 2.2 - Energiatõhusad linnaplaneerimisuuringud, mille aluseks on abstraktsed korterelamukvartali tüpoloogiad.
 a. ühepereelamu kinnistu
 b. eraldiseisvad korterelamud
 c. lineaarsed plokid lõunapoolse orientatsiooniga
 d. perimetraalne kvartal

Joonis 2.2 - Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016



Joonis 2.3 - Uuringud, mis käsitlevad aastast energiavajadust vastavalt hoonete energiatõhususe standardile, akna pindala ja hoone tüüpi. Järeldus: ei ole võimalik teha ühtset reeglit hoone orientatsiooni kohta. Energiatõhususe potentsiaal sõltub väga ümbritseva keskkonna tingimustest.

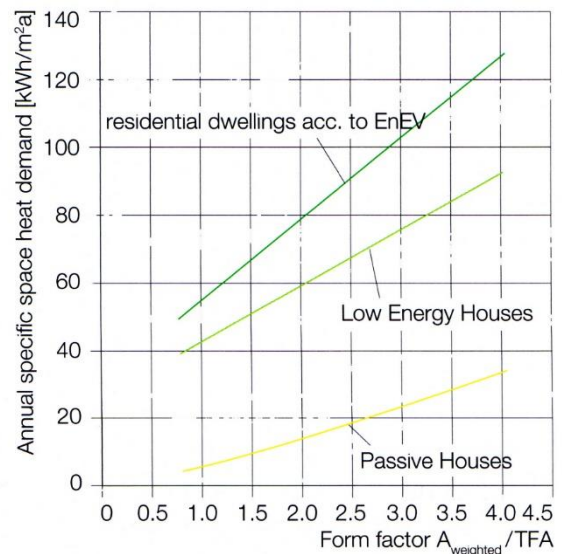
a. aastane ruumi küttevajadus ridaelamu kohta vastavalt peamise fassaadi orientatsioonile ja energiatõhususe standardile.

b. samuti nagu a, kuigi selle punkti puhul on hinnang tehtud arvestades lõunapoole paiknevaid hooneid (=100 %)

c. hoone orientatsiooni suhteline mõju aastasele küttevajadusele erinevatele hoonetüüpidele vastavalt liginullenergia- ja passiivhoone standardile. Akna pindala ja põrandapinna suhe on 30 %. Võrreldes kõigi teiste fassaadidega on akna pindala põhifassaadil suurendatud 1.5 faktori võrra.

d. nagu c. kuigi selles olukorras on suhe 20% ja akende suurus ja paigutus kõigi fassaadide vahel võrdne.

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

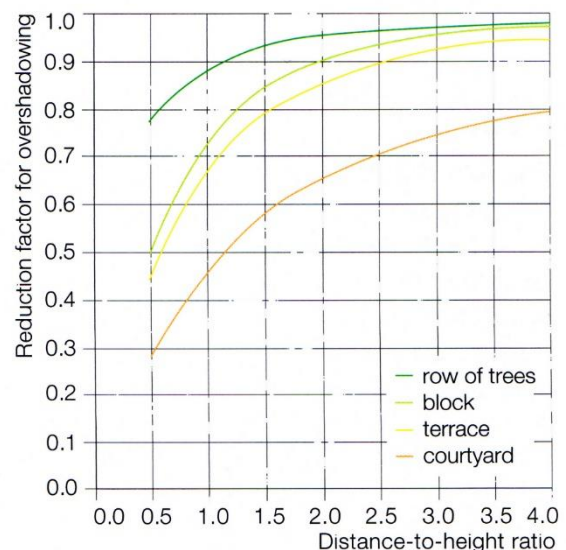


Joonis 2.4 - Aastane küttevajaduse nõudlus mitmetel hoonetüüpidel, valiku vormifaktoritega ja vastavalt erinevatele energiatõhususe standarditele.: *EnEV: German Energy Performance of Buildings Directive (EnEV 2002)*

LEH: Low Energy House

PH: Passive House

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016



Joonis 2.5 - Ülevarjutamist vähendav faktor, mis sõltub hoonete vahemaast ja kaugusest (vahemaa jagatud hoonete või kõrghaljastuse kõrgusega) ühepere elamust, ridaelamust või teest, kvartaalsest sisehoovist või puuderivist, mis asub lõunapoolse põhifassaadi ees.

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

2.1.2 Kompaktsete ja päikeseenergiat kasutavate hoonete projekteerimise põhimõtted

Linnaplaneerimisel mõjutavad hoonete ja kvartalite energianõudlust põhiliselt füüsilised-planeeringulised elemendid nagu: ehitiste paiknemine, hoonetevaheline kaugus, korruste arv, hoonete sügavus ning taimestik. Nende mõjurite põhjal on võimalik tuua välja kompaktse ja maksimaalselt päikeseenergiat ära kasutavate hoonete projekteerimise põhimõtted. Kui kõige olulisemaks energiatõhususe kriteeriumiks valitakse hoone küttevajadus, siis võivad parameetrid viidata kas hoone soojuskadudele - konkreetse pinna ja mahu suhtele või kaalutud / TFA - või hoones kogutud soojushulgale - konkreetse päikeseenergia võimsusele. Nende põhimõtete rakendamist linnaplaneerimises tuleb alati

kaaluda koostöös muude linnaplaneerimise põhimõtetega ning kõik vastuolud planeerimisprotsessi käigus tuleb lahendada.

Kompaktse hoone projekteerimise põhimõtted

Kompaktse hoone kõige olulisemad projekteerimispõhimõtted on kokku võetud joonisel 2.7. Lisaks energiatõhususe olulisuse üldisele hinnangule hõlmab ülevaade ka saavutatava maksimaalse hoonestustiheduse mõju, energiaressursside säilitamist linnaruumi kontekstis ja võimet moodustada ruumi linnakeskkonnas. Peamised kompaktse projekteerimise tegurid on korruste arv, hoone sügavus ja pikkus ning fassaadis tagasiastuvate ning väljaulatuvate elementide kasutamine. Loomulikult ei ole ühekordsed hooned väga kompaktsed. Ehitiste kompaktsust ja vormi määravad enamasti ehitiste paiknemine linnaplaneeringulises kontekstis. (joonis 2.11).

Päikeseenergiat arvestava planeerimise põhimõtted

Päikese energiat kasutatava linnaplaneerimise kõige tähtsamad põhimõtted (joonis. 2.8):

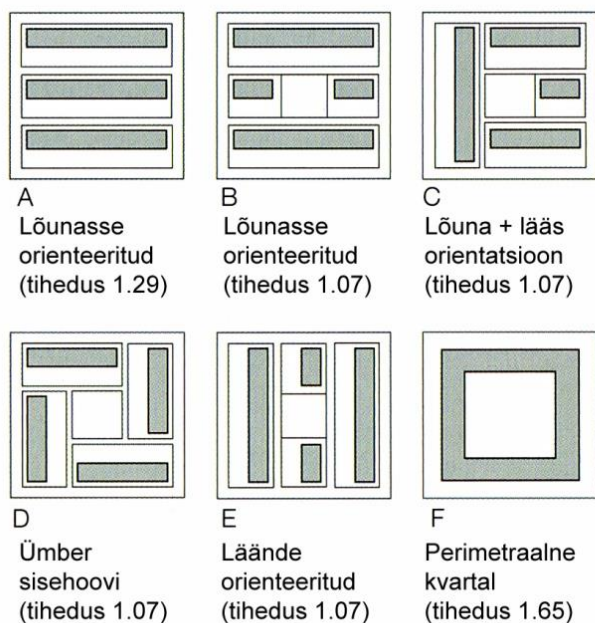
- hoone ja põhifassaadide ja päikeseenergiat kasutavate pindade (päikesepaneelid, päikeseenergia kollektorid) efektiivne orientatsioon lõuna suunas
- piirama päikeseenergiat kasutavate elementide (aknad, kollektorid, paneelid) varjutamist maastikuvormide, haljastuse, naaberhoonete ning hoone enda vormi ning fassaadielementide poolt
- kliima eripärasuste ja eeliste kasutamine (nt lõuna poole pöörduvad mäenõlvad ja tuulekaitstud alad, vältides uduseid piirkondi);

Need planeerimise põhimõtted on kõrgelt hinnatud, kuna nad mõjutavad olulisel määral ka hoone sisekliimat ja selle tunnetust (nt ruumi sisenev päikesevalgus). Mainitud põhimõtete rakendamisel on kerge ebaõnnestuda, kui kinnistu piirangud või lähteülesande erinõuded viivad hoone projekti varajases staadiumites vastuollu järgnevate eesmärkidega.

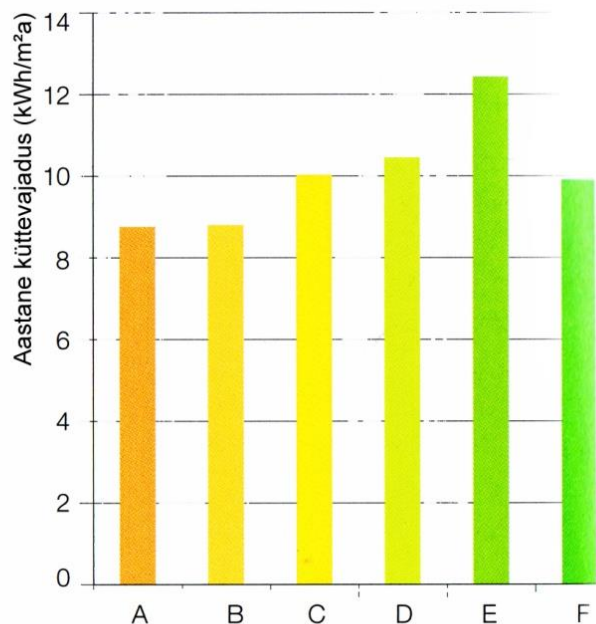
Joonis 2.6 - Ruumi moodustamise mõju aastasele küttevajadusele. Võrdlus erinevate hoonestruktuuride vahel.

a. erinevad linnaplaneeringulised tüpoloogiad A-F nende hoonestustihedusega (FS)

b. aastane küttevajadus kinnistutele A-F, kui need on planeeritud passiivhoonetena.



a



b

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

Vastandlikud eesmärgid

Eelnevalt nimetatud projekteerimise põhimõtete rakendamisel tekivad konfliktid ning vastandused paratamatult järgnevas situatsioonides:

- Nõudlus täiuslike päikesevalguse tingimuste järele talvel suurendab vahemaad hoonete vahel ja tõstab hoonete poolt hõivatava linnaruumi hulka vähendades hoonestustihedust.
- Ehitiste ranget lõunapoolset orientatsiooni on sageli raske saavutada. Ehitiste orientatsiooni valikut ei saa mingil juhul piirata rangelt päikesevalguse või energiaga seotud aspektidega. Linnasisene hoonestamine linnaplaneeringulises kontekstis (juurdepääs, topograafia, morfoloogia), häirivate olukordade lahendamine (müra, kommerts- või tööstusüksused) või vajadus pöörata hoone atraktiivsete keskkonnaomaduste poole (vaated, maastik) kaaluvad sageli üle päikese kasutamise ja energiatõhususega seotud faktorid. Kui puuduvad muud tõsised linnaplaneeringulised vastuväited, siis on kindlasti eeliseks valida hoonele ning põhifassaadidele lõunasse pööratud orientatsioon (+ -45 kraadi).
- Linnaruumi planeerimine eeldab alati mingil määral varjestuse aktsepteerimist (sisenurga ja horisontaalset varju) ja ehitiste või hoonete osi, mis ei ole ideaalse orientatsiooniga (nt kvartaalse hoonestuslaadiga planeeringud, L-kujulised ehitised, sisehoovid ja väljakud). Valguse ja varju suhe on ka oluline aspekt, mis mõjutab oluliselt ruumi tajumist.
- Kõrghaljastus elukeskkonnas soodustab ülevarjestust. Seda probleemi saab pöörata kasuks liginullenergiahoonete puhul, kasutades lehtpuid. Talvise kütteperioodi ajal varjavad päikest ainult harud ning suvisel perioodil on lõunapoolsel küljel kõrghaljastuse mõju positiivne, kuna see pakub varjestust päikese vastu, parendab sisekliimat, vähendab jahutamise vajadust elu- ja avatud ruumides.
- Kompaktse hoonestuse põhimõtteid on võimalik rakendada ka koostöös teiste linnaplaneerimisteooriatega, arvestades olemasoleva keskkonnaga. Näiteks korruste arvu saab suurendada ainult vastavalt linnaplaneeringulisele kontekstile ja üldplaneeringule väga piiratud ulatuses. Ehitiste sügavus on määratletud kinnistu suurusel ja kujust lähtuvalt. Hoone planeerimisel on eesmärgiks vähendada pimedaid tsoone krundi keskel

Kompakse linnaplaneeringu/ hoone põhimõtted ja aspektid

Planeeringuline põhimõte või aspekt	Energiaga seotud mõju	Mõju saavutatavale tihedusele	Panus ressursisäästlikusse: energia/ruum	Mõju linnaruumi kujundamisele
Suurem korruste arv (I - III)	Ruumi küttevajadus: +/+ Soojuskoormus +/+	Lineaarne hoone: +/+ kvartaalne/siseõuega : ++ punktelamu, eraldiseisev: ++	madala tihedusega (tihekorrelised: tihekorrelised katusealusega) hooned on eriti ressursiraiskavad; oluline on võtta arvesse, et parandada ressursi kasutamise efektiivsust	otsene mõju puudub
Suurem korruste arv (>IV)	Ruumi küttevajadus: +/+ Soojuskoormus +/o	Lineaarne hoone: + kvartaalne/siseõuega : + punktelamu, eraldiseisev: o/+	mõju väheneb hoonete puhul mis on üle nelja korruse; kuigi, lisameetmed on vajalikud tuleohutuse, liftide osas	otsene mõju puudub; kõrghoonetest korterelamuid tihti kritiseeritakse sotsiaalsel
Suurem hoone sügavus	Ruumi küttevajadus: +/+ Soojuskoormus +	Lineaarne hoone: +/+ kvartaalne/siseõuega : +/+ punktelamu, eraldiseisev: +/+	linnakontekstis: kombineeritud vormi faktori, tiheduse ja päikesevalguse tingimuste paranemine korterites	otsene mõju puudub; maksimaalne hoonesügavuse piiranguks on konstruktiivse geomeetria ning korteri sügavusest tulenev liigne varju jäämine (korruse plaani
Suurem hoone pikkus (lineaarne hoone)	Ruumi küttevajadus: + Soojuskoormus o/+	Võrreldes eraldiseisvate hoonetega või lühikeste ridaelamutega tõuseb hoonestustihedus	madal positiivne mõju kuna väheneb ruumi- ja energiavajadus	väga pikkasid eluhooneid peetakse ebasobivaks sotsio-ruumiliste aspektide poolest (puudulik elanike identifitseerimine)
Hoone proportsioonid optimeeritud paremaks vormifaktoriks	Ruumi küttevajadus: o/+ Soojuskoormus o	Lineaarne hoone: o/+ kvartaalne/siseõuega : o punktelamu, eraldiseisev: +	on oluline ainult väikeste ehitiste puhul	sujuv eraldiseisvate ja lineaarsete hoonete tihendamise ja muutmise mõjutab linnaruumi vormimist
Katusemaastiku optimeerimine, saavutamaks suuremat kompaktsust	Ruumi küttevajadus: + Soojuskoormus +/o	Eriti oluline hoonete puhul, millel on vähe korruseid: on potentsiaal eluruumide loomisel pööningu	hoonete puhul, millel on vähe korruseid saab säästa ressursi pööningu väljajähtamisega. Samuti juba hoonestatud kruntide tihendamise läbi.	astümmeetrilised katusevormid vajavad eritählepanu linnakonteksti sobitumises seoses erinevate räästakõrgusega
Väljaulatavate osade ja tagasiastete ärahoidmine külmasildade vähendamiseks	Ruumi küttevajadus: +/+ Soojuskoormus +/+	otsene mõju puudub	otsene mõju puudub	struktureeritud hoone väljanägemine on oluline eluhoonete puhul, et elanikud saaksid oma kodu paremini identifitseerida

Joonis 2.7 - Kompakse linnaplaneeringu / hoone projekteerimise põhimõtted ja aspektid. Energiaga seotud olulisuse ja energiaga seotud faktorite, saavutatava tiheduse, ressursisäästlikuse ja linnaruumi kujundamise mõjude hindamine ja võrdlemine.

- ++ väga positiivne mõju
- + positiivne mõju
- o neutraalne mõju
- negatiivne mõju
- väga negatiivne mõju

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

Linnaruumi moodustamine

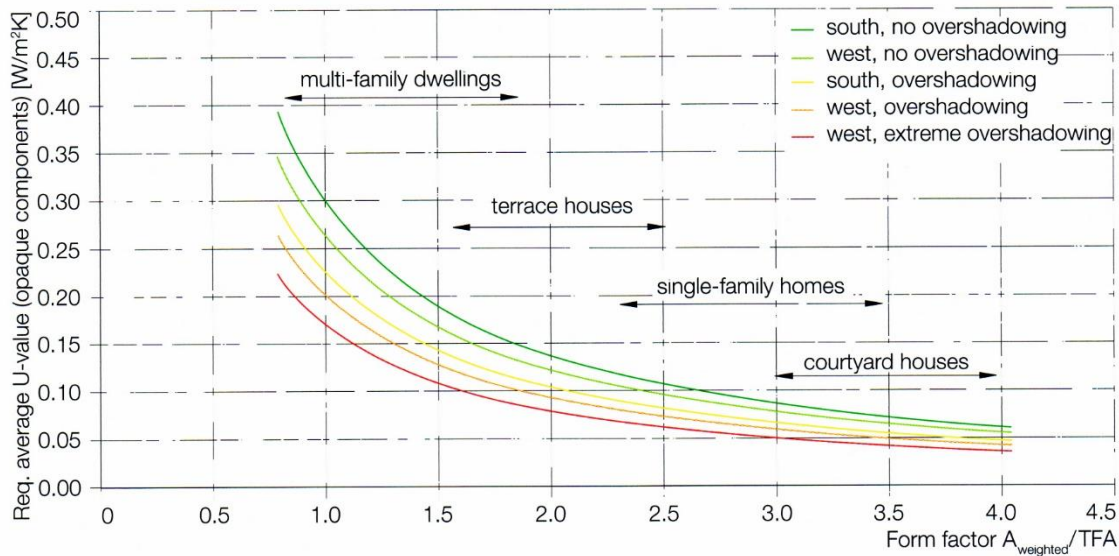
Linnaruumi planeerimine on energiatõhusa ja säästva planeerimise põhimõtete rakendamise proovikivi. Kompaktsuse põhimõtte, lõunapoolne orientatsioon on määravaim rahuldavaks liginullenergiahoonete kontseptsiooni ja energiatõhususe standardi põhimõtteid. Nagu illustreeritud joonisel 2.11 on võimalik kompaktelt paiknevate elamukruntidega saavutada suurem hoonestustihedus ja vähendada ruumikasutust. Lisaks ei ole liginullenergiahoonete planeerimise juhendmaterjalis erinõudeid ja otseseid piiranguid päikesehulga, plaani- või katuselahenduste projekteerimisele. Piirdetarindite soojapidavus ja tehnosüsteemide efektiivsus on põhilised energiatõhususe arvu mõjurid, kuid need ei ole seotud linnaplaneeringuliste teooriate- ja põhimõttega.

Päikeseenergia kasutamise põhimõtted ja aspektid linnaplaneeringu/ hoone puhul

Planeeringuline põhimõte või aspekt	Energiaga seotud mõju	Mõju saavutatavale tihedusele	Panus resursisäästlikusse: energia/ruum	Mõju linnaruumi kujundamisele
Põhifassaadide lõunapoolne orientatsioon	Insolatsioon: ++ Küttevajadus +/++ Soojuskoormus +/- Suvine sisekliima +	otsene mõju puudub, kaudselt: eelistatavad on lineaarsed hoones madala tihedusega	märkimisväärne küttevajaduse vähenemine soosiva orientatsiooniga hoonete puhul, teiste hoonete puhul väike mõju	väga range lõunapoolne orientatsioon võib tuua kaasa kehva kvaliteediga linnaruumi planeeringu ning erisuse puudumise (nt. ainult lõunapoolse paiknevad ridaelamud)
Päikesevalgusele orienteeritud akende paiknemine (A) või lõunapoolsete akende suurendamine (B)	Insolatsioon: ++ Küttevajadus +/++ Soojuskoormus +/- Suvine sisekliima (A) +/- Suvine sisekliima (B) -/-	otsene mõju puudub	möödukas küttevajaduse vähenemine	puudub, strateegiline olulisus - linnaruumi planeerimisel tihti esineva ebasoodsa orientatsiooni kompenseerimine
Päikesevalguse järgi optimeeritud hoonete omavaheline kaugus (kaugus/kõrgus = 3.0 - 5.0)	Insolatsioon: ++ Küttevajadus + Soojuskoormus +/- Suvine sisekliima +/-	tõsine tiheduse vähenemine võrreldes lahendusega, mis järgib minimaalset nõutavat hoonetevahelist kaugust	märkimisväärne ruumivajaduse tõus võrdlemisi väikse küttevajaduse vähenemise arvelt	hoonetevahelised kaugused, mis on (liiga) suured, ei ole soodusta tihti peale linnaplaneeringuliselt mõtestatud linnaruumi loomist
Päikesevalguse kasutamist maksimeeriv hoonete paigutus	Insolatsioon: + Küttevajadus +/- Soojuskoormus +/- Suvine sisekliima +/-	kui hoonetevahelist kaugust peab suurendama parema insolatsiooni tagamiseks, siis hoonestustihedus väheneb märgatavalt	vähene küttevajaduse vähenemine; kuigi mõndades olukordades võib kaasneda märkimisväärne ruumivajaduse suurenemine	tulemuseks on tühtlaselt jaotatud hooned kogu kinnistu piires, puudub linnaruumi erisus
Päikesekiirguse kasutamise järgi optimeeritud kaugus fassaadi ja kõrghaljastuse vahel	Insolatsioon: + Küttevajadus +/- Soojuskoormus +/- Suvine sisekliima -	otsene mõju puudub	panus puudub	kõrghaljastus on oluline faktor, mida kasutatakse linnaruumi struktureerimiseks ja ligipääsude ning avaliku ruumi erisuse loomisel.
Kliima eeliste kasutamine (lõunapoolse orientatsiooniga mäeküljel) või päikese järgi	Insolatsioon: + Küttevajadus +/- Soojuskoormus +/- Suvine sisekliima +/-	tihedus suureneb hoonetevahelise vahemaa vähenemisega	kas küttevajaduse vähenemine (samad vahemaad) või märkimisväärne ruumivajaduse vähenemine	erineva kõrgusega hooneosad võtta arvesse oluline linnaruumi keskkonna planeerimise aspektina
Täiuslik orientatsioon ja katuse kalded (päikese kütte, null- või plussenergia hoonestus)	märkimisväärne mõju päikeseüsteemide tootlikkusele; suur majanduslik tähtsus suure süsteemide maksimume pärast	sõltuvalt energiavarustus süsteemist, on korruste arv piiratud kolme või neljaga	vähendatud fossiilkütuste kasutamine, piiratud hoonestustihedus vähese hulga katusepinna tõttu, mis oleks sobilikud päikeseenergiat kasutavate seadmete paigaldamiseks	mäenõldal asuvatel hoonetel lõunapoolsete päikesepaneelidega katustel ja terrassidega on iseloomulikud probleemid põhjapoolse külje suure kõrgusega seinte osas, sotsio-ruumiliste aspektide tõttu.

Tabel 2.8 - Päikeseenergia kasutamise põhimõtted ja aspektid linnaplaneeringu / hoone puhul. Ülesehituselt identne joonisele 2.7

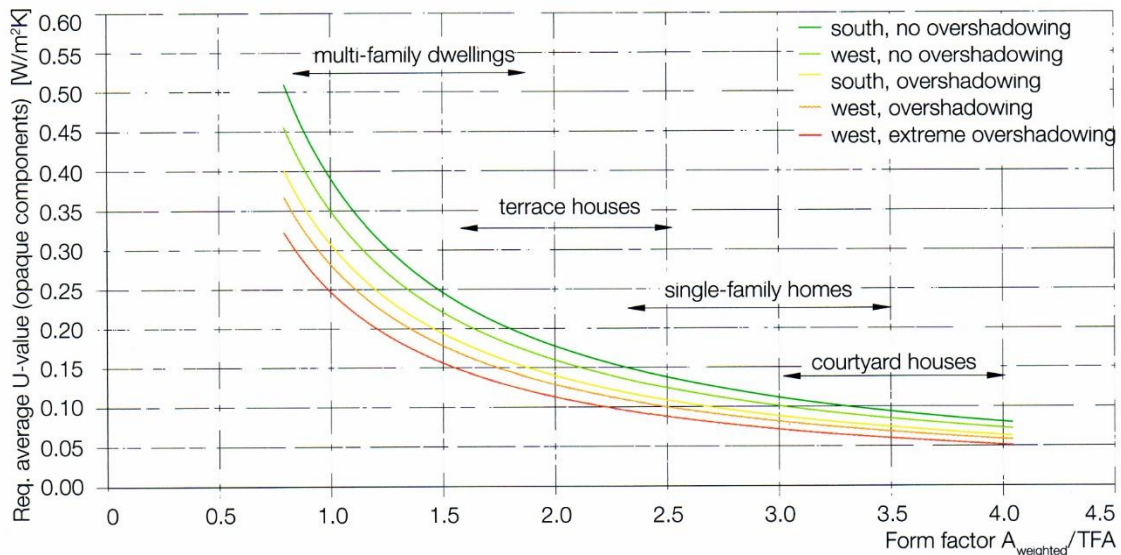
Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016



Joonis 2.9 - Vajalik keskmine u-arv avatäidetele, välispiiretele (katus, välissein, keldri vahelagi), mis vastaks Passiivhoone standardile (küttevajadus 15 kWh/m²a (hoonetele, millel on erinevad orientatsioonid, varjestus ja vormifaktori suhe. Arvutustes kasutati järgmisi tingimusi:

- U-arv aknal: 0.8 W/m²K
- g-arv klaasil: 0.50
- energia õhuvahetusmäär n: 0.08 h⁻¹
- klaasitud aknapind: 20% TFA

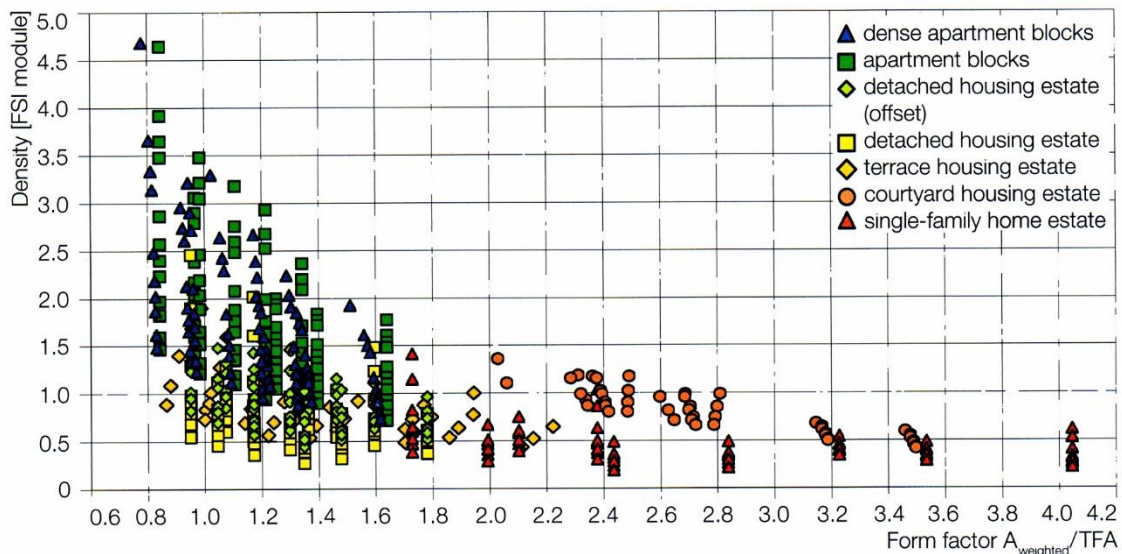
Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016



Joonis 2.10 - sama, mis joonisel. 2.9 ainult parema kvaliteediga liginullenergiahoone või passiivhoone komponentidega (aknad + ventilatsiooni agregaat):

- U-arv aknal: 0.60 W/m²K
- g-arv klaasil: 0.55
- energia õhuvahetusmäär n_i: 0.06 h⁻¹

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016



Joonis 2.11 - Seos energiaga seotud vormifaktori ja saavutava tiheduse vahel. Need on uuringu tulemused, mis analüüsis 1800 eluhoone kinnistut erinevate hoonetüüpidega. Üks esimestest tähelepanekutest näitab, et ei ole kindlat seost tiheduse ja energiakõrgeusega seotud vormifaktori vahel. Eeldusel, et päikesekiirguse järgi optimeeritud hoonetevahelise kauguse nõuded on täidetud, on saavutatud tihedus väga madal isegi väga kompaksete hoonekujude kasutamisel.

Teisalt, kõrgeid hoonestustihedusi on võimalik üldiselt saavutada kompaksete hoonekujudega. Kvartaalsed sisehooviga hooned on erand, sest vaatamata nende madalale kuni keskmisele vormifaktorile on selle tüpoloogiaga võimalik saavutada hoonestustihedusi mis on võrreldavad mitmekorruseliste hoonetega.

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

2.1.3 Linnaplaneerimise juhised

Süsteematilised uuringud liginull- ning passiivhoonete kinnistute kohta on näidanud, et päikeseenergia kasutamine energiakõrgeuse juures sõltub väga suures osas hoonestuse tihedusest ja kompaktsusest (Joonised 2.9 - 2.11):

- Eluruumid ja elamukompleksid, mis ei ole nii tihedad ja kompaktsed (ühekorraldised elamud ja ühepereelamud), vajavad madal- ja liginullenergiahoonete nõuetele vastamiseks suurt pingutust ja kulusid. Päikeseenergia kasutamise maksimeerimine (lõunapoolne orientatsiooni kaudu, minimaalse varjestusega) on eelkirjeldatud hoonetüüpide jaoks hädavajalik.
- Keskmise kompaktsusega eluruumide ja elamukomplekside korral (mitmekorruselised ühepereelamud, ridaelamud, väikesed mitmepereelamud) mõjutavad linnaplaneeringuline lahendus ning energiakõrgeusega seotud parameetrid, hoone kompaktsuse faktor, orientatsioon ning varjestamine olulisel määral hoone kulusid. Kuigi ebasoodsaid tingimusi on siiski võimalik hüvitada põhjendatud kuludega.
- Eriti kompaktsel hoonestusel on ehitise piirdetarinditele kehtivad nõuded võrreldavad tüüpiliste madal-energia hoonetega. Ebasoodsat orientatsiooni või päikese liigset varjestust on võimalik parendada ainult ehitustehniliste lisatingimuste rakendamisel.
- Seega on madal-, liginullenergia- ja passiivhooned sobilikud ka kesklinna kõrge hoonestustiheduse ning ebasoodsate päikesetingimustega olukordadesse.

- Madal- ja liginullenergiahoonete komponentide (aknad, klaaspaketid, mehaanilise ventilatsioon) tehnoloogilise arengu tagajärjel on energiatõhusate hoonete põhimõtete rakendamise võimalused linnades tõusnud, mis on eriti märgatav madala kompaktsusega piirkondades.

Planeerimise tööriist

Linnaplaneerimise põhimõtted sobivad ka esialgse projektlahenduse energiatõhususe ning liginull- ja passiivhoonete projekteerimismeetodite vastavuse hindamiseks. Alustuseks on vajalik määrata vormifaktor ning teha esialgsed hinnangud valguse-päikese situatsiooni kohta (orientatsioon, varjamine). Linnaplaneeringuline lahendus ja energiaga seotud uuringud on lähteandmeteks, kulutõhususe põhimõtetest kantud strateegiliste projekteerimisülesannete koostamiseks.

Näidisprojekt

See projekt on valitud, et illustreerida kuidas jätkusuutliku hoonestamise strateegiad on rakendatud konkreetsele linna arengukavale. See on endiste barakkide Prinz Eugen Kaserne Münchenis muutmine uueks polüfunktsionaalseks 1800 korteri- ning 5000 elanikuga, kooli-, lasteaia-, büroohoonete- ja keskse väljaku- ning teenustega kaasaegseks linnakvartaliks

- Hoonestusettepanek põhineb ideel luua tihedalt ehitatud segakasutusega kvartal, mitmete eraldiseisvate lisakvartalitega (arendustega), mis on võimelised funktsioneerima iseseisvalt (joonis 2.12 a ja b)
- Avalikku ruumi ning korterelamute sisehoove iseloomustavad selged linnaplaneeringuliselt eristuvad proportsioonid. Kool, ühena linnaruumi olulistest komponentidest, on seotud ühtsesse läbivasse linnaplaneeringulisse struktuuri.
- Kõik hooned vastavad passiivhoone standardile. Energiatõhususe kriteeriumite täitmiseks kasutatavad insenertehnilised lahendused erinevad lähtuvalt iga üksiku hoone kompaktsusest ja vormifaktorist, orientatsioonist ning varjutamisest. (joonised 2.12d).
- Enamik hooneid on orientatsiooniga lõuna suunas. Madalama hoonestustihedusega ridaelamute jt sarnase tüpoloogiaga hoonekomplekside puhul on kõik põhifassaadid lõunapoolse orientatsiooniga.
- Päikesepaneelide asukohad on määratletud lõunapoolse orientatsiooniga katustele.
- Küttevajadus on lahendatud kaugküttena, kasutades madalatemperatuurilist süsteemi (Low-EX). Põhivõrgu kasutamine on hoitud minimaalsena, kasutades ainult ühte alajaama kvartali kohta, millest edasi kasutatakse mini-võrkusid. K
- Kõrgema temperatuuriga majapidamisvesi saadakse reoveepumpadega. (joonis 2.12 c).
- Transpordikorralduse kontseptsioon põhineb heale ühistranspordiühendusele (tramm ja buss), peatustega keskväljaku lähedal, autojagamisteenuste võimaldamisele ning elektriliste liikumisvahendite (jalgrattad, elektriautod) kasutamise soodustamisele naabruskonnas.



Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

Joonis 2.12 - Linnaplaneeringuline skeem endiste Prinz Eugen Kaserne barakkide ümberehitusest Münchenis.

Arhitektuurivõistlus. Arhitektid: Matthias Kroitzsh, Elisabeth Notter, Alexander Reichmann, Rainer Vallentin

a asendiplaan

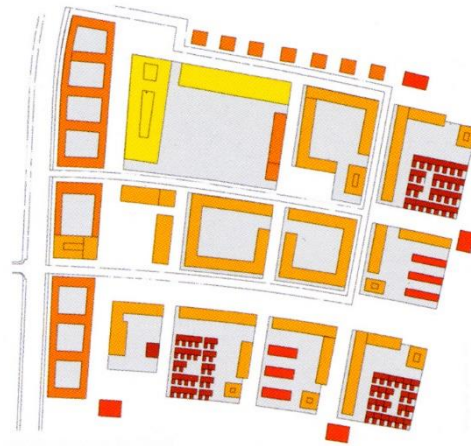
b linnaplaneeringuline/ maastikukujunduse kontseptsioon

c kaugküttesüsteem

d Passiivhoone nõuded (tingimused joonisel. 2.9).

Keskmine piirdetarindite u arv on:

- 0.08–0.10 W/m²K
- 0.10–0.12 W/m²K
- 0.12–0.15 W/m²K
- 0.15–0.20 W/m²K
- > 0.20 W/m²K



d

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

Linnaplaneeringuline lahendus ei ole taotuslikult määratud ainult energiatõhusa planeerimise meetodite alusel. Kliimakaitse strateegia edukas rakendamine sõltub pigem energiatõhususe standardi alusel valminud hoonetest. Meetodid, mida on planeerimisel rakendatud ei mõjuta olulisel määral linnavartali harjumuspärast linnaplaneeringulist väljanägemist.

Passiivmaja arendused

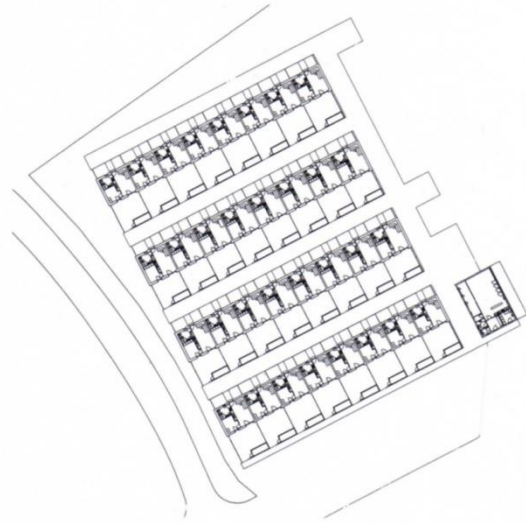
Järgnevad elamurajoonid illustreerivad mitmete aspektide poolest seda, kuidas madal-, liginullenergia- ja passiivhoonete kontseptsiooni on võimalik siduda ja rakendada linnaplaneerimise kontekstis.

Terrasshooned Lystrupis (Taani)

Taani suurim elamurajoon, mis on kavandatud arvestades jätkusuutliku planeerimise meetodeid asub Lystrupi linnas Aarhuse lähedal. 32 korterelamuga arendus põhineb klassikalisel lõunapoolse orientatsiooniga terrasshoone-ridaelamu tüüprojektil. Hooned on puitkonstruktsioonis ning ilma keldriteta. Kitsad kvartalisised jalgteed tagavad ligipääsu hoonete sissepääsudele, sõiduteed ning parkimisrajatised kvartali kvartali piiridel. Arenduse seob tervikuks kogukonnamaja, mis loob avaliku funktsiooniga kvartalisese sotsiaalse kogunemiskoha. Tornilaadsed elemendid, milles paiknevad läbi kahe korruse elutoad, annavad ridaelamutele isikupärase rütmi, millest on kujunenud kogu arenduse iseloomulik joon.



a



b

Joonis 2.13 - Passiivhoonete kompleks Lystrupis (Taani). 2009. Arhitektid: Schmidt Hammer Lassen; konstruktiivne projekt: Olav Langenkamp; energiatõhususe kontseptsioon: passivhus.dk

a. foto

b. asendiplaan

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

Passiivhoonete arendus Fellbachis (Saksamaa)

Fellbachi linn ostis ära endise aiandi kesklinna lähedal, et arendada passiivhoonete elamukvartal. Planeeringuline eesmärk on eraldada kvartali keskosa tänavast, mistõttu on hoonestuse plaan idas kammikujuline, nihutatud katusetasanditega. Lühemad terrassid läänepoolsel küljel on kergelt nihkes võrreldes läänepoolsete hoonetega. Hooned seostuvad naabruskonna madaltiheda hoonestusega ning vaatamata madalale tihedusele on võimalik arendada passiiv- ning liginullenergiahoonete kvartalit kulutõhusal viisil.



Joonis 2.14 - Passiivhoonete arendus Fellbachis (Saksamaa). 2011; Arhitektid: Brucker Architekten; energiatõhususe kontseptsioon: ebök

a foto

b situatsiooniskeem ümbruskonnaga

c mudel-makett

d asendiplaan

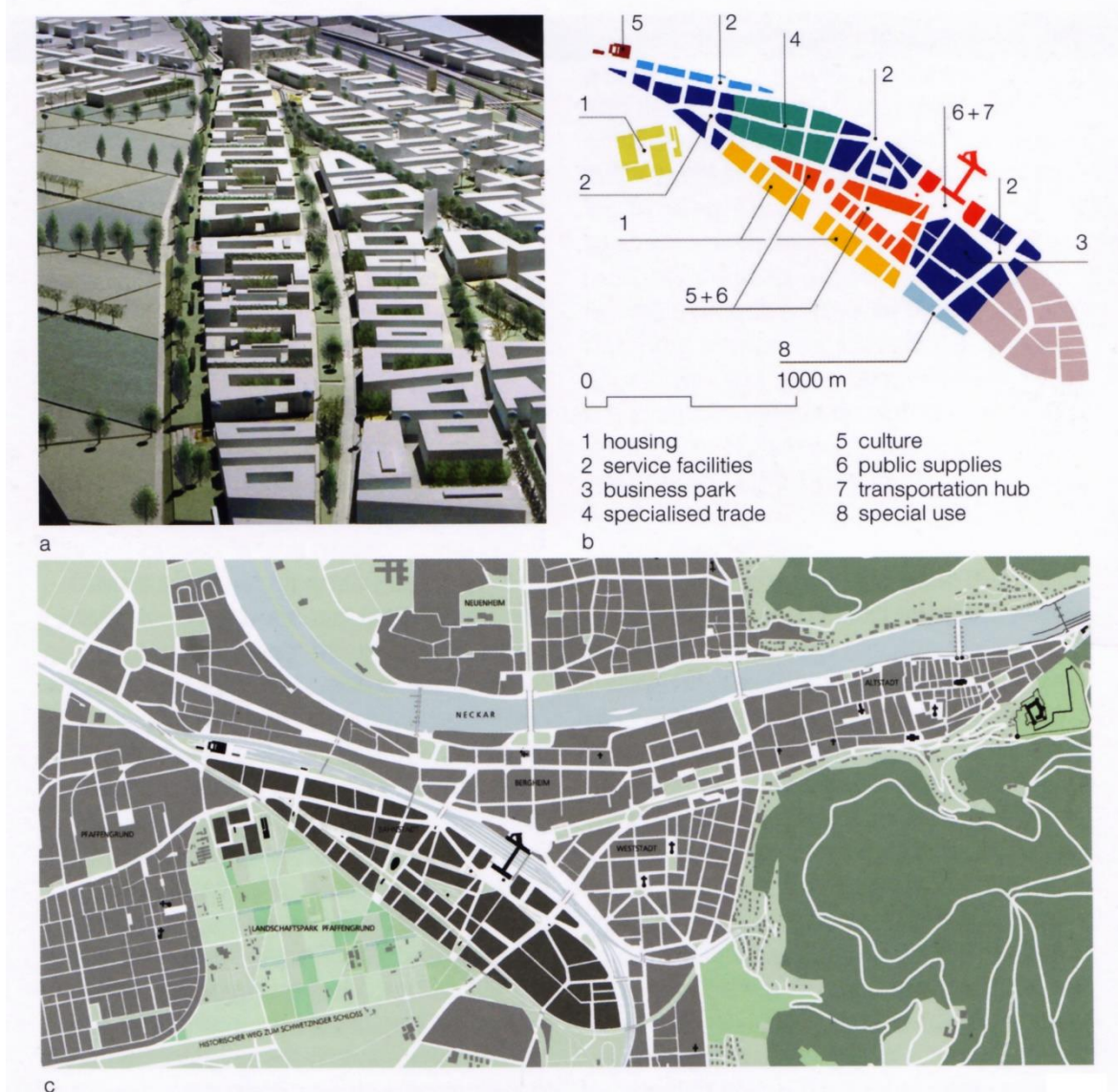
Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

Kaks korterelamukvartalit Innsbruckis (Austria)

Austria suurim passiivhoonete kvartal on ehitatud lähtuvalt kahest hoonestustüpoloogiast – perimetraalse arendusega kvartalid on kõrvuti eraldiseisvate korterelamutega. Tulemusena on võimalik otseselt võrrelda erinevate linnaplaneeringuliste lähenemiste mõju avalikule ruumile ja hoonestuse sisetüpoloogiale. Esimene ehitusetapp (Loden-areal) põhines konkursil, mis ei pakkunud piisavalt häid tingimusi passiivhoonete kontseptsiooni rakendamiseks, tulenevalt keerulistest sisseehitatud lodžade- ja rõduesüsteemist ning ventilatsioonisüsteemist. Täpsustatud uuringutele tuginedes leiti, et eraldiseisvate korterelamute projekteerimisel passiivhoone projekteerimismeetodite kasutamine võimaldab hoonete kallinemisel jääda 5% piiridesse.

Bahnstadt Heidelberg (Saksamaa)

Heidelbergi linna territooriumil valmib Saksamaa suurim tiheda hoonestuse ja segakasutusega passiivhoonete piirkond. Uus piirkond Bahnstadtis on arendatud endisele kaubajaama territooriumile. Uus-urbanistlik plokktüüpi hoonestuse morfoloogia on aluseks, muutmaks endised raudteekoridorid elegantset kaarduvaks linnaruumiks, arvestades olemasoleva teedevõrgustiku-, Neckari jõe ning linnakeskuse suunalise orientatsiooniga. Linnalik miljöö annab piirkonnale iseloomuliku atmosfääri ning loob uusi visuaalseid seoseid Pfaffengrundi pargi maastikukujunudsega. Erineva funktsionaalsuse-, vormikeele- ja suurusega avalik ruum asub linnatänavate ristumiskohtades. Energiatõhususe strateegia (väljatöötatud inseneribüroo EBÖK poolt) põhineb alusel, et iga individuaalne hoone peab olema ehitatud passiivhoone nõuetele vastavalt. Nõue on määratud kinnistute müügilepingutes Heidelbergi linna poolt ning lisaks kontrollitakse hoonete energiatõhususe vastavust ehituslubade taotlemise käigus, millele peavad olema lisatud energiaarvutused PHPP järgi (Passive House Planning Package).



Joonis 2.15 - Linnakvartal, ehitatud vastavalt passiivhoonete standardile, Bahnstadt Heidelbergis (Saksamaa) 2012. Linnaplaneeringuline kontseptsioon: Trojan+ Trojan, Energiatõhususe kontseptsioon: EBÖK

a mudel

b skemaatiline diagramm

c linnaplaneeringuline lahendus



Joonis 2.16 - Kaks passiivhoonete kvartalit: Lodenareal ja Youth Olympic Village Innsbruckis (Austria). 2009 ... 2011, arhitektid Architekturwerkstatt dina4, teamk2 architects, Reitter Architekten

a vaade õhust Loenarealile

b Lodenareali asendiplaan

c kvartaalne arendus Lodenarealis (1 etapp)

d eraldiseisvad korterelamud: Olympic Village (2 etapp)

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

Madal- ja liginullenergia- ja passiivhoonete põhimõtted mitteeluhoonete puhul

Mitteeluhoonete tehnoloogilised lahendused (valgustus, ventilatsioon, küte) on palju keerukamad kui korterelamutel ning seetõttu vajavad suuremat automatiseeritust. Ventilatsiooni- ning jahutussüsteemide planeerimise käigus peab väga põhjalikult läbi analüüsima erinevad variandid, et vähendada kulusid.

Energiatõhususe klassi valik ja liginullenergiahoone standardile vastavuse majanduslik mõistlikkus hinnatakse hoolikamalt mitteeluhoonete kui eluhoonete puhul. Kuigi mitteeluhoonete keerukus on kõrgem kui eluhoonetel, on potentsiaalne energiasääst samuti suurem. Sääst sõltub tihtipeale keerukamate ja kallimate tehniliste lahenduste - süsteemide paigaldamisest. Investeeringu tasuvuse arvutamise puhul tuleb arvesse võtta

tasakaalustavat faktorit, et kinnisvara väärtus tõuseb koos energiatõhususe klassi suurenemisega. Lisaks energiakulu vähendamisele peab energiatõhususe kontseptsioon võtma arvesse aspekte, mis mõnikord on omavahel vastandlikud. Kompaktsel hoonel näiteks on väiksemad soojuskaod kuid kuna ruumid võivad olla sügavamad, siis suureneb energiakulu valgustusele. Suured klaasitud pinnad loovad paremad päevavalgustingimused kuid võivad kaasa tuua ülekuumenemist, valgusräigust ja suurenenud energiavajadust mugava sisekliima tagamiseks-jahutamiseks (joonis 2.17). Sõltuvalt hoone või hoone osa funktsioonist võivad nende tegurite olulisus ja omavahelised seosed muutuda ning seda tuleb hinnata iga objekti puhul individuaalselt.

Kasutaja käitumine

Kuigi mitteeluhooneid kasutatakse lühemate perioodide kestel kui eluhooneid, on nende kasutamise intensiivsus oluliselt kõrgem. Näiteks bürooruumide täituvus on keskmiselt 10 m² inimese kohta, koolide klassiruumides isegi kuni 2m² inimese kohta. Lisaks võivad kasutajate käitumismudelid ja energiaga seotud nõuded sama tüüpi hoones erineda väga suurel määral (joonis 2.18).

Kõikide hoonetüpoloogiatega puhul sõltub energiatõhususe kontseptsiooni edukus suuresti kasutajakäitumisest. Arvutatud energiavajadused ja tegeliku tarbimise vahelised erinevused võivad ilmneda hoonetes, kus sisekliima reguleerimine nõuab kasutaja aktiivset osalust (nt mehhaaniline varjestamine, ventilatsioon). Lisaks võivad tihtipeale arvutuslikud sisekliima parameetrid erineda kasutajate eelistustest, näiteks sisetemperatuuri osas. Sisekliima muudatused tulenevalt kasutajate eelistustest, mis erinevad arvutusmeetodika standardist, võivad väga kergesti mõjutada hoone energiatarvet ja energiaklassi. Juhul, kui kasutajad ei ole teada (nt. üüripindade kasutajad) on võimalik tagada usaldusväärne süsteemi toimivus ainult juhul, kui süsteem on lihtne, vajades vähest hooldust ning kasutajate enda panust. Liginullenergiahoone nõuetele vastavad ehitised on "tundmatute" kasutajate käitumise osas väga paindlikud, kuid isegi väiksemate hoonete puhul on kaasaegse hoone tehniline keerukus niivõrd suur, et see ületab kiirelt tavakasutaja kompetentsuse hoone halduse osas. Juhiste ja komplekssete projektdokumentide koostamine ei ole energiatõhususe eesmärkide saavutamiseks piisav. On oluline, et hoone kasutajad oleks välja õpetatud ning saanud kasutuselevõtu etapil põhjaliku ekspertkoolituse. Kasutajatugi peab sisaldama energiatõhususe kulutuste jälgimist ja analüüsimist 2 - 3 aasta perioodil, peale hoone kasutuselevõttu ja jooksvalt seadmete tehnilist seadistamist lähtuvalt kasutajate käitumismustrist.

Energiabilanss

Ehitiste tehnosüsteemide arengut ei tohiks kasutada ettekäändena vähem optimaalsema energiatõhususega hoone projekteerimiseks. Hoone tehnosüsteemide kontseptsioon peab olema kogu projekti lahutamatu osa alates algstaadiumist, kuna see nõuab arhitekti ja inseneride ning konsultantide vahelist interdistsiplinaarset koostööd. Vastavalt hoone tüpoloogiale muutuvad ka nõuded, mis mõjutavad energiabilansi ja soojuslikku mugavust. (Joonis 2.18). Parameetrid ja nõuded toovad esile vasturääkivused erinevate energiatõhususe näitajate vahel. Vasturääkivuste lahendamiseks on parimaks viisiks energiatõhususe parendamine läbi arhitektuurse lahenduse täiendamise vastavalt energiatõhususe strateegiatele. Selline käitumine nõuab esialgset investeringut arhitektuursesse lahendusse ajaliselt kuid pikas perspektiivis annab säästu hoone ehitamise ning ülalpidamiskulude arvelt.

Soojusisolatsioon

Sõltumata mitteeluhoonete tüpoloogiast on hea soojusisolatsiooni- ja võimalikult väheste külmasildadega piirdetarindid passiivmaja saavutamisel hädavajalik meede. Soojuskadu läbi hoone piirdetarindite on otseselt proportsionaalne hoone välispinna pindalaga (A) ja soojuslabilaskvuse koefitsiendiga (U-väärtus). Seepärast tuleb konstruktsioonide U-väärtusi parandada ja hoone fassaadide välispinda minimeerida nii palju kui võimalik. Mida väiksem on välispiirde pind (kompaktno hoone), seda väiksem on soojustusmaterjali

hulk. Fassaad on üks kõige kallimaid ehitusosasisid, mis muudab kompaktsuse meetme eriti efektiivseks. Sellegipoolest tuleb kompaktsete hoonete ruumide suurust ja kuju üle kontrollida sobivuse osas hoone funktsiooniga.

Loodusliku päevavalguse kasutamist peab soodustama, kuna see võimaldab vähendada kunstliku valguse s.t. elektri kasutamist. Meetodid sobilike lahenduste saavutamiseks põhinevad tihtipeale tubade paiknemises või avatud ruumides tsoonide loomisel, mis on sobilikud valgusnõudvateks tegevusteks: nt välisseina lähedal asuvad töö ja puhkealad, abiruumid hoone sisemuses. Hoone sisemuses asuvate ruumide valgustamine on võimalik aatriumit, valgusšahti või katuseaknaid kasutades.

Kompaktse hoone välisvormi saavutamisel on tihti kompromissiks hoone üldfunktsionaalsusega nõrgemalt sobituv siseruumide paigutus, mis võimaldab projekteerida hästitoimiva energiatõhusa hoone. Soojuskadude hulk sõltub suurel määral hoone orientatsioonist ja ruumide proportsioonidest. Samal ajal avaldavad need hoone iseloomujooned tugevat mõju päikese soojusenergia kasutamisele ja muudele energiatõhususega seotud faktoritele nagu valgustuse ja varjestuse vajadus.

Ventilatsioon

Soojustagastusega mehaanilise ventilatsioonisüsteemi kasutamine on hädavajalik tagamaks kvaliteetne sisekliima ning vastavus liginullenergia- ning passiivhoonete määrusele. Õhu kvaliteet määratakse põhiliselt CO₂ sisalduse järgi. Praeguste standardite kohaselt ei tohi see väärtus olla suurem kui 1500ppm. Kuid vastavalt Max von Pettenkoferile, võib sisekliima mugavustingimused halveneda juba siis, kui CO₂ väärtus ületab 1000ppm. Võimalikkudeks tagajärgedeks on peavalud, väsimus, keskendumisvõime vähenemine ja produktiivsuse langus.

Hoone majandusliku ja energiatõhususe efektiivsuse tagamiseks on oluline piirata õhuvahetus minimaalse vajaliku hulga. Ventilatsioonisüsteemi võimsus ja projekt peab arvestama projekteerimisstandardite nõudeid ja hoone kasutajate arvu. Lühiajalist suuremat õhuvahetusnõudlust saab kompenseerida akende avamisega.

Kuna enamik mittelehoonete tüpoloogiaid on tihedalt kasutuses piiratud aja jooksul ning kasutajate hulk muutub väga suures ulatuses, siis ventilatsioonisüsteemi peab olema võimalik seadistada vastavalt reaalsele vajadusele. Seda saab saavutada näiteks kasutades taimereid, kohalolumonitore ja CO₂ sensoreid. Et vältida täiendavate tuletõkkeelementide paigaldamist tuleb ventilatsioonisüsteemi planeerimisel pöörata suurt tähelepanu tulekaitsemeetmetele. Selles osas on eelis deentraliseeritud ventilatsioonisüsteemidel.

Päikeseenergia kasutamine

Passiivne päikeseenergia kasutamine, vähendamaks küttevajadust, on mittelehoonetes vähem oluline meede kui eluhoonetes. Kui planeerida suuremahulisi ehitisi, ei ole alati võimalik keerulise tüpoloogia tõttu mõjutada ruumide orientatsiooni. Enamiku mittelehoonete tüpoloogiate (bürood, klassiruumid, spordisaalid, muuseumid) korral on eelistatud otsese päikesekiirguse vältimine. Mittelehoonetele on mõistlik paigaldada reguleeritavad varjestus-seadmed, võimaldamaks päikeseenergia kasutust küttelisana väljaspool hoone töö- või lahtiolekuaegu.

Situatsioonides, kus otsene päikesevalgus ning sellest põhjustatav valgusräigus ei ole nii suureks probleemiks, peab siiski järgima klaasitud fassaadipindade suuruseid kui madal- ja liginullenergiahoonete väheneva loomuliku valgustuse saab katta suhteliselt väikese klaasitud osaga fassaadist. Akende suurus peab seetõttu olema määratud peamiselt päevavalguse (insolatsiooni) tagamise nõudest.



Joonis 2.17 - Büroohoone Lüneburgis (Saksamaa) 2009, Gäde Rückner, Rückner Architektenpartnerschaft. Kompaktne puikonstruktsioonis hoone paindliku plaanilahendusega, keskmise suurusega vertikaalsed aknad, tagamaks piisav päikesevalgus ruumide sügavuses. Peaaegu ruudukujuline korruseplaan mahutab 4 kontorit netopinnaga 150 m². Passiivhoone standardi nõuete täitmiseks on hoonel päikesepaneelid ja vihmavee kogumissüsteem.

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

Kasutamise tüüp	bürood	koolid (üldiselt)	algkoolid	gümnaasiumid	hallid/lavad	laborid	haiglad	tootmishooned	äripinnad	laoruumid	ühik
Päevade hulk, millal on hoone kasutuses kütteperioodi jooksul	69%	52%	52%	52%	71%	69%	100%	69%	76%	69%	(-)
Tundide hulk, mille jooksul on hoone kasutuses tavalisel päeval	10	10	6	12	14	10	24	10	12	10	(tundi/päev)
Keskmine hoone kasutajate hulk, kui hoone on kasutuses	25	10	10	20	70	35	35	50	50	100	(m ² /kasutaja)
Keskmine ruumi temperatuur, kui hoone on kasutuses	20	20	20	18	20	20	22	18	20	16	(°C)
Keskmine ruumi temperatuur, kui hoone ei ole kasutuses	15	15	15	10	15	15	-	10	15	10	(°C)
Mehhaaniline õhuvahetus, kui hoone on kasutuses (keskmise)	0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.8	0.6	0.8	0.8	0.2	(1/tunnis)
Mehhaaniline õhuvahetus, kui hoone ei ole kasutuses (keskmise)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.2	0.0	0.0	(1/tunnis)
Elektrienergia kasutus kWh/m ² TFA a (ilma konditsioneerita)	25	15	10	15	25	50	40	50	50	10	

Joonis 2.18 - Mitmete mitteeluhoonete standardkasutuse andmete võrdlus.

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016

Kasutatud kirjandus ja allikad

- Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.

3 Tark asend



Targa asendiplaanilise lahenduse valiku puhul on olulised kliimaatilise situatsioon (päike ja varjud, tuul, temperatuur, niiskus ja sademed), hoone vahetu lähiümbrus (ümbritsevad hooned, kõrghaljastus ja hoone orientatsioon) ja asukoht linna või muu ala kontekstis (kergliikluse ja jalakäijasõbralikkus, ühistranspordiühendus, teised transpordi ühendusviisid). Tark asendiplaaniline lahendus määrab väga suurel määral ka hoone energiatõhususe eeldused ning passiivsete energiaallikate kasutamise potentsiaali. Kuid tasub olla ettevaatlik, sest mida suurema energiatõhususega hoone, seda suurem on kahju, kui selle orientatsioon ei ole optimaalne või ei ole arvestatud kõikide kliimaatiliste tingimustega.

3.1 Biokliimaatiline analüüs

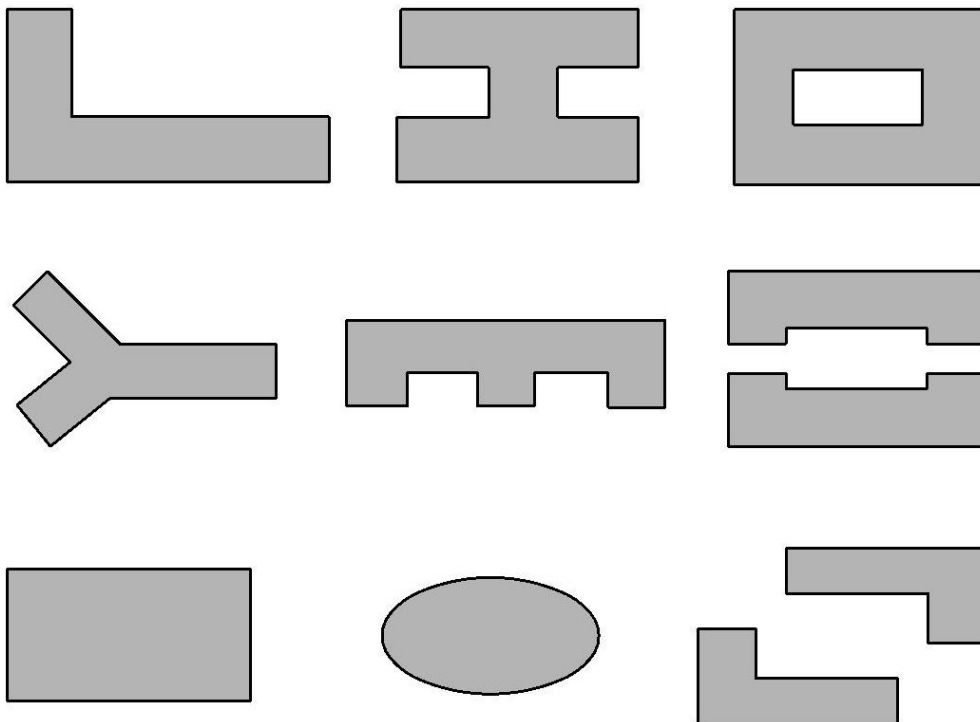
Kliima on väga oluline keskkonnategur ning biokliimaatilised tingimused on esimene näitaja, mida arhitektid ja insenerid peavad arvestama hoone projekteerimisel. Et saavutada energiatõhusat hoonet tuleb hoone projektis ilmingimata arvestada konkreetse hoone asukoha ja biokliimaatiliste tingimustega. Kliimaatilised tingimused määravad millised passiivsed projekteerimispõhimõtted ja strateegiad on kõige sobilikumad ja efektiivsed konkreetse kinnistu ja hoone jaoks. Tänapäevased tehnoloogilised arengud, mis võimaldavad kliimaatilisi tingimusi eraldada hoone sisekliimast on asendanud harjumuse projekteerida kliimaga koos kasutades kliimaatilisi eeliseid hoone sisekliima tagamise kasuks ning vähendada ebasoodsate kliimaatiliste tingimuste mõju hoonele. Väga laialdaselt kasutatavate tehniliste lahenduste: soojuspumpade ja taastuvate energiaallikate kasutamisevõimalused ja efektiivsus on otseselt seotud kinnistu biokliimaatiliste tingimustega.

3.1.1 Päike ja orientatsioon

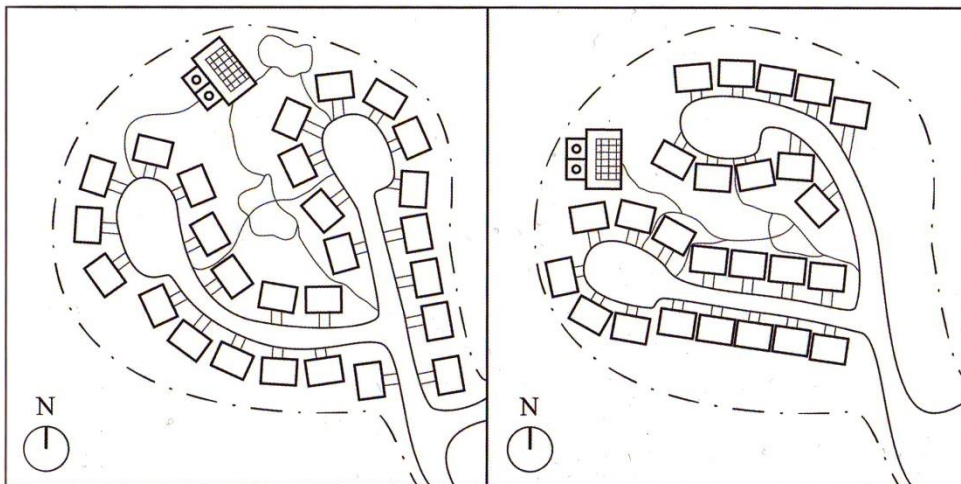
Hoone vorm ja orientatsioon on kaks kõige olulisemat madal- ja liginullenergia- ja passiivhoone projekteerimise strateegiat, mis vähendavad energiatarbimist ja suurendavad hoone soojusmugavuslikku sisekliima kvaliteeti. Need strateegiad mõjutavad päikesekiirguse jõudmist hoonesse, loomuliku valguse hulka ja hoonet ümbritsevate tuulte hulka ja suunda.

Madal- ja liginullenergiahoone eesmärkide poole püüeldes on hoone mahulisel vormil ja orientatsioonil oluline mõju hoone energiatõhususele, mis väljendub päikese ja tuulte eeliste kasutamisel. Seega eelkõige nendel faktoritel on keskne roll liginullenergia projekteerimispõhimõtete ja eesmärkide saavutamisel. Kuigi hoonete projekteerimispõhimõtted muutuvad väga olulisel määral vastavalt asukoha ja kliima erinevusele, siis lahenduste põhimõtted jäävad enamasti samaks: talvel võimalikult suure hulga päikesekiirguse läbimise võimaldamine hoonesse ja suvel päikesekiirguse siseruumi jõudmise takistamine. Valdavalt kuumades piirkondades peaksid hooned olema ideaalis orienteeritud selliselt, et vähendada päikeseenergia kasutamist ja külmade kliimaatiliste tingimuste piirkondades vastupidine. Orientatsioonil on samuti oluline mõju hoonet ümbritsevatele tuuetele.

Päikeseenergia passiivseks kasutamiseks kütteks ilma suviste ülekütmissprobleemideta peab hoone arvestama mõlema aastaaja päikese iseärasustega. Talvine päikesekiirgus on madala nurga alt ja ida-lääne teljest lõuna pool. Suvine päikesekiirgus tuleb aga talvisest kõrgemalt, mistõttu on võimalik hoone orientatsiooni, arhitektuursete lahendustega ja asendiplaanilise lahendusega lahendada võimalikud probleemid.



Joonis 3.1 - Hoonete orientatsioonid maksimeerimaks passiivset päikeseenergia kasutamist - orienteerida pikemad fassaadid lõunasse. See tahab valgusräiguse vaba loomulikku valgustatust suvel põhjaküljest, mis ei vaja varjestamist ning võimaldab päikeseenergia maksimaalset kasutamist lõunaküljes, mis koostöös varjestus-elementidega kaitseb suvise ülekuumenemise eest. Lisaks võimaldab selline hoone paigutamine võimalikult efektiivset päikesepaneelide - kollektorite paigaldamist katustele ka viilkatuse puhul. Digitaalne algallikas: <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/form-orientation/>



Original Plan - A

Alternative Plan - B

Joonis 3.2 - Hoonete orientatsioonide muutmise näide linnaplaneeringulises situatsioonis. Juba planeerimisprotsessis arvestades hoonete orientatsiooniga ilmakaarte suhtes on võimalik mõjutada olulisel määral hoonete energiatõhususenäitajaid ja passiivse päikeseenergia kasutamise potentsiaali. Plaanil B hoonetel on väga hea orientatsioon

päikese suhtes mis annab väga hea eelduse passiivhoonete projekteerimiseks optimaalse ja efektiivse sisestruktuuriga. Allikas: *US Department of Energy*.

3.1.2 Tuul

Linnakeskkonnas mõjutavad mikrokliimat ja inimese mugavustunnet väga tugevalt tuuleolud, mis on omakorda väga mõjutatud teistest hoonetest, eriti kõrghoonetest. Tuule kiirus ja suund muutuvad kogu päeva jooksul kuid üldjoontes on prognoositavad aasta lõikes tuulteroosi järgi. Tuulerooside diagrammid aitavad mõista põhilisi tuulesuundasid piirkonnas ja aitavad visualiseerida või modelleerida võimalikke tuulemustreid kinnistul. Nende kasutamine aitab teha kaalutletud projekteerimisotsuseid kuid tasub arvestada ka unikaalsete mikrokliimaatiliste tingimustega, mida tuuleroos ei näita. Linnakeskkond loob tuulele väga erinevad arengukeskkonnad, mis ühelt poolt summutavad tuult ja teisalt võivad selle kiirust ja negatiivset mõju suurendada.

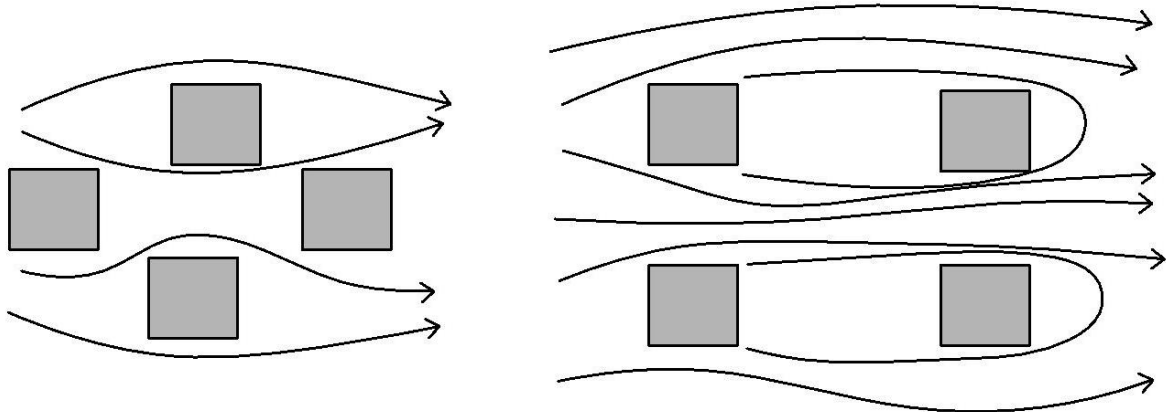
Tuule ja linnakeskkonna hoonestuse omavahelised suhted ja mõjutused on keerulised ning raskesti prognoositavad ilma simulatsioonideta. Sageli võivad need mõjutused põhjustada kõrget tuulekiirust maapinnal, mis lisaks ebamugavusele, energiatõhususe vähendamisele võib tekitada ka õnnetusi. Et võimalikke ootamatuid tuule negatiivseid tagajärgi ära hoida on vajalik suuremahuliste planeeringute puhul tuulises keskkonnas juba planeerimise algstaadiumis hinnata hoonestusettepanekud tuulesimulatsiooni spetsiaalse tarkvara (Nt. Autodesk Flow Design, Ecotect Analysis) abil.

Parim viis tuulega toimetulemiseks ja võimalikult positiivseks ärakasutamiseks on kaaluda tuulevoolu mõjureid - eriti kõrghoonete paiknemist. Enamiku olukordade puhul on võimalik valdavatest tuulesuundadest puhuvat tuult võimalik siduda planeeringulahendustega, kaasates insenere, linnaplaneerijaid ja arhitekte võimalikult varases detailplaneeringu koostamise staadiumis. Tuul negatiivseks aspektiks on võimalike tuulekoridoride teke ning tuul saab samuti ajada niiskust ja vett läbi fassaadi avade ja pragude, mis võivad tekitada niiskuskahjustusi kui tuulutavad ei ole piisavad.

Tuult saab kasutada ka elektrienergia tootmiseks tuulegeneraatoritega, kuid see ei ole tavaliselt linnakeskkonnas väiksemal skaalal nii efektiivne kui päikeseenergia kasutamine. Kui seda teha õigesti, siis tuul saab muutuda puudusest eeliseks: mikrotuulegeneraatorid strateegiliselt paigutatud võivad tekitada elektrienergiat vähendades tuulekiirust. Turbiin võtab vastu olulise hulga tuulest, kui on paigaldatud sellisesse asukohta mis koondab tuult, ning vähendades seetõttu tuule kiirust ja inertsi tehes jalakäijate jaoks situatsiooni ohutumaks ja mugavamaks. Esteetiliselt kõige sobilikum selleks oleks nn. "tuulepuu" (wind tree). See on eriti efektiivne lähenemisviis tuuleprobleemide lahendamiseks linnakeskkonnas, kuna see on klassikaline võit-võit situatsioon.

Loomulik ventilatsioon sobib ruumidesse, kus pidevalt ei viibita, aatriumid jne. Meie külmas kliimas vajatakse soojusliku mugavuse ja energiatõhususe tõttu soojustagastusega ventilatsiooni, mis on üldjuhul sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsioon, kuid võimalikud on ka hübriidsüsteemid. Loomuliku ventilatsiooni protsessid on põhjustatud tuule ja temperatuuride ning looduslike rõhuerinevuste poolt. Õhuliikumine ja õhuvool läbi avade: uste ja akende, loomulikult ventileeritavas hoones on põhjustatud enamasti tuule poolt. Temperatuuri erinevustele omistatud jõud mängivad olulist rolli eriti siis kui ümbritsevad tuulekiirused on madalad. Tuule omadusi saab kasutada ära ka paigutades õhu sissepuhkeavasid kõrge rõhuga hoone külgedele ja väljatõmbeid madala rõhuga piirkondadesse aitab vähendada hoone energiatarbimist. Tuul saab aidata kaasa ka loomulikule ventilatsioonile ning passiivselt suurendada kasutajate mugavust ja sisekliimat õhuvahetuse ja jahutuse kaudu suvel.

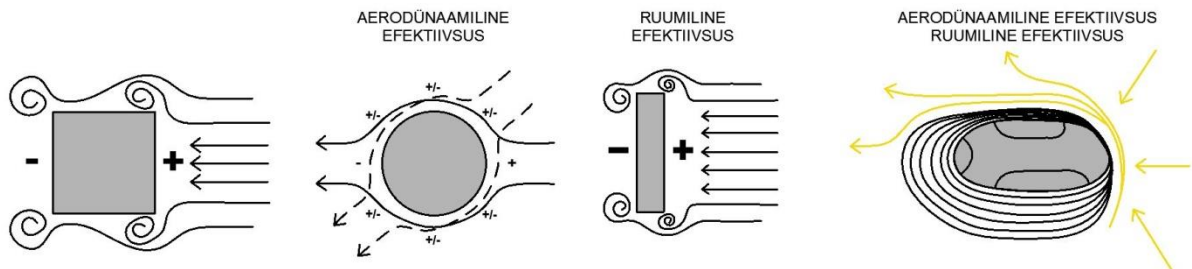
Tuulega seotud probleemide lahendamiseks maapinna-jalakäija tasandil isegi peale planeeringulist staadiumit on mitmeid meetodeid: varikatused ja muud väljaulatuvad hooneosad, ning kõrghaljastus ja põõsad vähendavad tuulekiirust tõstes sellega tänava ja avaliku ruumi kvaliteeti.



TUUL

Kui kinnistule planeerida mitu hoonet, siis nende paigutamine mitte ühele joonele aitab takistada tuulekoride teket.

Joonis 3.3 - Hoonete orientatsioon peab olema selline, et kasutada ära tuule positiivseid võimalusi. Kui planeeritaval kinnistul on mitu hoonet, siis tuleb need paigutada nii, et vähendada võimalikke tuulekoridoride teket. Digitaalne allikas: <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/form-orientation/>

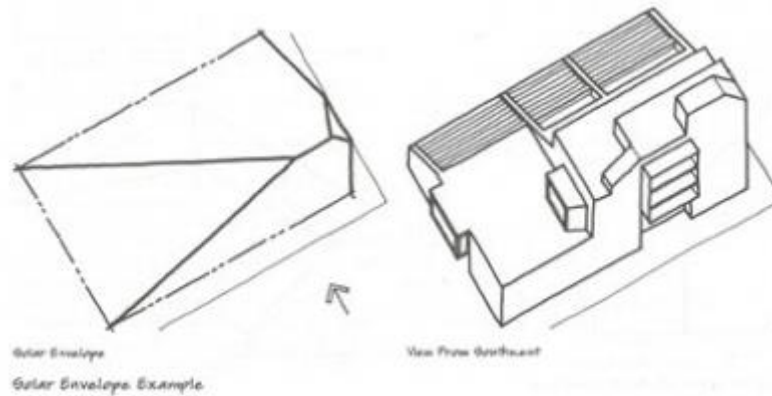


Joonis 3.4 - Keelungi terminali näide sellest, kuidas ühe võimaliku variandina leida tasakaalu aerodünaamilisi efektiivsuse ja ruumilise efektiivsuse vahel. Autorid: Architekten Cie. Digitaalne originaalallikas: <https://www.e-architect.co.uk/taiwan/keelung-terminal>

3.2 Asendiplaaniline lahendus

Hoonet ümbritsev keskkond ja asendiplaaniline lahendus mõjutavad ilmastiku mustreid nagu ka lähedal asuvad hooned või puud saavad blokeerida päikesevalgust ja mõjutada tuulesuundi ja kiiruseid. Uue ehitise projekteerimisel tuleb arvesse võtta ümbritsevat hoonestust ja haljastust ning mõista, kuidas see mõjutab hoone projekti ning millistele madal- ja liginullenergiahoone strateegiatele saab tugineda. Tiheda linnakeskkonna planeerimisel on oluline päikesevalguse juurdepääs, mistõttu on olulised minimaalse insolatsiooni normid ja tsoneerimise nõuded säilitamiseks minimaalset päikesevalgust. Kui hoonestustihedus on liiga suur või hooned on liiga kõrged, siis päeva valguse juurdepääs ja päikesekiirguse kasutamine võib olla oluliselt piiratud.

"Solar envelope" on kolmemõõtmeline näitaja, mis kirjeldab otsese päikesekiirguse sise- ja välitingimusi ja olukorda arvestavat maksimaalset hoonestusmahtu. See määrab insolatsiooni piirid, et planeeritav hoone ei varjestaks ümbritsevaid hooneid. See on maksimaalne hoonestusmaht, mida on võimalik kinnistule rajada ning mis ei lase ümbritsevate naaberhoonete insolatsioonil langeda alla minimaalse piiri. See maht põhineb otsesel päikesevalgusel, mida mõjutab ka ümbritsev keskkond (ja mis võib aidata vältida otsese päikesekiirguse takistamist).



Joonis 3.5 - Päikesevalguse järgne hoonestusmaht. Hüpoteetilise hoone skeem, mis asetseb "solar envelope" piiride sees. Allikas G.Z. Brown ja Mark DeKay; Sun, Wind, and Light, lk. 90, , Wiley

"Daylighting envelope" on näitaja, mida kasutatakse hoone planeerimisel, mis määrab maksimaalse hoonestusmahu, mis tagab naaberkruntidel nõuetekohase päevavalguse säilimise.

Näitena erinevate kliimatiliste, asendiplaaniliste ja sotsiaalsete faktoritega arvestamisest on välja toodud perFORM 2015 konkursi võitjate töö The 3 Green Bars Building, mis arvestab olemasoleva keskkonnaga ja energiatõhususega. See on lihtne disain mis, töötab. Hooned on planeeritud selliselt, et oleks maksimaalne lõunapoolne orientatsioon ja võimalikult head päikesekiirguse ja päevavalguse tingimused.

Asendiplaanilise lahenduse põhiidee seisneb selles, et maksimaalselt efektiivse orientatsiooniga lineaarsed hoonemahud on lõigatud läbi jalakäijate läbipääsuga läbi kvartali, mis toob kvartali sisesse avalikku ruumi ning on linnaplaneeringuline vajadus. Parkimine on lahendatud maaaluse parkimisena. Sotsiaalseid ja kogukonna vajadusi arvestades on kvartalisse lisatud avalikud funktsioonid teisele ja kolmandale korrusele kvartali nurkadesse.



Joonis 3.6 - The 3 Bars Building konkursitöö, mis arvestab mitmete targa asendiplaani planeerimise põhimõtetega. Autorid: Jon Lund, Narek Mirzaei, Luis Savater Musa. Cincinnati ülikool. Digitaalne allikas: <https://inhabitat.com/3-green-bars-building-wins-hammer-hands-net-zero-energy-architecture-competition/3-green-bars-building-perform-2015-1/>

3.2.1 Insolatsioon ja varjestus

Insolatsiooni ja varjestuse eelised ja probleemid targa asendi puhul.

Päike tagab valguse ja soojust, kuid sellel on ka tervislik mõju. Intensiivne päikesekiirgus aitab säilitada keha öö-päeva rütmilist rütmitunnetust, suurendada keskendumisvõimet, soodustada D vitamiini sünteesi ja suurendab elamise antibakteriaalseid omadusi. Sellest tulenevalt on säilinud ka kohustusliku insolatsiooni nõue ja nõ. õigus loomulikule valgusele. Enamik korteriomanikke arvestab seetõttu korteri valgusega otsese päikesekiirguse hulka korteris ning see on oluline faktor mis mõjutab eluruumi kvaliteeti.

Asendiplaaniline lahendus on kõige olulisem faktor, mis mõjutab päikesevalguse kestvust hoonetes ja avatud pindadel. Seetõttu on akende ja rõdude-terrasside ja avaliku ruumi paigutus ja päikese liikumissuund ja orientatsioon väga olulised. Teiste hoonete poolt varjestamine on samuti oluline, kuna sellega arvestamata planeeritud hoonegrupp võib tekitada ebasobilikku valgustusolukorda nii sise- kui välisruumis hoonete vahelisel alal, näiteks aastaringselt varjus olevad kohad

Teiste hoonete poolt varjestamine mõjutab hoonet sisekliimat kui ka siseruumi kvaliteeti. Eriti aktuaalne on see probleem, kus uued hooned asuvad olemasolevate hoonete vahetus läheduses ja muudavad olemasolevate hoonete insolatsiooni olukorda kehvemaks. See toob kaasa vastasseise ja proteste. Kuid päikesevalgus ei ole alati õnnistus, eriti soojemates kliimades. Päikesevalgusega käib alati kaasas mingisugune kontrolli või varjestuse vorm. Allikas: P J Littlefair, Environmental Site Layout Planning: Solar Access, Microclimate and Passive Cooling in Urban Areas, IHS BRE Press. 2000

Hoonete vahel paikneva välisruumi päikesevalguse olukorral on oluline mõju arenduse üldise väljanägemisele ja ümbritsevale keskkonnale. Avaliku ruumi planeerimisel tuleb arvestada päiksega, kuna varjus olevat avalikku ruumi kasutakse oluliselt vähem kui päikselises asukohas asuvat avalikku ruumi. See kehtib igasuguste avalikult kasutatavate väliruumide, kogunemiskohtade ja terrasside kohta.

Päikesevalgus on eriti oluline:

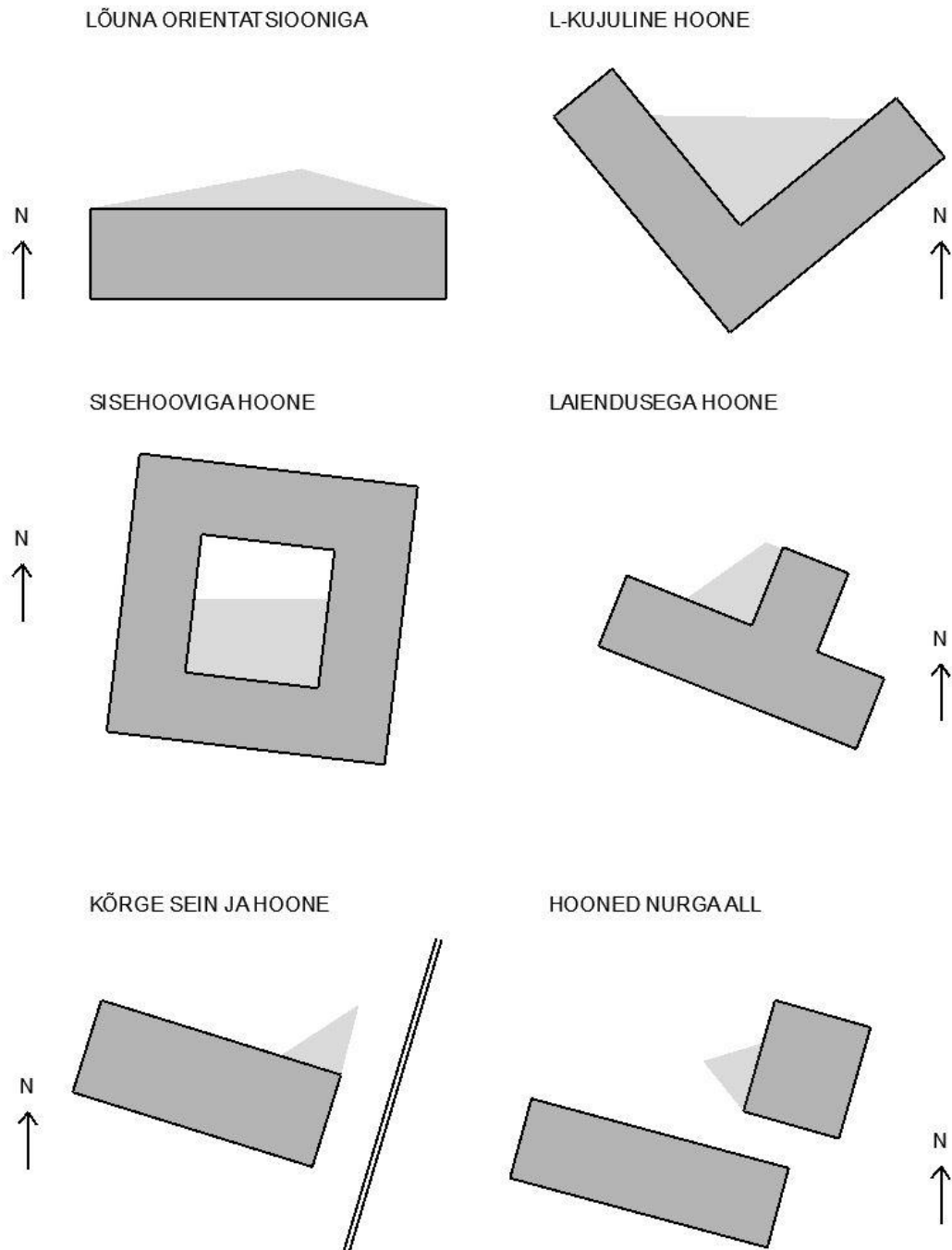
- aedades
- parkides ja mänguväljakutel
- laste mänguväljakutel
- välibasseinides ja supusaladel
- väljakutel ja istumisaladel, nt. mitteiluhoonete ees või avalikel väljakutel
- märgiliste objektide juures - mälestiste ja purskkaevude juures

Nõuded päikesevalgusele sõltuvad kliimast. Põhja Euroopas on päikesevalgus peaaegu alati elutunud. Mida rohkem lõunas seda rohkem on vajalik ka varjus oleva ruumi planeerimist. Seoses vananeva elanikkonnaga ning erineva soojustaluvusega inimeste huvide arvestamisega on vajalik nii päikeserikaste kui ka varjus oleva avaliku ruumi planeerimine.

Kui on vaja täiendavat päikesevalgust, nt. eluhoonete puhul, siis piisab mõne meetodi kasutamisest, mis on kirjeldatud eelpool peatükis. Eriti peab tähelepanu pöörama kvartaalsete hoonete projekteerimisel, kuna sisehoovidel on oht muutuda väga ebaatraktiivseks ja varjusolevaks. Avaliku kasutusega ühiskondlike hoonete puhul peab arvestama sellega, et otsene päikesekiirgus ei ole nii vajalik nagu eluhoonete puhul, mistõttu tuleb kasutada vastupidiseid meetmeid. Avalik-ühiskondlike hoonete puhul on vaja blokeerida otsest päikesekiirgust ja kavandada hooned nii, et oleks maksimaalselt palju hajusvalgust. Otsene päikesekiirgus tekitab tihtipeale töökohtades ja avalikes kohtades sisekliimale rohkem kahju, kui kasu.

Teatud asendiplaaniliste lahendustega on keeruline saavutada head päikesevalguseolukorda välisruumis. Üllatavalt võivad madal ja liginullenergiahoonetele orienteeritud hoonepaigutusviisid tekitada kinnistul probleeme, kuna hooned ise vajavad maksimaalselt päikesekiirgust mida välisruumi ei pruugi jätkuda. Kui hoone pikim külg paikneb kuni 10 kraadi all põhja ilmakaare suhtes, siis asub selle taga ala, mis on pidevalt varjus alates pööripäevast (seega ka kogu talve). Sellised piirkonnad võivad tekkida erinevate hoonetüpoloogiate juures, mis on kas osaliselt või täiesti piiritletud lõunapoolse päikesevalguse poolt. Joonisel 3.X on välja toodud mõned tüüpilised näited. Tavaliselt on võimalik lahendust ümber kujundada nii, et neid piirkondi ära hoida või võimalikult minimeerida: nt hoonete pööramisega või lõunapoolsete hoonete liigendamise. See aga vähendab jällegi vormifaktorit ja hoone kompaktsust, mis teeb valikute tegemise veelgi keerulisemaks.

ERINEVATE HOONETÜPOLOOGIDE PÄIKESEVARJUDE VÕRDLU



Joonis 3.7 - Näited problemaatilistest kus väga vähene päikesevalgus jõuab maapinnani. piirkondadest erinevate hoonetüpoloogiate juures. Allikas: P J Littlefair, Environmental Site Layout Planning: Solar Access, Microclimate and Passive Cooling in Urban Areas, IHS BRE Press. 2000

3.2.2 Kõrghaljastus energiatõhususes

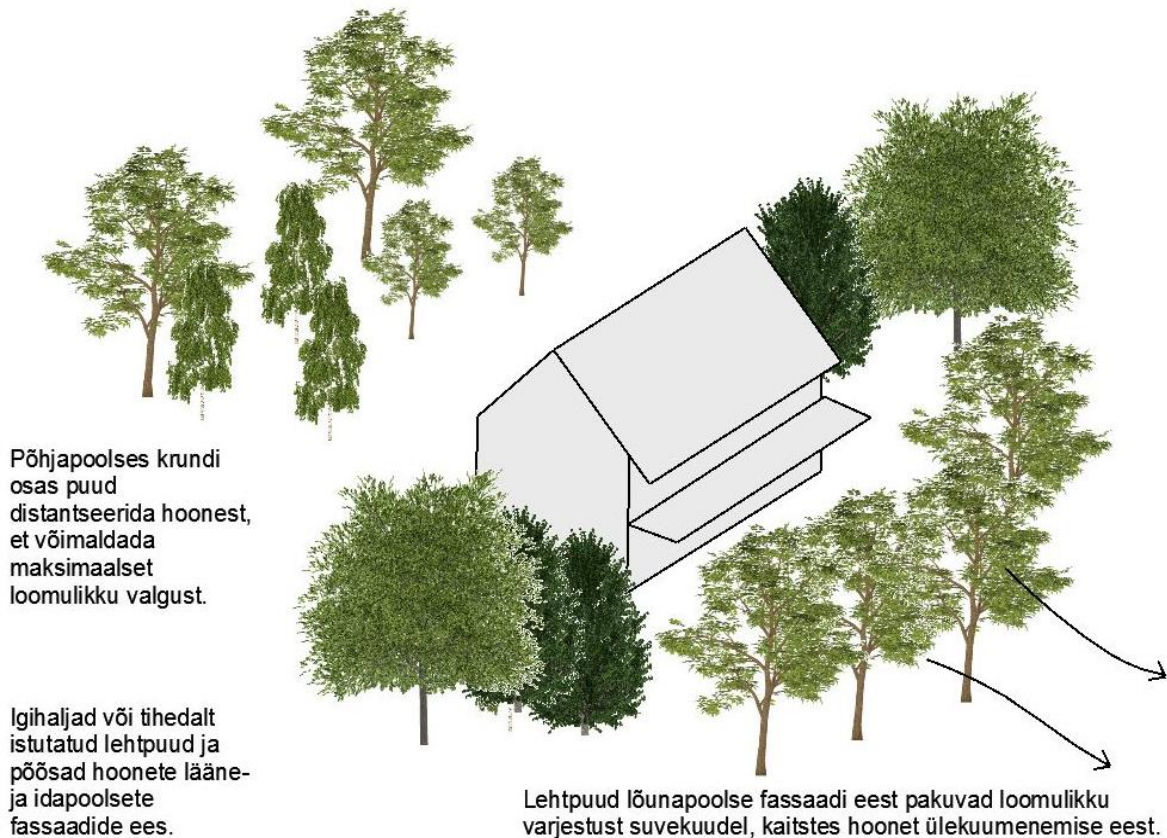
Haljastust ja taimestikku saab kasutada energiatõhususe suurendamiseks järgmistel viisidel:

- Hoonete ja avatud pindade varjestamine maastikukujunduse ja kõrghaljastusega
- Katusehaljastusega aiad või rohelised katused
- Vertikaalsete ja horisontaalsete pindade varjestamine (haljastatud seinad)
- Puhvertsoon külmade ja kuumade tuulte vastu
- Tuulesuuna muutmine

Haljastus on paindlik tuule ja päikesekiirgusse hoonesse sisenemise piiraja. See vähendab otsese päikesekiirguse poolt ülekütmist hoone pindadel ning vähendab välisõhu temperatuuri, mis omakorda mõjutab soojusülekannet välisõhust hoone tarinditele ja siseruumidesse. Seda on samuti võimalik kasutada sisemise varjestus elemendina. Sellisel viisil haljastuse kasutamine tõstab varjestuse koefitsenti, ilma väliseid vaateid mõjutamata. Taimestik kasvab päikesesuunas ja selle kasv ja lopsakus on muutuv aastaegade vältel, mistõttu arvestades taimestiku hooajalisi erinevusi ja hoone asukohta ja orientatsiooni võib taimestik toimida kulutõhusa ja paindliku varjestus elemendina. (allikas: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/>)

Katusehaljastus või rohelised katused aitavad samuti vähendada hoone soojuskoormust. Kasvupinnase täiendab paksus katusekonstruktsioonis lisab täiendavat soojusisolatsiooni. Haljastatud katused hoiavad niiskust ja lasevad vihmaveel jahutada katusepinda. Kõrghaljastusega rohekatustel peab olema pinnase sügavus vähemalt 300mm, murukatusteel 25 kuni 125mm ja moodulkatuste blokid on keskmiselt 100mm. Katusekonstruktsioonid peavad olema selle võrra võimsamad, et kanda suurenenud omakaalu kui tavalistel katustel.

Läbimõeldud asendiplaaniline lahendus, maastikukujundus ja kõrghaljastuse kasutamine on efektiivseks meetoditeks, mida arhitektidel kasutada ja arvestada hoone planeerimise algstaadiumis, et vähendada hilisemates staadiumites nõudlust tehnosüsteemide võimsuse järele.

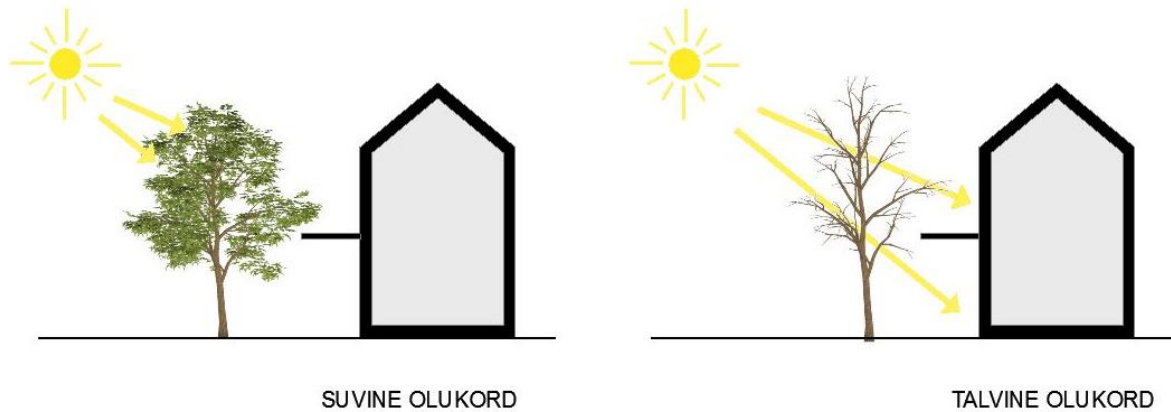


Joonis 3.7 - Kõrghaljastust saab kasutada dünaamilise varjestuselemendina, mikrokliima mõjutamiseks ja tuulesuundade mõjutamiseks. Sobiva haljastuse asukoha ja kõrghaljastuse tüübi valimine määrab, kui efektiivselt täidab kõrghaljastus oma eesmärgi. Digitaalne algallikas: <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/vegetation/>

- Eelistatav on, et arhitektid ja maastikuplaneerijad arvestaksid kinnistu loodusliku tüpograafiaga, kinnistu kohapealse maastikuga ja kohalike liikidega.
- Kohalike liikide kasutamine kõrghaljastuse puhul on tugevalt soovitatud, kuna need on harjunud kohalike kliimatiliste tingimustega nagu temperatuur: sademete hulk ja mustriid ja regionaalsed pinnasetingimused. Need on võrdlemisi väikese hooldusvajadusega ja veekasutusega, on vastupidavamad kohalike kahjurite suhtes. Lisaks sobituvad need liigid paremini olemasolevasse ökosüsteemi toetades linde ja putukaid mis elavad regioonis ning aidates säilitada flora ja fauna tasakaalu.
- On soovitatud, et eksootilised haljastuse liigid kataks mitte rohkem kui 25 % kinnistu haljastatud pinnast.
- Võimalusel vähendada murupinna pindalat aias, et vähendada niisutamiseks vajalikku vett.
- Vähendada sillutatud alade pindalat, kasutades kas polüproüleeni murukatet või murukivi parkimise all. Suurte sillutatud pindade puudumine tahab soojades kliimatingimustes madalama ümbritseva temperatuuri. Lisaks vähendab see vihmavee kogunemist ja äravoolu vajadusi suurema imbumisvõime tõttu.
- Rohelised katused nõuavad regulaarset hooldust ning eeldavad suurt esialgset investeeringut. Seetõttu peab nende kasutamist hoolikult kavandama ja paigaldama. Lisakoormust katusele tuleb arvestada juba planeerimise algjärgus. Olemasolevatele hoonetele rohekatuse paigaldamisel on kasulik kasutada kas modulaarseid plokkide, või ulatuslikke süsteeme ja haljastust, mis võimaldavad võimalikult õhukest pinnasekihti. Katusehaljastuse jaoks on sobilikumad

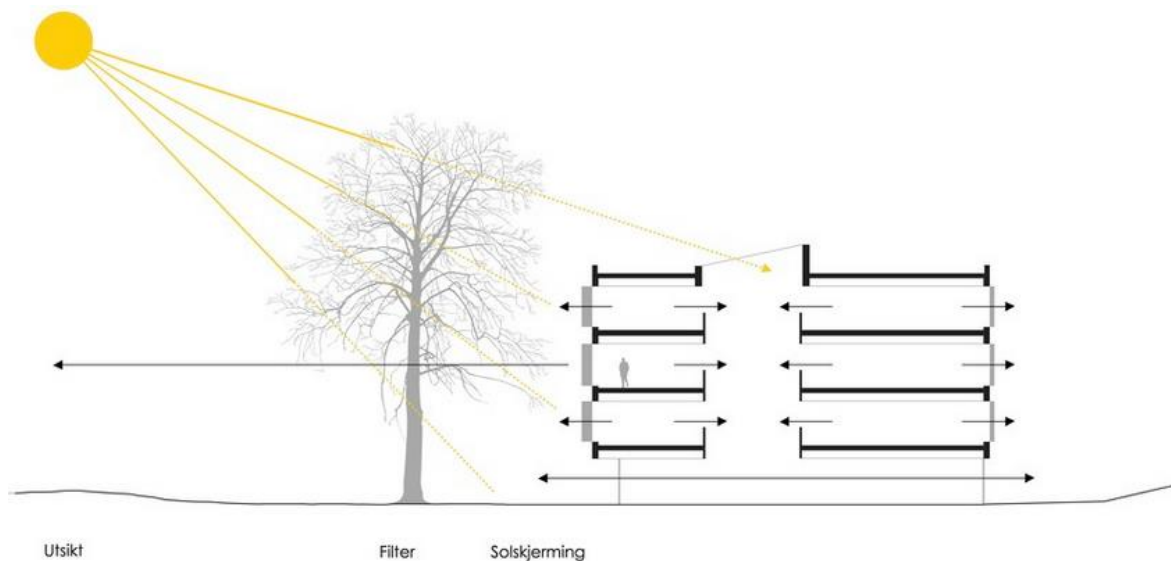
spetsiaalselt väljatöötatud kergemad pinnasetüübid, millel on hea veeimavus võime ja madal orgaaniliste ainete sisaldus. Niiskusetõke ja hüdroisolatsioon peavad olema paigaldatud äärmiselt korrektselt, kuna seda on väga keeruline ja kallis parandada või korrigeerida, kui pinnasekihid on juba paigaldatud. Haljastatud katuste alla paigaldav veetõke peab olema elastne, et taluda hoone võimalikku liikumist, mittebiolagunev ja vastupidav. Istutada on soovitatav kohalikus kliimas kasvavaid puuliike ja põõsaid, kuna need vajavad madalaimat hooldust.

- Lehtpuude paigutamine lõuna suunal hoonest võib toimida painduva varjestusmeetodina.



Hoone lõunapoolse fassaadi ees asetsevad lehtpuud võimaldavad talvel päikesekiirteid neid läbida ning jõuda siseruumidesse, samas suvises olukorras toimides loomuliku varjestusena kaitstes siseruume valgusräiguse ja ülekuumenemise eest.

Joonis 3.8 - Lehtpuud on kõige sobilikumad varjestuse eesmärkideks kuna talvel langevad puudelt lehed, siis need ei varja päikesekiirgust ja võimaldavad soojusel jõuda hoone sisemusse. Suvel aga toimivad nad varjestusena hoides hoonet ülesoojenemise eest. Digitaalne allikas: <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/vegetation/>



Joonis 3.9 - Munkendamsveien 62 büroohoone varjestamine. Autorid: LPO arkitekter.
Digitaalne allikas: <https://www.archdaily.com/867849/munkedamsveien-62-lpo-arkitekter>



Joonis 3.10 - Munkendamsveien 62 büroohoone varjestamine. Autorid: LPO arhitektid.
Digitaalne algallikas: <https://www.archdaily.com/867849/munkedamsveien-62-lpo-arkitektid>. Foto: Ivan Brodley



Joonis 3.11 - Munkendamsveien 62 büroohoone varjestamine. Autorid: LPO arkitekter.
Digitaalne allikas: <https://www.archdaily.com/867849/munkedamsveien-62-lpo-arkitekter>. Foto: Ivan Brodley

Kasutatud kirjandus ja allikad

- P J Littlefair, Environmental Site Layout Planning: Solar Access, Microclimate and Passive Cooling in Urban Areas, IHS BRE Press. 2000
- NZEB.IN Knowledge base, Passive design. <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/form-orientation/>
- Autodesk Sustainability Workshop. Climate and site analysis. Digitaalne allikas: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/climate-site-analysis>
- Wind Assessment for Urban Planning and Architecture Digitaalne allikas: <https://rheologic.net/en/urban-wind-assessment>

4 Arhitektuurne maht ja vorm

Hoone arhitektuurne maht ja vorm on väga oluline energiasäästlik juures, see loob nii eeldused kui potentsiaali edasiseks energiasäästlik strateegiaks. Hoone vorm määrab ehitise ruumala ja kütud ning kütmata pinna suhte. Arhitektuurne vorm määrab kompaktsuse, vormifaktori ning seeläbi küttevajaduse ja soojuskaod.

4.1 Energiasäästlik tüpomorfoloogia



Näidislahendused, lihtsustatud tüüpvõtted ja arvutusvalemid kompaktsuse ja ruumikasutuse efektiivsuse kontrollimiseks.

Energiasäästlik tüpomorfoloogia on üks olulisemaid võtmeid energiasäästlik hoone projekteerimisel. See ei saa tugineda ainult arhitekti ruumivisioonil vaid pikem erinevate lahenduste energiasimulatsioonidel. Projekteerimismeetod peab muutuma intuiitsünteesivalt loogilis-analüütiliseks

Intuiiv-sünteesiva ja loogilis-analüütilise projekteerimise võrdlus

Strateegia	Intuiiv-sünteesiv	Loogilis-analüütiline
Meelelis-otsiv	Subjektivne, assotsiatiivne, hüplik, ideepõhine	Eesmärgipõhine ja arusaadav, diskursiivne, teaduslikult põhjendatud
Teadmiste alusallikad	Kogemused, tunnustatud kontseptuaalsed või realiseeritud projektid	Teaduslikud uuringud, teooriad, valideeritud monitooringud
Oskusteabe kasutamine	Traditsioonid, näidislahendused, tüpoloogiad, müüdid	Teaduslikud tekstid, diagrammid, projekteerimis- ja planeerimisjuhendid
Õppemeetod	Õpetaja-õpilase suhtel, mis põhineb jäljendusel, illustatsioonidel, assotsieeruvatel narratiividel	Õpetaja-õpilase suhe, mis põhineb dialoogil ja kriitikal, põhimõtete vahendus
Projekteerimis-meetod	Proovitakse erinevaid lahendusvariante ja tüpoloogiaid projektlahenduse leidmisel	Projektlahenduste väljatöötamine, mis põhineb probleemide analüüsil ja alternatiivsete lahenduste hindamisel
Esitlusviis	Ideede eskiisid, eksplikatsioonid, plaanid ja mudelid	Struktuursed visandid ja mudelid, plaanid, tekstid, diagrammid, arvutused, simulatsioonid

Joonis 4.1 - Algallikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.

Energiasäästliku lahenduse hindamiseks kasutatakse näidikut *Vormifaktor*, mis kirjeldab väga lihtsa valemiga hoone kompaktsust (A_{vp} / A_{neto} või A_{vp} / V , kus välispiirete pind on jagatud kas netopinna või ruumalaga). Energiasäästliku hoone mahu kavandamisel võib välja tuua kuus kategooriat.

- Mitte liialt keerukas hoone mahuline lahendus (kompaktne, lihtne geomeetria, väljaulatuvate osade puudumine)
- Päikesevalgust kasutavate hoone osade õige positioneerimine (aknad, klaasitud pinnad, PV moodulid) vastavalt linnehituslikule olukorrale
- Hoone arhitektuursele kontseptsioonile sobiliku ventilatsiooni- ja küttesüsteemi lahenduse arendamine.
- Hoonet teenindavate tehnruumide õige positioneerimine
- Sobiliku kontseptsioone väljatöötamine energiasäästliku suvise sisekliima saavutamiseks

Hoone kompaktsuse osas tuleb jälgida köetava ja mitteköetava kubatuuri võimalikult väikest segunemist. Avatud parklad, lahtised trepikojad, avatud käiguteed, rõdud jne tuleks kavandada võimalikult eraldi hoone köetavast kubatuurist, võimalusel eelistada nende paiknemist eraldi mahuna.

4.1.1 Vormifaktor

Energiasäästliku lahenduse hindamiseks kasutatakse näidikut *Vormifaktor*, mis kirjeldab väga lihtsate valemitega hoone kompaktsust. Madalate soojakadudega hoonetel peab olema kvaliteetne välispiire (sein, katuslagi, klaasitud osad jne), mis on hea soojustusega ning õhutihe. Välispiirde pindala suhe kasulikku põrandapinda on määrava tähtsusega energiasäästliku hoone kulupõhisel majandusanalüüsil.

Kompaktsuse näitajat, ehk vormifaktorit esitatakse kolmel erineval viisil.

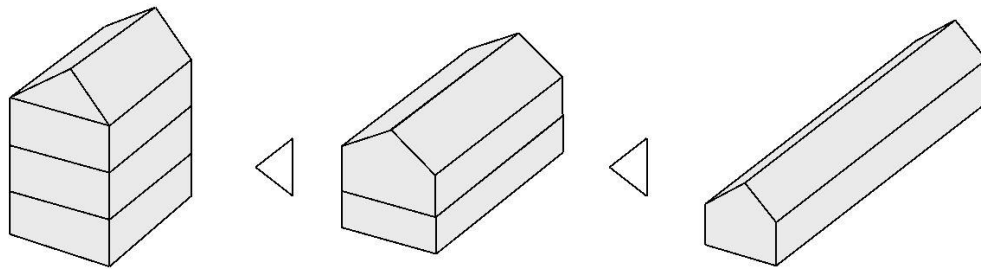
- A / V soojustatud välispiirde pindala suhe kubatuuri. See näitaja võib olla numbriliselt väga hea, kuid ei kajasta suure tühja õhuruumi osatähtsust.
- A / A_{neto} soojustatud välispiirde pindala suhe netopinda
- $A_{kaalutatud} / A_{neto}$ Soojustatud välispiirde pindala, mille juures on arvestatud maapinnaga kokkupuutav osa taanduskoefitsendiga 0,5, suhe netopinda

Viimast näitajat $A_{kaalutatud} / A_{neto}$ ($A_{weighted} / TFA$) loetakse kõige paremaks, sest iseloomustab parimal viisil hoone vormilahenduse ja energiasäästlikust seost. Lihtsustatult võib öelda, et väga kompaksete hoonete puhul võiks U väärtus olla tagasihoidlikum, et tagada energiasäästlikuse piirnäitajad, samas väga halva vormifaktori korral peaks olema eriti hea välispiire ($U \leq 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Hoone kompaktsuse saavutamisel, ehk siis vormifaktorit mõjutavad tegurid on:

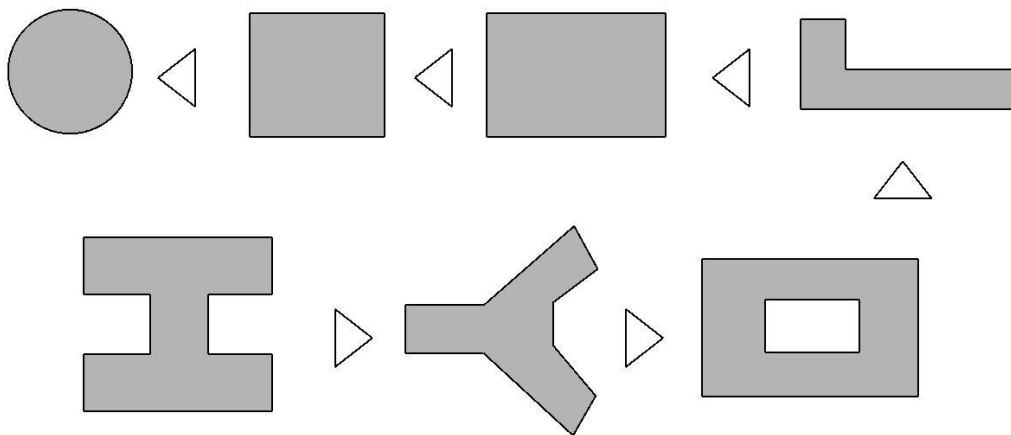
- Hoone kogusuures
- Korruselisus (ühekorruselistel hoonetel on alati halb vormifaktor, mida kõrgemaks seda paremaks see muutub)
- Hoonete sügavus (üle 12m muutub ruumi kasutus keeruliseks tulenevalt päevalguse puudumisest)
- Hoonete pikkus (üle 40-60m muutub kasu marginaalselt)

VÄHENDADA PINNA/RUUMALA SUHET



Suurendada hoone kompaktsust vähendades välisseinte pindalat sama ruumala puhul

SUURENDADA HOONE PÕHIPLAANI KOMPAKTSUST



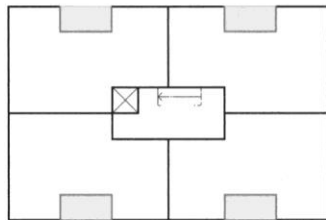
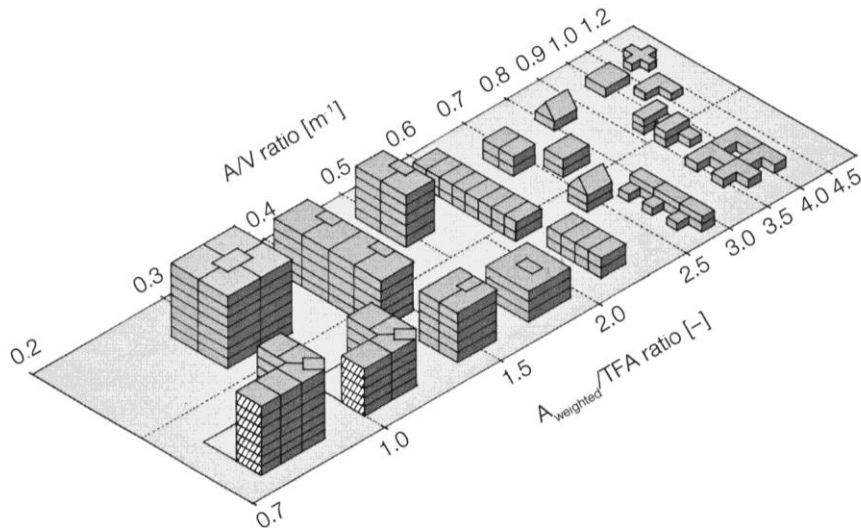
Joonis 4.2 - NZEB.IN Knowledge base, Passive design. Digitaalne originaallikas: <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/form-orientation/>

Vormifaktor on hea hindamiskriteerium hoone projekteerimise algaasis, arhitektuurse lahenduses kontrollimiseks. Edasi projekteerimise käigus oleks mõistlik minna üle täpsematele näitajatele, mis arvestaksid ka teisi faktoreid.

Selliseks näitajaks on soojuserikadu H / A_{neto}

Hoone soojapidavus mõõdetuna kõetava netopinna kohta arvatud soojuserikaona H/A_{neto} on hoone soojapidavuse põhinäitaja, mis sisaldab nii kompaktsuse, akende suuruse ja soojustuse taseme mõju. Soojuserikadu H arvutatakse summeerides kõikide välispiirete osade soojusläbivuste (U -arvude) ja pindalade korrutised, millele lisatakse ka külmasildade ja infiltratsiooni soojuserikaod.

Välispiirete soojapidavuse, akende ja seinte soojusläbivuse, akende osakaalu ning õhupidavuse näitajad on kõik abinäitajad, mis sisalduvad hoone soojapidavuse põhinäitajas. Välispiirete soojapidavus mõõdetuna soojuserikaona H/A_{vp} , kus A_{vp} on välispiirete pindala, tähendab sisuliselt välispiirete pindalaga kaalutud keskmist soojusläbivust ehk U -arvu. Nende abinäitajate väärtused sisaldavad teatud mänguruumi ja võimaldavad mitmeid valikuid, eeldusel et hoone soojapidavus H/A_{neto} suudetakse kontrolli all hoida.



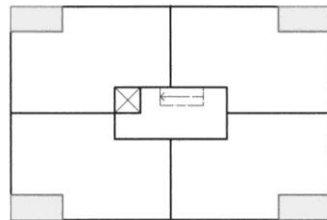
Loggias, central position

thermal bridges: 40 m

$$A_{\text{weighted}}/TFA = 1.54$$

reduction factor
for overshadowing: 0.51

space heat
demand: 17.0 kWh/m²a



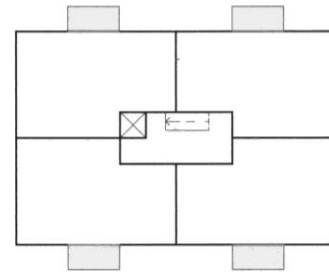
Loggias, corner position

thermal bridges: 30 m

$$A_{\text{weighted}}/TFA = 1.39$$

reduction factor
for overshadowing: 0.55

space heat
demand: 14.7 kWh/m²a



Balconies, set in front of facade

thermal bridges: 20 m

$$A_{\text{weighted}}/TFA = 1.28$$

reduction factor
for overshadowing: 0.70

space heat
demand: 10.2 kWh/m²a

Joonis 4.3 - Erinevate eluhoonete vormifaktorid ülemisel skeemil ning võrdlus erinevate viiside vahel, kuidas paigutada rõdusid ja lodžasid. Eeldusel, et piirdekonstruktsiooni soojustus on katkestusteta ja ei ole suuri erinevusi vormifaktorite vahel. Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.

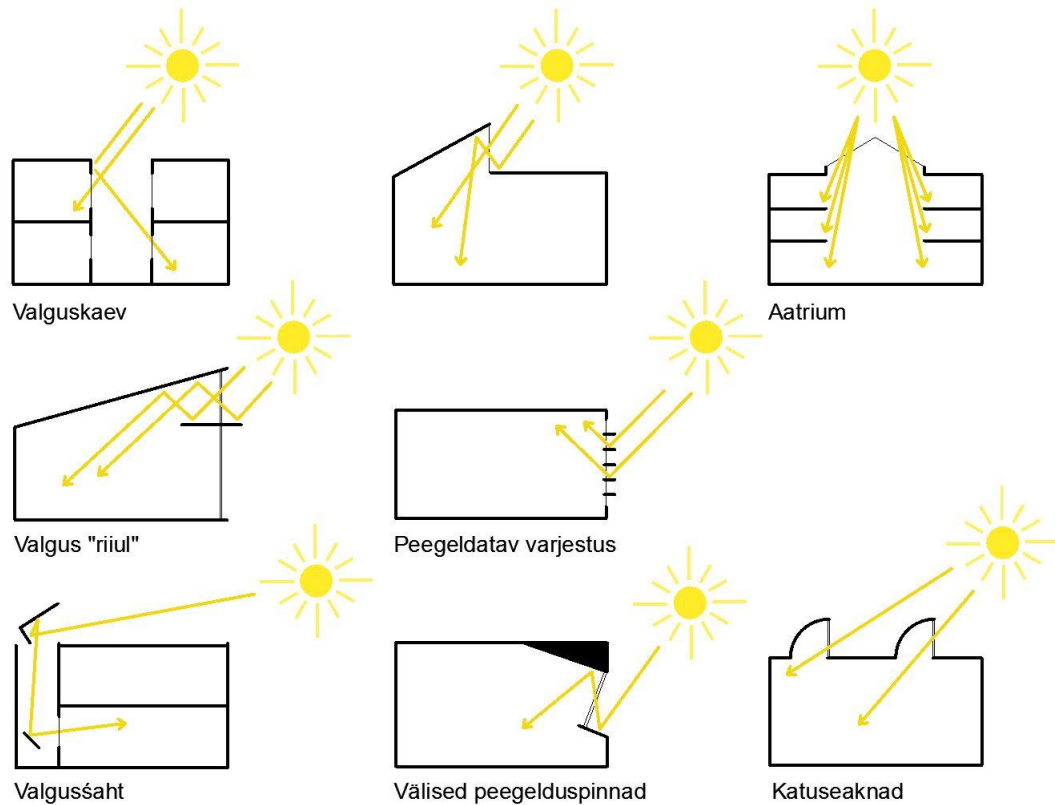
Tabelis 4.4 toodud kontrollarvud ei ole ette nähtud käsitlemiseks postulaatidena, vaid nende eesmärgiks on suunata projekteerimise käigus valikuid nii, et nende põhjal tehtud energiasimulatsioonid annaksid tulemuseks madal- või liginullenergiahoone energiatõhususarvu. Esimene energiasimulatsioon on otstarbekas teha eskiisprojekti koosseisus. Õigete lahenduste valimiseks piisab enamasti ka hoone ühe tüüpkorruse energiasimulatsioonist. Selline suhteliselt 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 sissekäigukorrusel on tavaliselt suuremad klaaspinnad ja muid suuremat energiakasutust põhjustavaid tegureid. Fassaadide optimeerimisel on otstarbekas teha ka päevavalgussimulatsioone, et tagada ruumide hajusvalguse jagunemise ühtlus ja vältida kontrasträiguse esinemist.

	Tavahoone	Madal- ja liginullenergiahoone
Hoone soojapidavus H/A_{neto} , $W/(K m^2)$		
$A_{\text{neto}} = 500 m^2$	0,8	0,4
$A_{\text{neto}} = 1000 m^2$	0,6	0,3
$A_{\text{neto}} = 2000 m^2$	0,5	0,25
$A_{\text{neto}} \geq 4000 m^2$	0,4	0,2
Välispiirete soojapidavus H/A_{vp} , $W/(K m^2)$	0,5	0,25
Akna summaarne soojusläbivus U , $W/(m^2 K)$	1,4	$\leq 0,8$
Akna päikeseläbivustegur g , -	0,3-0,5	optimeeritud
Välisseina soojusläbivus U , $W/(m^2 K)$	0,25	0,14
Õhupidavus q_{50} , $m^3/(h m^2)$	≤ 3	≤ 1
Päikesevarjestus		optimeeritud
Keskmine päevavalgustegur, %	2	2
Akende osa fassaadist, %	40-90	25-40
Tüüpruumide jahutusvõimsus, W/m^2	50-100	≤ 40
Soojustagastuse temperatuuri suhtarv, %	≥ 70	≥ 80
Ventilatsiooni erivõimsus SFP, $kW/(m^3 s)$	2-2,5	1-1,5
Nõudluspõhine ventilatsioon		nõupidamised ja vastavad
Jahustegur SEER	2-3	≥ 5
Paigaldatud valgustusvõimsus, W/m^2	≤ 12	≤ 6
Valgustuse juhtimine	aegjuhtimine	juhitavad valgustid ja multiandurid
Soojusallikas		kaugküte, soojuspump, biokütus
Lokaalse taastuenergia osatähtsus, %		liginullenergiahoone ≥ 10

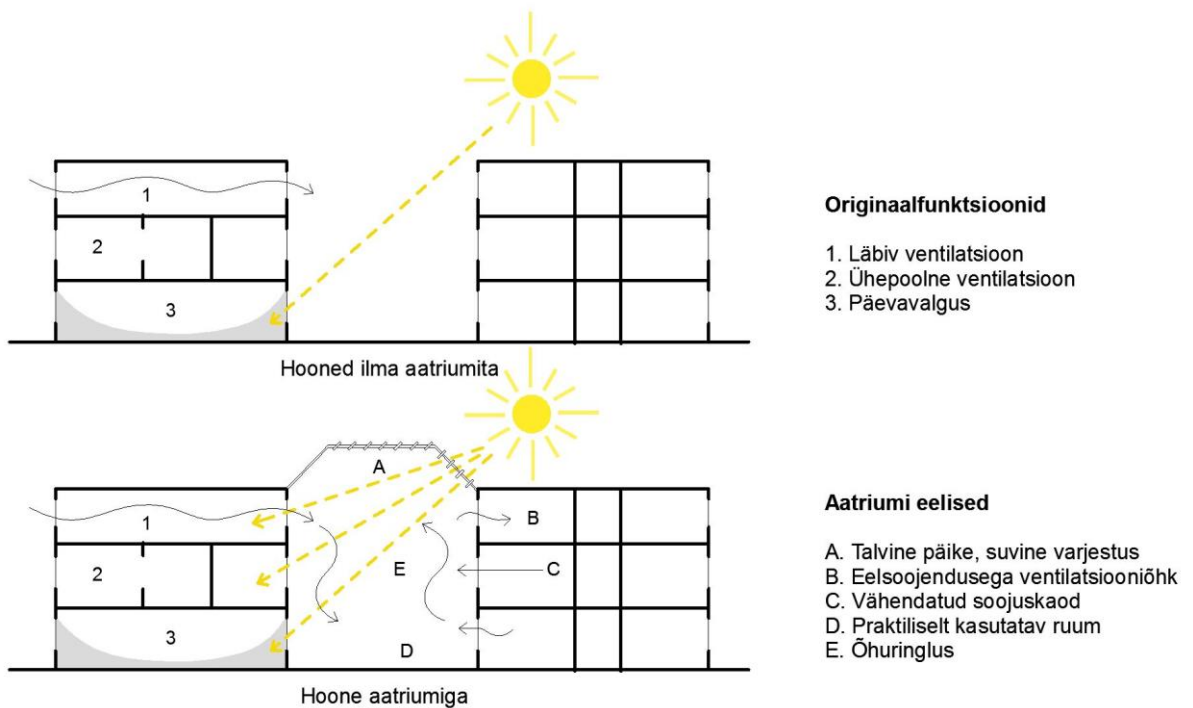
Joonis 4.4 - Energiatõhususe põhiparameetrite kontrollarvud madal- ja liginullenergiahoonete projekteerimiseks. Täiendatud algllikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

4.1.2 Aatriumi tehnoloogilised eelised ja kujundamine

Arvestades vormifaktorit on kõige parema tüpoloogiaga aatriumhooned, välispiirde suhe kas siis ruumalasse või netopinda annab parema tulemuse. Hoone keskosa loomulikuks valgustuseks kasutatakse erineva lahendusega katusaknaid. Katusakende avatuse allutamine automaatikale võimaldab kasutada neid ka naturaalse väljatõmbe ventilatsioonisüsteemiga, eriti suveperioodil kui soojustagastus ei ole oluline. Selliste lahenduste eeskujuks on olnud „termiidi pesa“, mida tuntakse kui ühe parima biofiilse arhitektuurivõtte näitena. Idamaades oli enne õhukonditsioneeride leiutamist enamlevinud arhetüübiks keskse suure saaliga hoone kus aatriumis tekitatud tõmme toimis kui naturaalne ventilatsioon viies kuuma õhu välja. Sellist lahendust nimetatakse ka kui „solar chimney“ ning on kasutatud ka mitmete uusarenduste puhul, tagamaks täieliku naturaalse ventilatsiooni.



Joonis 4.5 - Loomuliku valguse kasutamise kontseptsioonid hoone mahtude planeerimise juures. Originaallik: Owen J. Lewis, A Green Vitruvius. London: Architects Council of Europe, 1999a, lk 91.



Joonis 4.6 - Aatriumi eelised ja mõjud ventilatsioonile, soojuskadudele, õhuringlusele ja küttele. Originaallik: Owen J. Lewis, A Green Vitruvius. London: Architects Council of Europe, 1999a, lk 74.

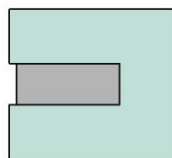


Joonis 4.7 - PLVS VLTRA. Wiegierinck Arhitektid: Bert Muijres, Roy Pype, Tim Loeters.
Digitaalne allikas: <https://www.archdaily.com/799352/plvs-vltra-wiegierinck> Foto: Kim Zwarts

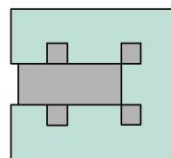
Kontseptuaalne vorm



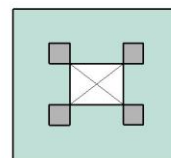
Skeem 1



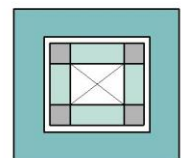
Skeem 2



Skeem 3

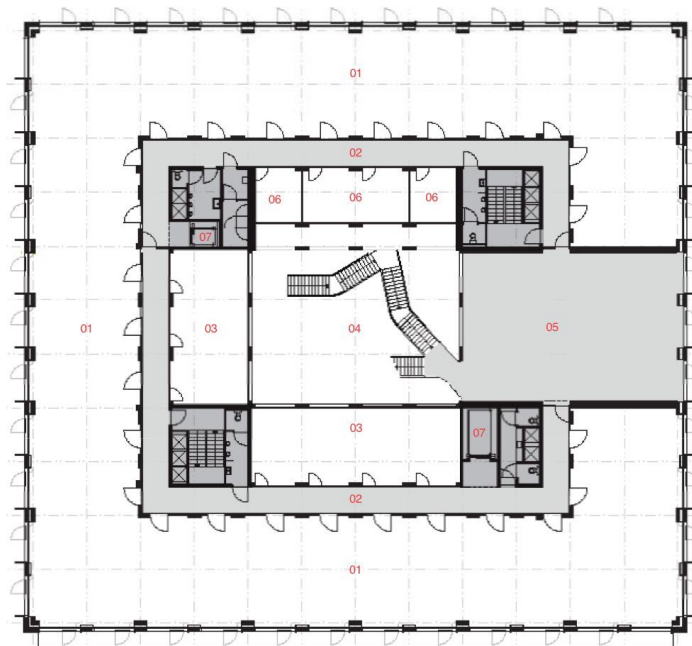


Skeem 4



Skeem 5

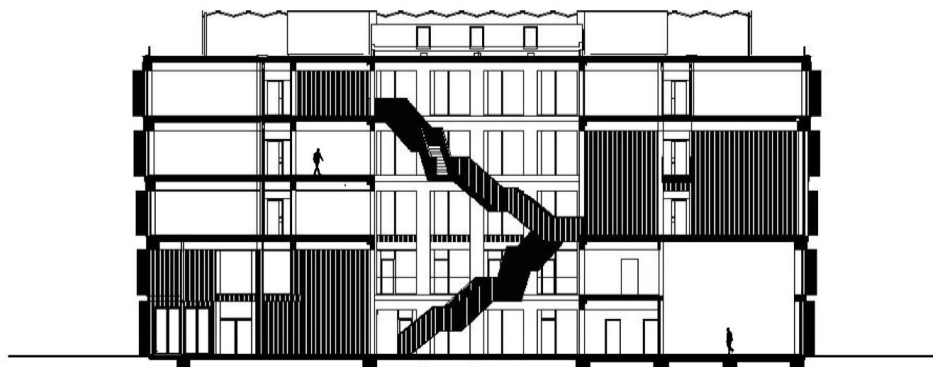
Joonis 4.8 - Kontseptuaalne skeem. PLVS VLTRA. Wiegierinck Arhitektid: Bert Muijres, Roy Pype, Tim Loeters. Digitaalne allikas: <https://www.archdaily.com/799352/plvs-vltra-wiegierinck>. Foto: Kim Zwarts



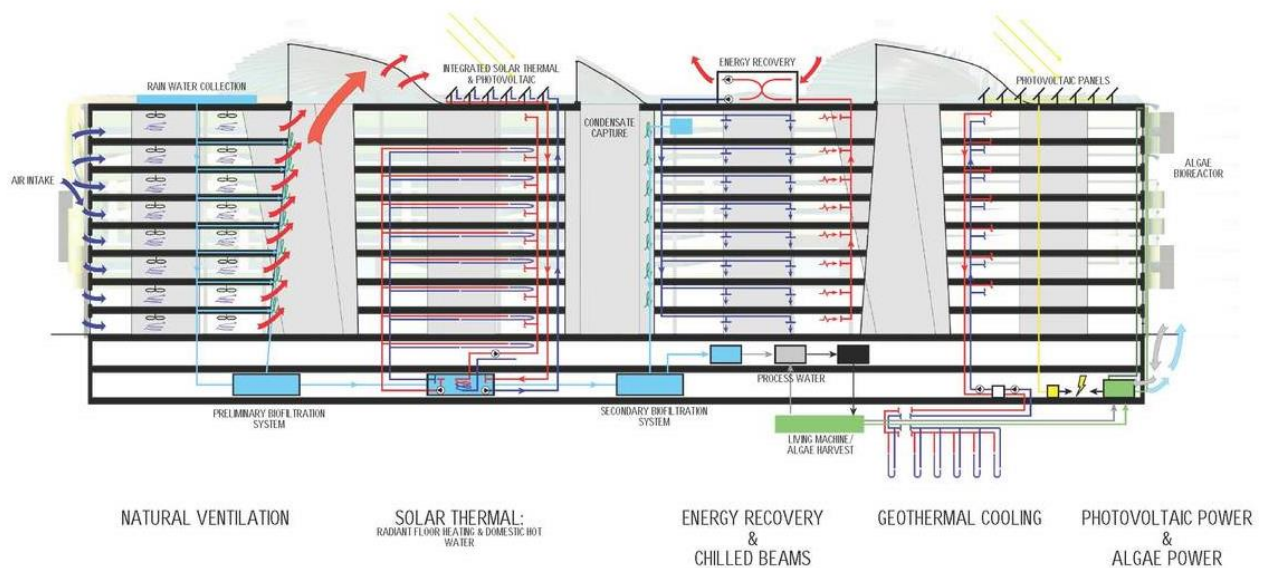
Second floor plan

- 01 laboratory / office
- 02 circulation
- 03 office
- 04 atrium
- 05 public meeting
- 06 private meeting
- 07 elevator

Joonis 4.9 - Korruse plaan. PLVS VLTRA. Wiegerinck Arhitektid: Bert Muijres, Roy Pype, Tim Loeters. Digitaalne allikas: <https://www.archdaily.com/799352/plvs-vltra-wiegerinck>



Joonis 4.10 - Korruse plaan. PLVS VLTRA. Wiegerinck Arhitektid: Bert Muijres, Roy Pype, Tim Loeters. Digitaalne allikas: <https://www.archdaily.com/799352/plvs-vltra-wiegerinck>



Joonis 4.11 - Aatriumide kasutamine hoones, lõige. HOK Arhitektid.. Digitaalne allikas: <http://www.hok.com/about/sustainability/process-zero-concept-building/>

4.2 Resilientsus



Resilientsus arhitektuuris, kohanemisvõimelise ehk paindliku ruumi kujundamise põhimõtted üldlevinumate ruumiseadmete ja ehituslike lahenduste puhul.

Resilientsus on igasuguse keerulise süsteemi võime kohaneda ökoloogiliste, majanduslike, demograafiliste muutustega, muutuvate ühiskonna vajadustega, stressi, kriiside ning süsteemisestest või välisest muutustega. Resilientsuse kontseptsiooni eesmärk on muutuda vastavalt vajadusele ja leevendada ning ennetada võimalikke muudatuste ning kriisisituatsioonide negatiivseid tagajärgi. Resilientsus on kompleksne kontseptsioon, millel on palju erinevaid tasandeid: füüsilise ruumi planeerimine, ökoloogiline, majanduslik, poliitiline, sotsiaalne, ühiskondlik, kogukondlik ning individuaalne. Need kõik on omavahel seotud ja süsteem tervikuna saab resilientselt toimida käsitledes kõiki tasandeid seotult ühte sotsio-ökoloogilisse süsteemi. (Aleksi Tihonov, Mahajäetud tööstusalade resilientsus: Kopli Kaubajaama juhtumiuuring, TTÜ magistritöö 2014)

Resilientsus mõistena on saanud alguse bioloogiast ökosüsteemide uurimisest ning praegugi on kõige laiemalt levinud resilientsuse teooria rakendamine seotud looduskatastroofide ja ökoloogiliste muutuste tagajärgedega toimetuleku parandamisega. Kuid lisaks ökoloogilisele rakendamisele on resilientsuse kontseptsiooni rakendatud väga erinevates valdkondades: keskkonnauuringutes, katastroofide ennetamises, kliimamuutuse vähendamise strateegiatel ja muudes loodusega seotud prognoosides.

Resilientsus linnaplaneerimises.

Resilientsuse idee on hiljuti rakendatud uurijate, teoreetikute, linnaplaneerijate ning kohalike omavalitsuste poolt ka linnaplaneerimises. Näideteks sellest on kaasaegsed uusurbanistlikud resilientsuse mudelid nagu "eco-efficient city", "carbon-neutral city", "the place based city", "social-ecological urbanity". Resilientsus on muutumas populaarseks

ideeks linnaplaneerimise seisukohast, kuna maailm ning ühiskonnad on muutumas ning jätkusuutlikkuse kontseptsioonid üksi ei ole suutelised ära hoidma muutuste negatiivseid tagajärgi. Resilientsus linnaplaneerimises on kaasaegsete linnaplaneerimisteooriatega ühiste põhimõtetega, kuid see seob nendega tihedamalt keskkondlikud, sotsiaalsed ja majanduslikud aspektid, mis suurendab arhitekti ühiskondlikku vastutust ja kohustusi ühiskonna ees.

Käesoleva juhendmaterjali raames keskendutakse väga väiksele osale resilientsuse põhimõtetest - füüsilise ruumi resilientsusele. Linnaplaneeringuline resilientsus suures osas on käsitletud targa asendi ja linnaplaneeringu peatükis.

Resilientsus arhitektuuris väljendub eelkõige erinevate paindlikkuse meetodite ja strateegiate kaudu. Resilientse arhitektuuri põhimõtted, meetodid ja projekteerimise strateegiad:

- Loogilis-analüütiline projekteerimismudel resilientsuse suurendamise meetodina. Arhitektuurne projekteerimine, mis põhineb teaduslikele ja teoreetilistele uuringutele on teaduslikult põhjendatud ning põhineb probleemide analüüsil ja lahenduste hindamisel on oluliselt suurema resilientsuse potentsiaaliga võrreldes meelelise-traditsioonilise ainult kogemustele tugineva ja subjektiivse arhitektuurse lahenduse valiku tegemisega. See ei puuduta ainult hoone välisilme kompositsioonilist esteetikat vaid eelkõige põhimõttelist hoone tüpoloogiat kontseptsiooni ning põhiideed. Joonisel 4.1 Intuiitiv-sünteesiva ja loogilis-analüütilise projekteerimise võrdlus on välja toodud põhilised erinevused intuiitivse-sünteesilise projekteerimise ja loogilis-analüütilise arhitektuursete valikute tegemise stiilide vahel.
- Parameetiline ja generatiivne projekteerimine on üheks resilientsuse meetodiks, kuna projekteerimisprotsess ei ole enam rangelt hoone lõpptulemusele orienteeritud vaid väljendab hoone või selle osa kogu protsessi programmeerimist ja kirjeldamist läbi omavaheliste suhete. See võimaldab projekteerimisprotsessi lõpptulemusel - hoonel olla painduvam ja muutuda edukamalt vastavalt tuleviku ebamäärasusele kui staatilise projekteerimise puhul. Parameetiline projekteerimine võimaldab evolutsiooniliste algoritmide kasutamist projekteerimisprotsessides, mis võimaldab hoone või hooneosa optimeerimist võimalikult efektiivse lõpptulemuse jaoks. Kuna parameetrilise projekteerimise puhul on võimalik algparameetreid ja seeläbi ka lõpptulemust valemis muuta mistõttu on selline protsess ja lõpptulemus suurema kohanemisvõimega. Energiatõhususe kontekstis üheks parameetrilise projekteerimise praktilisimaks näiteks on hoone päikesevarjestuse hulga optimeerimine vastavalt akende hulgale, varjestuselementide suurusele ja akende paiknemise ilmakaarte osas.
- Adaptiivne arhitektuur

4.2.1 Adaptiivne arhitektuur

Adaptatsioon on üks võimalikest meetoditest et suurendada resilientsust. Robert Kroneburg oma raamatus *Flexible: Architecture that responds to Change* (2007) kirjutab, et "Arhitektuur, mis on planeeritud adaptatsiooni arvestades, tunnistab, et tulevik ei ole

kindlaks määratud ja muutused on vältimatud, kuid, et raamistik on oluline element mis võimaldab muutustel toimuda."

Kohandatavad ehitised on mõeldud kergesti reageerimiseks erinevatele funktsioonimuutustele, kasutusmuustritele ja konkreetsetele kasutaja vajadustele, mida on kõige lihtsam näha äri-, kontori ja jaemüügipindade projektides. Need on planeeritud sobima võimalikult paljude siseplaneeringuliste lahendustega ning täitma vastavaid vajadusi ruumikujundamise osas sisearhitektide, klientide ja töövõtjate poolt, kui hoone väliskest on juba valmimas. Kohanemisvõimega arvestamine tähendab ka investoritele pikemat ja kindlamat tulu, kuna tulevaste muutustega arvestamine on juba hoone põhimõttelisse tüpoloogiasse arvestatud.

Arhitektuursed võtted, mis arvestavad hoonete adapteerimisvõimet:

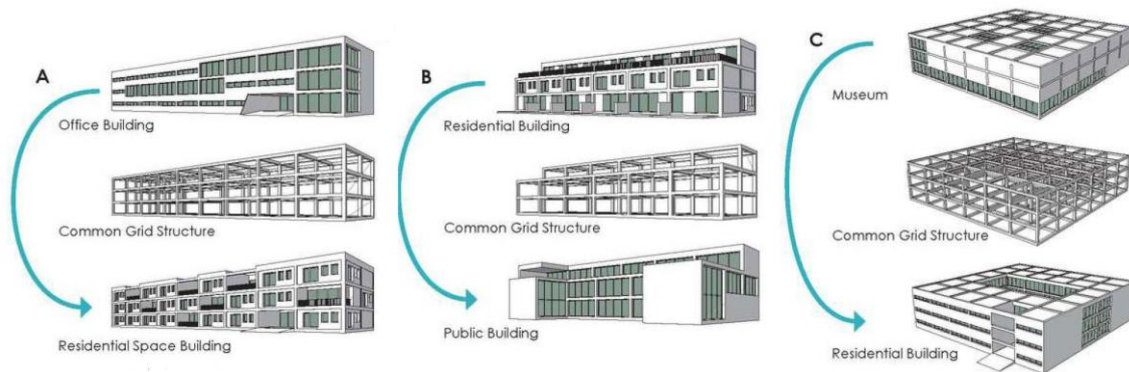
- liikuvus, liikuvad hooned, mitmesse keskkonda sobivad hoonetüpoloogiad. Hooned, mida on võimalik transportida erinevasse asukohta vastavalt vajaduste muutumisele, näiteks treilerid, karavanid, laevad ja ka kosmosejaamad. Üheks lihtsustatud paralleeliks liikuvusest adaptiivses arhitektuuris võib pidada ka tüüpprojektide kasutamist, mis võimaldavad hoonetel sobituda erinevatesse keskkondadesse.
- automatiseeritus: kasutajate sekkumine. Hooneosad, mis võimaldavad kasutajatel liigutada, pöörata või muuta hoone interjööris või eksterjööris paiknevaid hooneosad kas käsitsi või automaatselt. Automatiseeritud muutumist on võimalik ka programmeerida vastavalt käitumismustritele, ajale või sisendite muutumisele. Üheks paralleeliks sellele võib tuua "targa maja" kontseptsiooni, mis automatiseerib hoone tehnosüsteemide toimimise.
- stsenaariumplaneerimine. erinevate tulevikustsenaariumitega arvestamine hoone või kinnistu planeerimisel.
- etapilisus: etapilisega arvestamine hoone planeerimisel, mis võimaldab hiljem hoonet laiendada või muuta oluliselt lihtsamalt, kuna nende potentsiaalsete muudatustega on hoone algprojektis arvestatud.
- fassaadid ja dünaamika, varjestus vastavalt vajadusele. Dünaamilised fassaadilahendused ja varjestus süsteemid, mis muutuvad vastavalt ajale ja vajadusele.
- taaskasutus, hooneosade vahetamine. Hoone kandesüsteemi ja ruumide tüpologia planeerimine, mis võimaldab hoone eluea jooksul võimalikult suurt paindlikkust funktsioonide muutmise osas.
- kohanemisvõimelised, innovaatilised-dünaamilised ruumilahendused.

Kohanemisvõimelised ruumilahendused

Hoonete taaskasutamine ja kasutamisest välja langenud hoonete kasutuselevõtmine on väga oluline adaptiivsuse ja tulevikule orienteeritud arhitektuuri planeerimise juures. Kuid seda võib olla väga keeruline saavutada, kui sellega ei ole arvestatud hoone planeerimisel. Eriti problemaatiline on see siis, kui muudetakse ruumide funktsioone.

Hoonete planeerimise juures on vajalik võimaldada maksimaalset mitmekülgset ning muutumisevõimet. Näiteks paneelmajade renoveerimise juures on probleemiks jäik kandesüsteem, mis ei võimalda olulisi muutusi vastavalt nõudmiste muutusele korterite osas. Hoonete resilientsuse suurendamise heaks näiteks on N2M firma poolt koostatud

teoreetiline juhtumiuuring *A resilient social-ecological urbanity: A case study of Henna, Finland*, milles planeeringu ühe osana on joonisel 4.12 graafiliselt lahendatud hoonete funktsiooni muutumise vajadustega arvestav kandesüsteem. See võimaldab hoonetel ja ruumiprogrammidel transformeeruda vastavalt piirkonna ning ühiskonna muutustele ja vajadustele.



Joonis 4.12 - Kohanemisvõimelise hoonetüpoloogia näide, mis võimaldab ühe konstruktiivse lahendusega rajada erineva funktsionaalsusega hooneid. N2M. *A resilient social-ecological urbanity: A case study of Henna, Finland*. Digitaalne allikas: <http://rs.resalliance.org/2010/10/12/resilience-meets-architecture-and-urban-planning/>

Konstruktiivne resilientsus ja kohanemisvõimelised ruumilahendused nii avalike kui korterelamute puhul võimaldab hoone elutsükli jooksul muuta vähesema vaevaga hoone funktsioone või ruumide jaotust. Post-plaat süsteem on erinevatest konstruktiivsetest süsteemidest endiselt kõige mitmekülgsem ja võimaldab hooneid rekonstrueerida olulisel määral, säilitades ühe energiamahukamatest (ökoloogilise jalajälje poolest on raudbetoon üks kõige suurema jalajäljega ehitusmaterjalidest) hooneosadest - kandekonstruktsiooni.

4.2.2 Segatud funktsioonid

Segatud funktsioonidega hoonestust iseloomustab jalakäijasõbralik infrastruktuur ja hoonestus mis ühendab kaks või enam elamu-, äri-, kultuuri-, institutsionaalset või tööstuslikku kasutusviisi. Segafunktsionaalsus on üks kümnest Targa Arengu printsiipidest - planeerimisstrateegia mis edendab majanduslikke-, kogukondlikke- ja keskkondlikke arenguid. Segatud funktsioonide üks levinud näide on mitmekorruselised korterelamud, mille esimesel korrusel on avaliku kasutusega pinnad ning ülemistel korrustel asuvad korterid. Kuigi need on ka mitmefunktsionaalsed hooned, ei keskendu käesolev peatükk ainult sellise tüpoloogia hoonetele vaid kaasab ka keerukama tüpoloogia hübriidhoonete kirjeldusi. Hübriidhooned on hooned või hoonete kompleksid-kvartalid, milles on mitmed funktsioonid omavahel tihedalt seotud. Need mõjuvad funktsionaalselt kui linn-linnas ning lisavad linnalikule keskkonnale lisafunktsioone ja kihte.

Segatud funktsioonid hoones pakuvad vastastikust kasu - elu ja büroo, äri ja muude teenuste vahel. See on sümbiootiline suhe nii energiaatõhusal, sotsiaalsel kui ka muul tasemel.

Segafunktsioonidega hooned või hoonegrupid:

- soodustab hoonestustiheduse tõusu ja maakasutuse mitmekülgust
- loob jalakäijasõbraliku kogukonna katkematute kergliiklusühendustega

- kolme või enamat kasumit tootvat funktsiooni (nt jaemüük, meelelahutus, kontorid, kultuur/rekreatsioon)
- segakasutusega funktsioonidega hoonetes ööpäevaringne kasutus, mis tõstab turvalisust ning võimalust mitmes aspektis sümbiootilist kasutamist. nt. vahelduv parkimine elu ja büroohoonete vahel.

Horisontaalne segakasutus:

- Koosneb monofunktsionaalsetest hoonetest, mis asuvad multifunktsionaalse maakasutusega kvartalis, mis võimaldab erineva kasutusviisiga hoonete rajamist ühe arendusprojekti raames.
- Pakub mitmesuguseid täiendavaid ja integreeritud kasutusviise, mis on ümbritseva naabruskonnaga väga hea kergliikluse ligipääsuga

Vertikaalne segakasutus:

- Ühendab erinevad funktsioonid ühes hoones korruste lõikes
- Avalikud funktsioonid (poed, restoranid või muud ärifunktsioonid) on koondatud alumistele korrustele
- Ülemistel korrustel on privaatsema kasutusviisiga ruumid, näiteks büroo-, hotelliruumid või korterid

Segakasutusega hooned aitavad kaasa elukvaliteedi ja resilentsuse tõusule linnades. Mitme funktsiooniga ehitised suurendavad erinevate funktsioonide sünergilist mõju. Targalt planeeritud segatud funktsioonidega hooned saavad kohanduda nende kasutusviisi ja kasutajate käitumismustrite muutumise järgi. Segafunktsiooniga linn saab anda ruumi tagasi linnale läbi avaliku ruumi loomise mitte ainult hoonete ümber vaid ka nende sees ja nende peal. Need avalikult kasutatavad ruumid võivad olla sisetänavad, katusepargid, -aiad: poolprivaatsed, poolavalik või avalikud ja muud. Võtmemärksõnad on siin hea haldus ja sotsiaalne kontroll. (allikas: Roberto Meyer, Mixed Use Buildings - Sustainable Architectural Form towards the Low-carbon Cities , HI-DESIGN International Publishing (HK) CO.,LTD.,2014)

Näide multifunktsionaalse hoone projektist, mis rakendab edukalt segatud funktsioonide teooriat ning olles seetõttu adaptatiivne, resilientne ning rikastab naabruskonda ja linnakeskkonda. Noonel on jagatud pinnad - ruumid, näiteks katus, külaliskorter ja suur terrass väljarentimiseks või ühiseks kasutamiseks, wc hoovi pool lastele, kes mängivad sisehoovis. Lisaks nendele on näiteid jagatud tööruumist, basseinist, külalisteruumist jne.

Arhitektid: BARarchitekten

Address. Oderberger Str. 56 Berlin–Prenzlauer Berg

projekt 2008
valminud 2010



Joonis 4.13 - Korterelamu foto. Autor: Andrea Kroth
Arhitektid: BARarchitekten. Digitaalne algallikas:
<http://www.bararchitekten.de/projects/oderberger.html>

Eluruumid 30 - 128 m², väiksemad ruumid võivad olla ühendatud suurematega. Äripinnad 5 - 54 m².

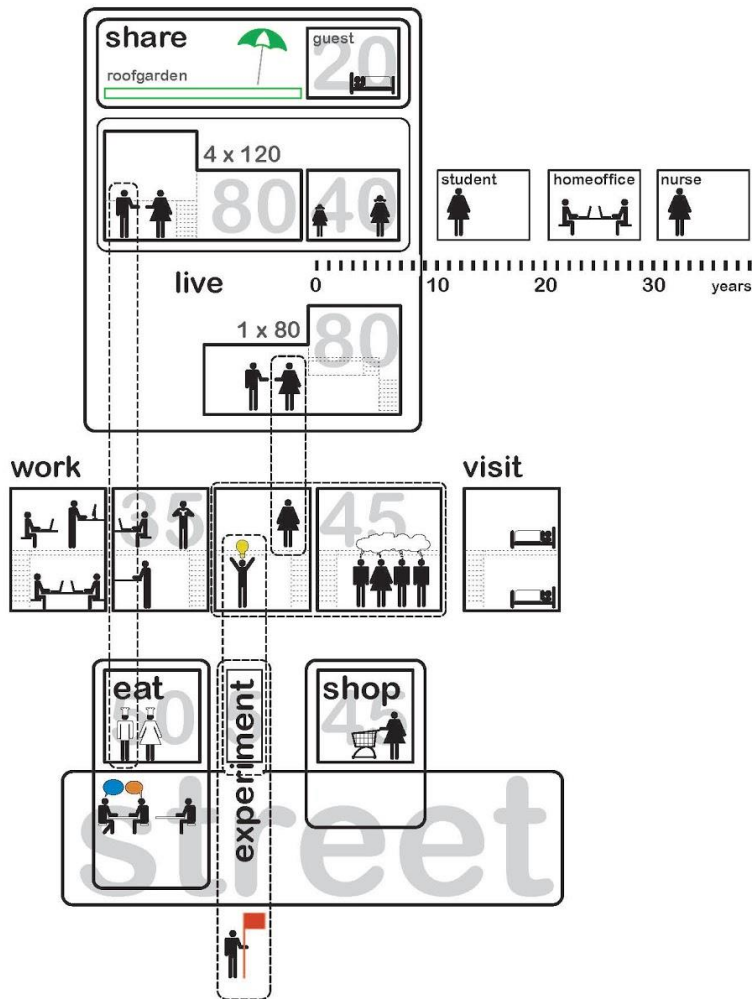
Äri ja avalikud ruumid: keldri tööruum, pood, kohvik ja minigalerii.

Esimese korruse stuudiod: renditavad äripinnad, tööpinnad ja lühiajaline elamisfunktsioon. Korterid: segu väljaüritavatest ja kindla omanikega korteritest, külaliskorter. 50 % üüripinnad, 50 % omanikele.

Keeruline sisestruktuur vastab ümbritseva linnakeskkonna keerukusele. Erinevalt tavapäraest elamuarendustest, mis kasutavad ära linnakonteksti rikkuse, kuid pakuvad vastu ainult ühe kasutusviisi pakutakse selles projektist nõ. sisemist urbanismi, mis aktiivselt aitab kaasa linna jätkuvale arengule kohtumispaigana.

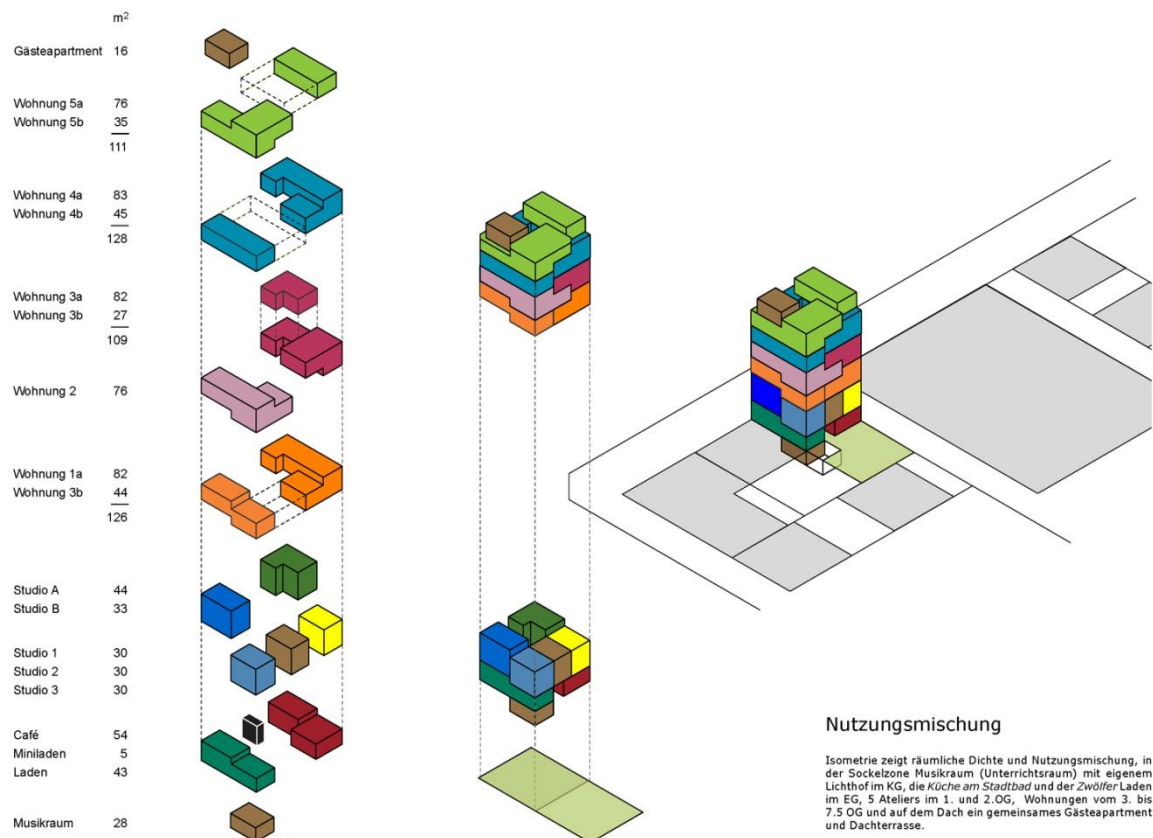
Joonise 4.14 ülemises osas on kujutatud läbi kahe korruse korterite planeering, millest üks suurem osa on 80 m² ning teine väiksem osa on 40 m². Need on kergelt eraldatavad ning võivad olla kasutatavad lastetubade jaoks, hiljem on võimalik neid välja rentida tudengitele, kasutada kodukontorina või medõe korteriteks. Samuti on võimalik kasutada ka eraldiseisva väljaüritava korterina.

Alumisel graafiku osal on kirjeldatud hoone esimese ja teise korruse tüpoloogiat. Hoone teisel korrusel on samuti pinnad, mis on iseisvad ning mida on võimalik näiteks bürooruumidena, väiketööstusena või külaliskorteritena välja rentida kuid mida on võimalik ühendada esimese korruste ruumidega. Neid on võimalik kasutada väga erinevate kasutusviisidega ning mis on adaptatiivsed ja resilientsed.



Die Austauschmöglichkeiten innerhalb des Hauses,
die Vernetzung mit dem öffentlichen Raum und die
Veränderbarkeit in der Zeit

Joonis 4.14 - Korterelamu sisetüpoloogiat ja selle adaptatsioonivõimet iseloomustav
i kooskeem. Digitaalne algallikas: <http://www.bararchitekten.de/projects/oderberger.html>



Joonis 4.15 - Erinevate korterite ja ruumide omavahelisi seoseid kirjeldav graafik.

Digitaalne allikas: <http://www.bararchitekten.de/projects/oderberger.html>

Kasutatud kirjandus ja allikad

- Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.
- Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Bürohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.
- Owen J. Lewis, A Green Vitruvius. London: Architects Council of Europe, 1999a, lk 91
- PLVS VLTRA. Wiegerinck Arhitektid: Bert Muijres, Roy Pype, Tim Loeters. Digitaalne allikas: <https://www.archdaily.com/799352/plvs-vltra-wiegerinck> Fotod: Kim Zwarts
- HOK Arhitektid.. Digitaalne allikas: <http://www.hok.com/about/sustainability/process-zero-concept-building/>
- N2M. *A resilient social-ecological urbanity: A case study of Henna, Finland.* Digitaalne allikas: <http://rs.resalliance.org/2010/10/12/resilience-meets-architecture-and-urban-planning/>
- Arhitektid: BARarchitekten. Oderberger Str. 56. Digitaalne allikas: <http://www.bararchitekten.de/projects/oderberger.html>

5 Fassaadide kujundamine

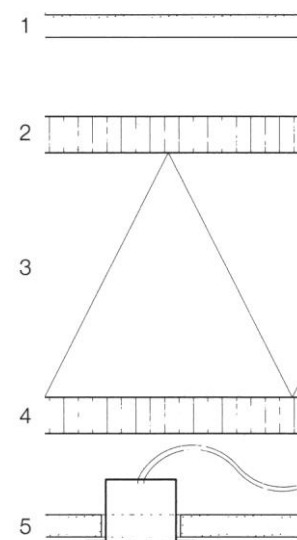
soojapidavus, valgusläbivus ja varjestus

5.1 Välispiirded ja avatäited

Järgnevalt on kirjeldatud energiaõhususe põhiparameetritele vastavaid välispiirete kujundamise põhimõtted. Madal- ja liginullenergiahoonetesse sobivad lahendused on tavahoonetes kasutatavate lahendustega võrreldes paremini soojustatud, sellest on samuti toodud mõned näited. Lisaks heale soojustusele peavad välispiirded olema minimaalsete külmasildadega ja õhuleketega, mis eeldab hästi läbitöötatud sõlmede lahendusi ja hoolikat ehitusaegset järelvalvet

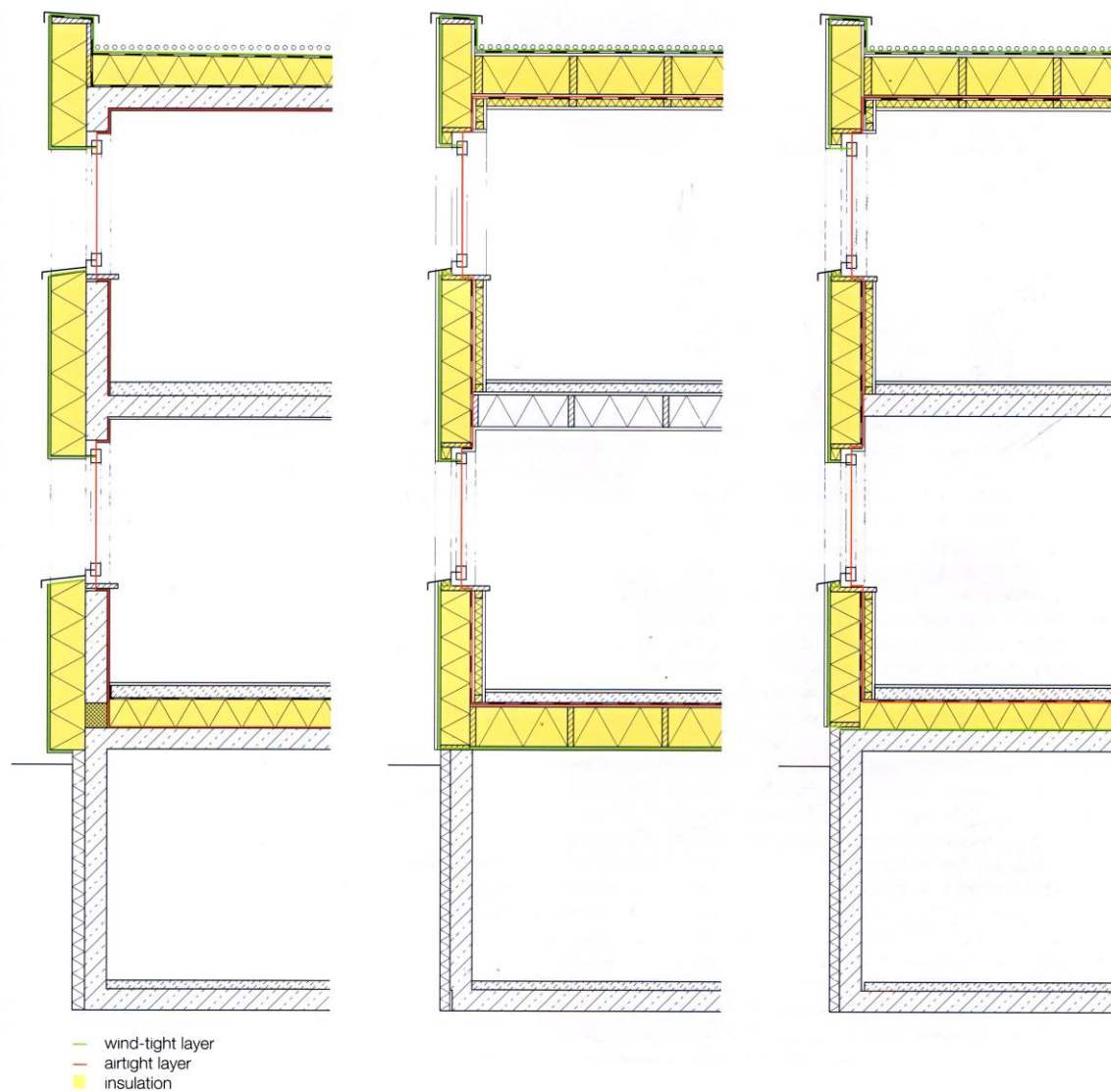
Hoone välispiiret tuleks vaadelda kui erinevate kihtide kogumit, milles igal kihil on oma funktsioon, mõnikord on ka ühel kihil mitu funktsiooni. Vaata joonis 5.1; 5.2; 5.3

- 1 ilmastiku kaitsekiht, tihti koos tuulutusvahega
- 2 tuuletõkke kiht
- 3 soojustuskiht, võib olla kombineeritud koos kandekonstruktsiooniga
- 4 õhutiheduse kiht, aurutõke
- 5 installatsioonide paigalduse kiht
- 6 kaitsekoht, siseviimistlus



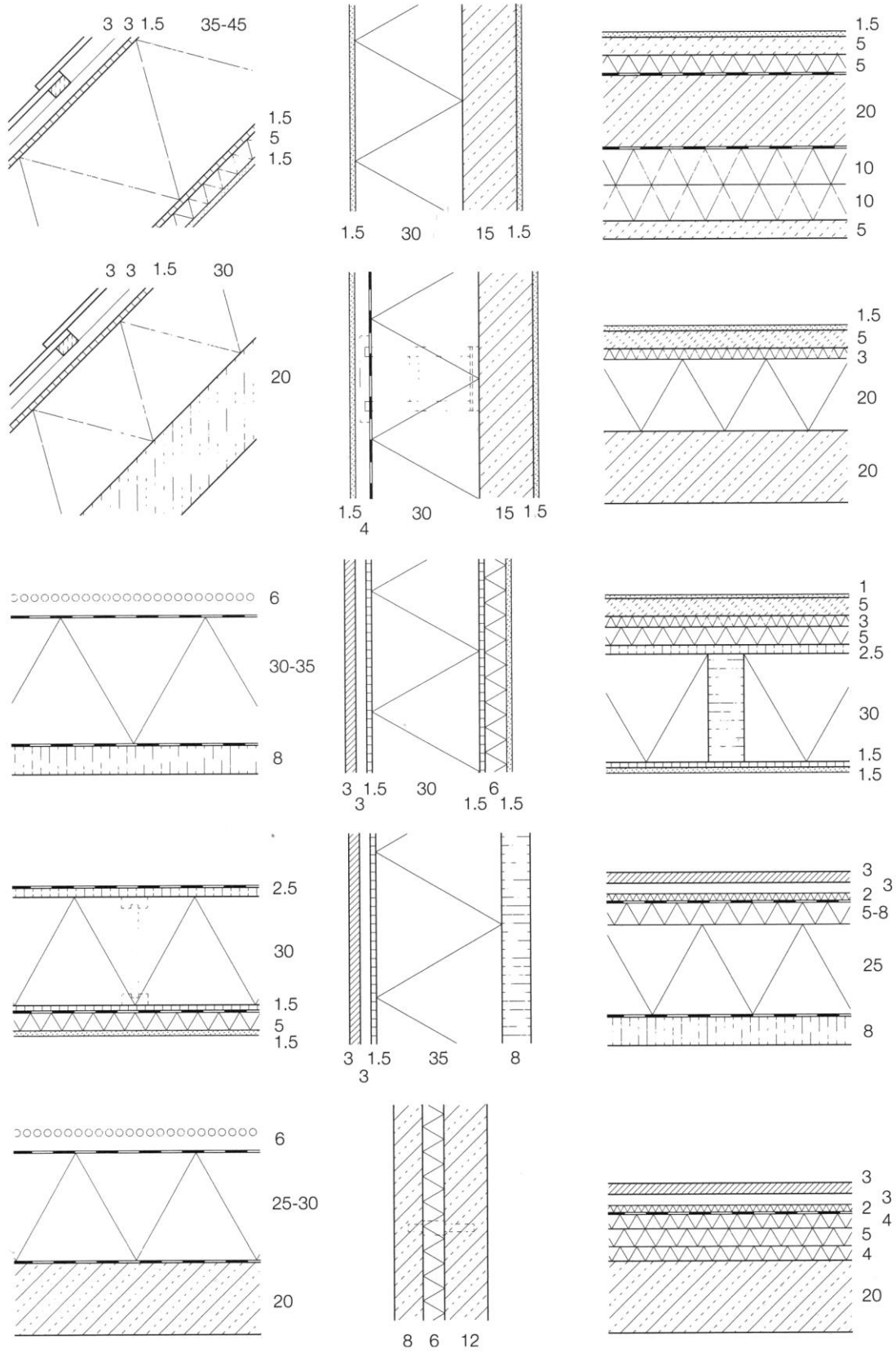
Joonis 5.1 - Hoone välispiirde kihtide kogum. Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.

Energiaõhususe seisukohalt on väga tähtis, et kolm olulist kihti - tuuletõke, soojustus ja aurutõke moodustaksid hoone köetava kubatuuri ümber ühtse ümbrise. Siit ka pärit termin *envelope*.



Joonis 5.2 - Kihtide ühtlase kulgemise põhimõte. Vasakus lahtris skemaatiline kihtide kulgemine raudbetoon-konstruktsioonis hoones, keskmises puitkarkass süsteemis ning parempoolses lahtris segasüsteemis. Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.

Piirdetarindeid võib jagada massiivseteks ja kergkonstruktsioonideks. Mõlemad on võimalik valmistada suures osas tööstuslikult. Seda meetodit tavaliselt ka eelistatakse, et viia keerulised tööoperatsioonid ehitusobjektilt kontrollitud tehasetingimustesse. Nii on lihtsam tagada kvaliteeti, mis eriti madal- ja liginullenergiahoonete puhul on kriitilise tähtsusega. Tööstuslikult toodetavad välisseinte lahendused ulatuvad kergsõrestikust, kuni raudbetoonist välisseinapaneelideni, vt. joonis 5.3



Joonis 5.3 - Vasakpoolne lahter ülevalt alla: Tüüpilised katuse konstruktsioonitüübid liginullenergia- ja passiivhoonete puhul (mõõdud sentimeetrites).

- kalkkatus, puidust või liimpuidust sarikatega
- kalkkatus, monoliitse kandekonstruktsiooniga ning välise soojustuskihiga.

- c. lamekatus puidust sarikatega ning soojustuskiht kandekihi peal
- d. lamekatus puidust sarikatega ning soojustuskiht sarikate vahel ning aurutõkkekiht seespool.
- e. lamekatus, monoliitse kandekonstruktsiooniga ning välise soojustuskihiga, mitteventileeritav katusekonstruktsioon.

Keskmine lahter ülevalt alla: Tüüpilised seinakonstruktsioonitüübid madal- ja liginullenergiahoonete ja passiivhoonete puhul (mõõdud sentimeetrites).

- a. monoliitne kandekonstruktsioon, komposiitsoojustus süsteemiga selle peal
- b. monoliitne konstruktsioon välise soojustuskihiga ja ventileeritud fassaadiplaatidega
- c. puitkonstruktsioon soojustusega puitprusside vahel ja seespool
- d. CLT puitkonstruktsioon välise soojustuskihiga
- e. tehases valmistatud element vaakumsoojustusega südamikuga.

Parempoolne lahter ülevalt alla: Tüüpilised põrand pinnasel või keldri vahelaekonstruktsioonitüübid madal- ja liginullenergia- ja passiivhoonete puhul (mõõdud sentimeetrites).

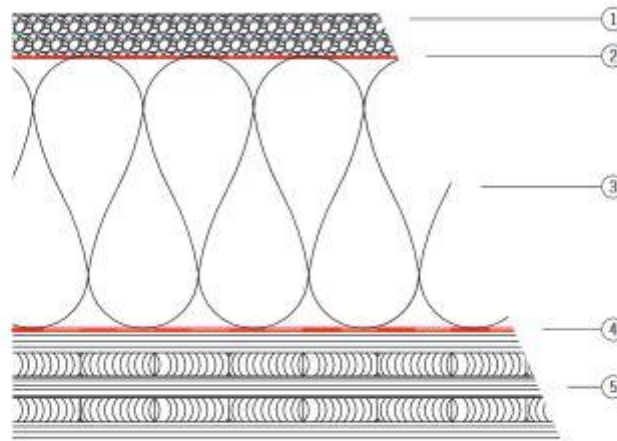
- a. monoliitne põrand pinnasel kandva soojustuskihi peal
- b. monoliitne keldrilagi pealpool asuva soojustuskihiga
- c. puidust taladega vahelagi, taladevahelise soojustusega ja ujuvpõrandaga.
- d. terrassi katuslagi puitkonstruktsioonis
- e. terrassi katuslagi monoliitse kandekonstruktsiooni ja vaakumsoojustusega

Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.

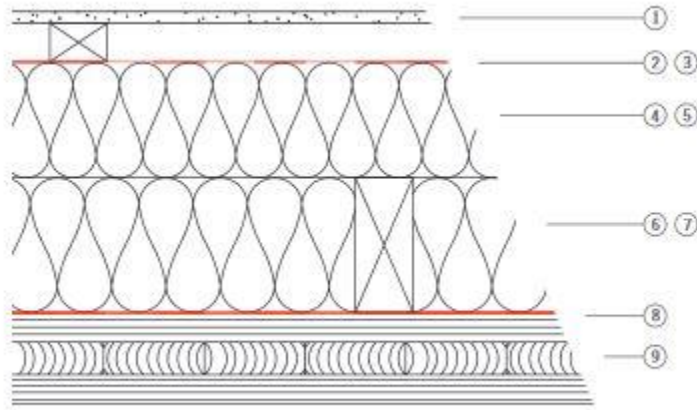
Traditsiooniliste isolatsioonimaterjalide ($0.06-0.02 \text{ W/mK}$) vajalik soojustuse paksus on madal- ja liginullenergiahoonete puhul 10-15 cm suurem kui tavahoonetes. See kehtib mitte-elamutele, sest suhteliselt rohkemate välispiiretega väikemajades ja väiksemates hoonetes vajatakse paksemat soojustust. Suurusjärgudes võib arvestada välisseina paksuseks 40...60 cm ja katuslae 80...130 cm. Põrandates ja katustes kasutatakse paksemat soojustust, kuna horisontaaltarinditele on soojustuse paigaldamine lihtsam ja tarindi paksusel on väiksem tähtsus.

Vaakumpaneelide puhul, mille isolatsiooniomadused on oluliselt kõrgemad (ca 0.007 W/mK) on võimalik saavutada ka õhemad välispiirded. Neid on mõistlik kasutada väljaulatuvat osade paremaks soojustamiseks säilitades teatud vormikerguse.

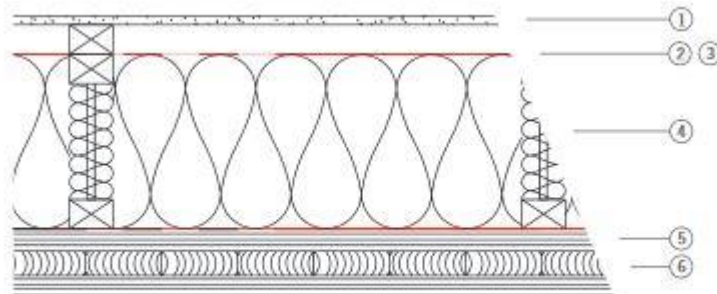
Näited CLT (*Cross-laminated timber* - liimpuit komposiit) puitkonstruktsiooni baasil konstruktsioonitüüpidest:



Joonis. 5.4 - Katuslagi CLT baasil. U arv 0.10. Killustikukiht, 2mm bituumen, 340 soojustus, 4 mm bituumen-alumiinium, CLT paneel 145 mm. *Component catalogue for building a passive house.* Digitaalne algallikas: http://www.klhuk.com/media/30357/klh_component_catalogue_for_building_a_passive_house_version_01_2011_web.pdf



Joonis. 5.5 - Puitsein CLT baasil. U arv on 0.12. Fassaadiplaat, õhuvähe 40mm, tuuletõke 0.5mm, distantpruss/soojustus 180mm, distantpruss/soojustus 10mm risti, aurutõkkekiht, CLT paneel 94 mm. *Component catalogue for building a passive house.* Digitaalne algallikas: http://www.klhuk.com/media/30357/klh_component_catalogue_for_building_a_passive_house_version_01_2011_web.pdf



Joonis. 5.6 - Välissein CLT baasil. U arv on 0.12. Fassaadiplaat, õhuvähe 40mm, tuuletõke, komposiitprussid/soojustus vahel 330mm, aurutõkkekiht, CLT paneel 94mm. *Component catalogue for building a passive house.* Digitaalne algallikas: http://www.klhuk.com/media/30357/klh_component_catalogue_for_building_a_passive_house_version_01_2011_web.pdf

5.1.1 Päevavalguse parameetrid

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

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

Päevavalgustegur on ruumisise ja -välise horisontaalse valgustustiheduse suhe:

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

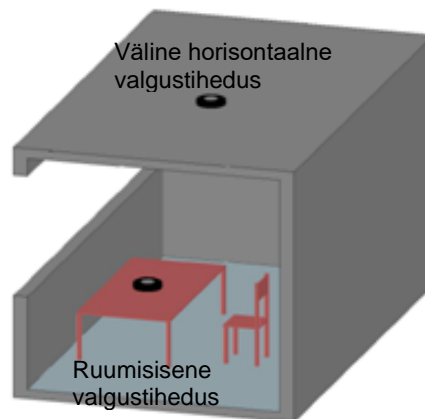
Päevavalgusteguri arvutamisel eeldatakse, et taeval on standardse pilvkattega taevale iseloomulik heledusjaotus, s.t taevas on pilvkattega täielikult kaetud.

Loomuliku valguse kriteeriumiks ruumis on päevavalgustegur D:

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

Kooli õpperuumides, aulas, tervishoiuteenuse osutamise ruumides, taastusruumides ning õpilaskodu puhke-, magamis- ja õppimisruumides peab tagama ruumi aknast kõige kaugemal asuvas punktis päevavalgusteguri vähemalt 1,5.

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



Joonis 5.7 - Päevavalgusteguri mõõtmise põhimõte. Päevavalgustegur on ruumisise ja -välise horisontaalse valgustustiheduse suhe.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

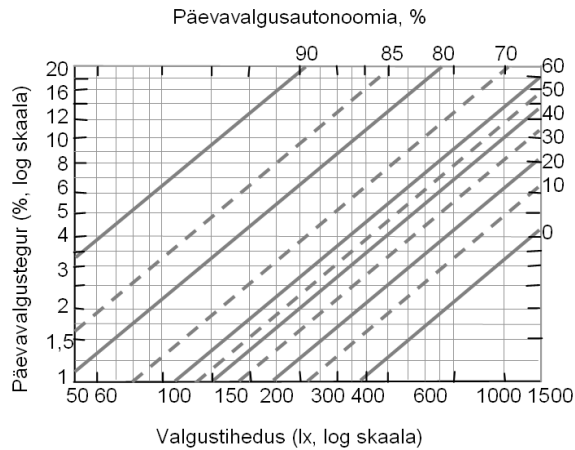
Valgustihedus

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 valgustustihedust 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 umbes 65% tööajast.



Joonis 5.8 - Aastane päevavalgusautonoomia Tallinnas kell 9.00–17.00.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

5.1.2 Aknaklaaside valgus-, päikese- ja soojusläbivus

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

Kuna nähtav valgus moodustab ainult teatud osa päikesekiirgusest, siis kasutatakse päikesekiirguse läbivuse ja valgusläbivuse kirjeldamiseks eraldi näitajaid. Aknaklaasi päikeseläbivustegur g (-) näitab kui suur osa päikesekiirgusest, mis langeb aknaklaasile, siseneb ruumi nii otse läbi klaasi kui ka klaasidesse neeldudes, nende temperatuuri tõstes ning konvektiivse ja kiirgusliku soojusülekanadena klaasi sisepinnalt ruumi. Mida väiksem on aknaklaasi päikeseläbivustegur, seda vähem päikesekiirgust ruumi siseneb. Näiteks kui aknaklaasi päikeseläbivustegur on 0,4, siis 40% aknaklaasile langevast päikesekiirgusest siseneb ruumi ja 60% peegeldub, neeldub ja levib aknaklaasilt tagasi.

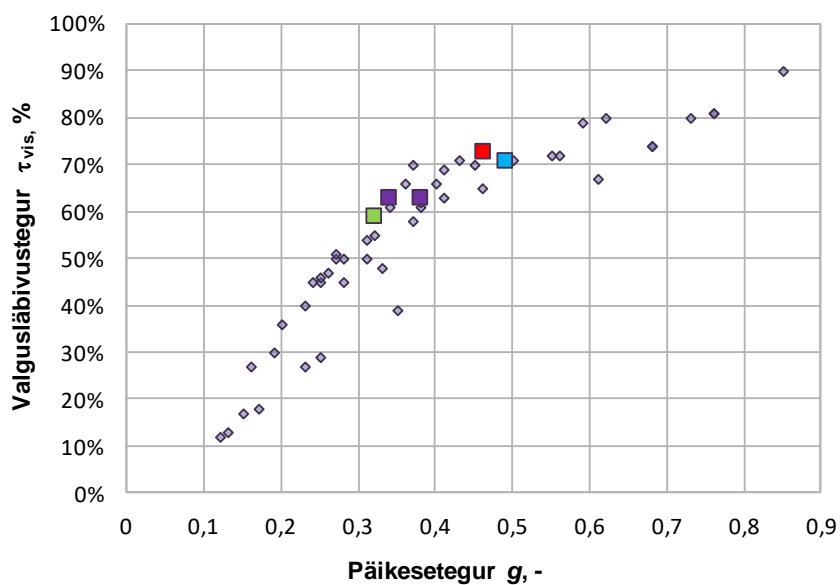
Aknaklaasi valgusläbivustegur τ_{vis} (-) iseloomustab aknaklaasi nähtava valguse läbilaskvust sarnaselt päikeseteguriga. Kui aknaklaasi valgustegur on 0,8, siis 80% aknaklaasile langevast nähtavast valgusest siseneb ruumi ja 20% peegeldub tagasi ja neeldub. τ_{vis} kehtib otsesele valgusele ja hajuvalguse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

Topelfassaadide puhul arvutatakse summaarsed päikese- ja valgusläbivustegurid. Näiteks kui välise klaasi $g = 0,85$ ja akna klaaspaketi $g = 0,5$, siis summaarne $g = 0,85 \cdot 0,5 = 0,43$. Vastavalt arvutatakse ka summaarne valgusläbivus. Topelfassaadi maksimaalseks valgusläbivuseks võib saavutada võimalikult kirkaste klaasidega näiteks $\tau_{vis} = 0,87 \cdot 0,71 = 0,62$, mis annab hajuvalguse läbivusteguriks $\tau = 0,51$. Ilma välise klaasita, ehk ilma topelfassaadita oleks akna hajuvalguse läbivustegur oluliselt parem, $\tau = 0,65$. Summaarse soojusläbivuse saamiseks tuleb summeerida soojustakistused (soojusläbivuse pöördarv), kuid kuna väline klaas on tavaliselt ühekordne ja topelfassaadi õhvahe tuulutatud, siis ligikaudsetes arvutustes võib kasutada akna soojusläbivust, ehk teisisõnu, topelfassaad ei mõjuta akende soojusläbivust.

Energiatõhususe seisukohalt tuleks kasutada võimalikult väikse päikeseteguriga ja võimalikult suure valgusläbivusega klaaspakette. See võimaldab kasutada mõistlikult

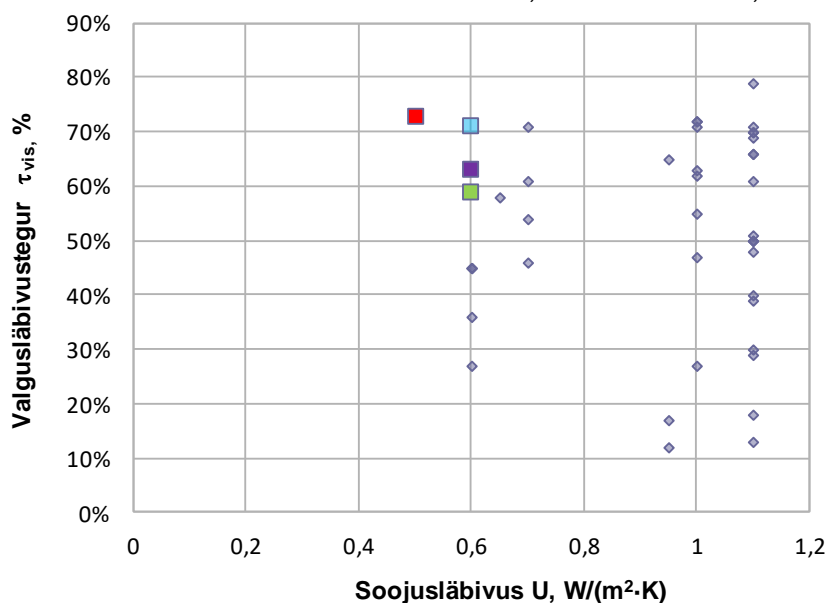
pindalaga aknaid, samal ajal tagades hea päevavalguse kasutuse. Teatud määral on akende päikesekiirguse ja valgusläbivus seotud ning seda iseloomustab joonisel 5.9 toodud kolme klaasiga klaaspakettide valik. Samuti on teatud seos soojusläbivusega, sest mitmekihilistes klaaspakettides valgusläbivus väheneb. Joonistel on eraldi tähistatud nn. „külma kliima“ klaaspaketid, mille soojusläbivus on 0,52-0,6 W/(m² K), valgusläbivustegur jääb vahemikku 0,59 kuni 0,71 ning päikesetegur vahemikku 0,32 kuni 0,49.

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



Joonis 5.9. Kolme klaasiga klaaspakettide valguse läbivuse sõltuvus päikesetegurist. Värviliselt märgitud klaaspakettide soojusläbivus on nähtav joonisel 5.10.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.



Joonis 5.10 - Kolme klaasiga klaaspakettide valguse läbivuse sõltuvus soojusläbivusest. Lilla värviga joonisel 5.9 märgitud klaaspakettide valgus- ja soojusläbivused kattuvad.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

Madala soojusläbivusega klaaspakettidele ($U < 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) on iseloomulik veeauru kondenseerumine klaasi välisele pinnale. See esineb tavaliselt sügisel, kui pärast vihmaperioodi läheb taevas selgeks. Õhk on siis hästi niiske ning soojuskiirus klaasilt taevasse jahutab klaasipinda, mis põhjustab kondenseerumise või jäätumise. Kuigi tegemist on visuaalse probleemiga, on see osutunud häirivaks. Selle vastu aitavad klaasitootjate pakutavad lahendused. Üks läbiproovitud lahendus on kõva selektiivkihi (tinaoksiid SnO_2 või indiumtinaoksiid ITO, $\varepsilon = 0,15 \dots 0,2$) kasutamine välise klaasi välispinnal. Välistingimused ning aknapesu ei vigasta kõva selektiivkihti ning see lõikab soojuskiirgusest 80%, mille tõttu on klaasi välispinna temperatuur kõrgem ning veeauru kondenseerumist esineb oluliselt vähem.

5.1.3 Akende valik vastavalt päevavalgusele

Järgnevalt on vaadeldud fassaadi kavandamist päevavalgusest ja jahutusest lähtuvalt tüüpilise büroomaastiku näitel. Selleks on kasutatud joonisel 14 kirjeldatud 28,2 m² suurust bürootsooni, kus on neli töökohta ning mille kõrvale jääb liikumisruum. Päevalgustsooniks on arvestatud 4 m, mille sisse on suhteliselt lähedalt võimalik paigutada kaks järjestikust töökohta. Laiemat päevavalgustsooni on raske saavutada, kuna vastavalt standardi EVS 894:2008 soovitusetele 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 juhul kui kasutades varjestust, kusjuures akna kõrgust hakatakse arvestama alates töötasapinna kõrgusest 0,8 m. Akende osakaalu on varieeritud laias vahemikus. Jahutuskoorumuse arvutuse lähteandmed on toodud joonisel 5.12.



Joonis 5.11 - Avatud kontoriruumi plaan.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

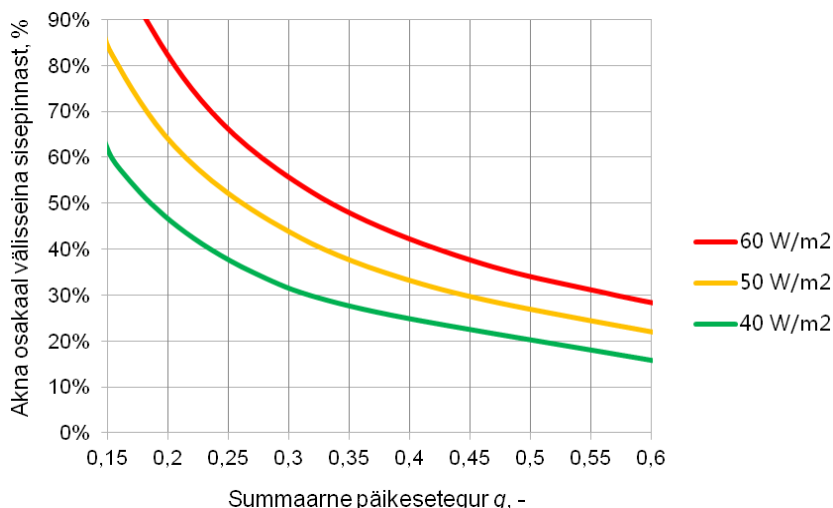
Mõõtmed	Pikkus, m		Laius, m		Kõrgus, m	
			6,4		4,4	
Vabasoojused	Inimesed		Seadmed		Valgustus	
			in	in/m ²	W	W/m ²
	4	0,142	400	14,2	197	7
Sisekliima	Ruumitemperatuur		+25 °C			
			Õhuvahetus		1,5 l/(s·m ²); 42 l/s	
Aknaraami osakaal akna pinnast			15%			
Akna klaasiosa osakaal välisseina sisepinnast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

Joonis 5.12 - Jahutus- ja päevalgustarvutuste näidisruumi lähteandmed.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

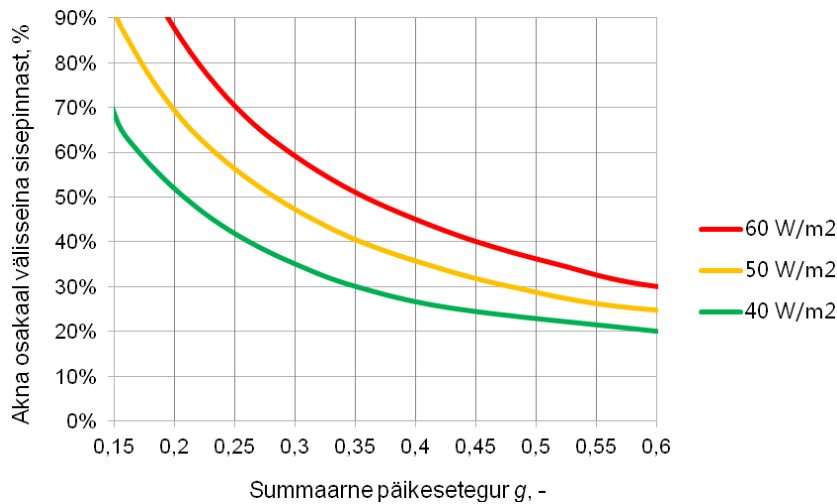
Büroo jahutuskoormus sõltuvalt akende suunast on toodud joonistel 5.13 - 5.15. Akende osakaalu varieerimiseks on alustatud aknaga, mille alumine äär on 0,9 m põrandast ja ülemine 0,2 m laest ning laius vastavalt akna osakaalule. Edasi on suurendatud laiust kuni maksimumini ja pärast seda viidud akna ülemine äär laeni ning viimasena on hakatud kasutama pinda, mis jääb tööpinnast madalamale.

Lääne- ja lõunafassaadi jahutuskoormused on sarnased, ida pool mõnevõrra väiksemad ning põhja pool esineb ainult hajuskiirgus, mis jahutusele probleeme ei tekita. Joonistelt saab leida maksimaalse akende suuruse antud summaarse päikeseteguri ja jahutusvõimsuse korral, millega tagatakse ruumitemperatuur 25 °C. Summaarne päikesetegur tähendab, et lisaks klaaspaketi g-le võetakse arvesse võimaliku päikesevarje g, korrutades need omavahel.



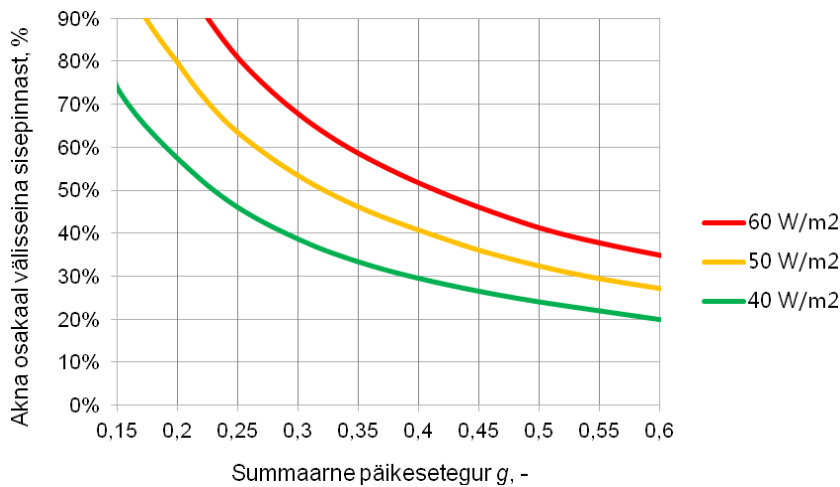
Joonis 5.13. Jahutuskoormus sõltuvalt lõunasse suunatud akna suuruselt ja päikesetegurist.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.



Joonis 5.14. - Jahutuskoormus sõltuvalt läände suunatud akna suurusest ja päikesetegurist.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012



Joonis 5.15. Jahutuskoormus sõltuvalt idasse suunatud akna suurusest ja päikesetegurist.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

Fassaadid tuleb kujundada nii, et päevavalgustsoonis (käesoleval juhul 4 m välisseinast) oleks tagatud keskmine päevavalgustegur 2. Joonisel 5.16 toodud päevavalgustegur 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

D on keskmine päevavalgustegur;

T on klaaside hajuvalguse läbivustegur;

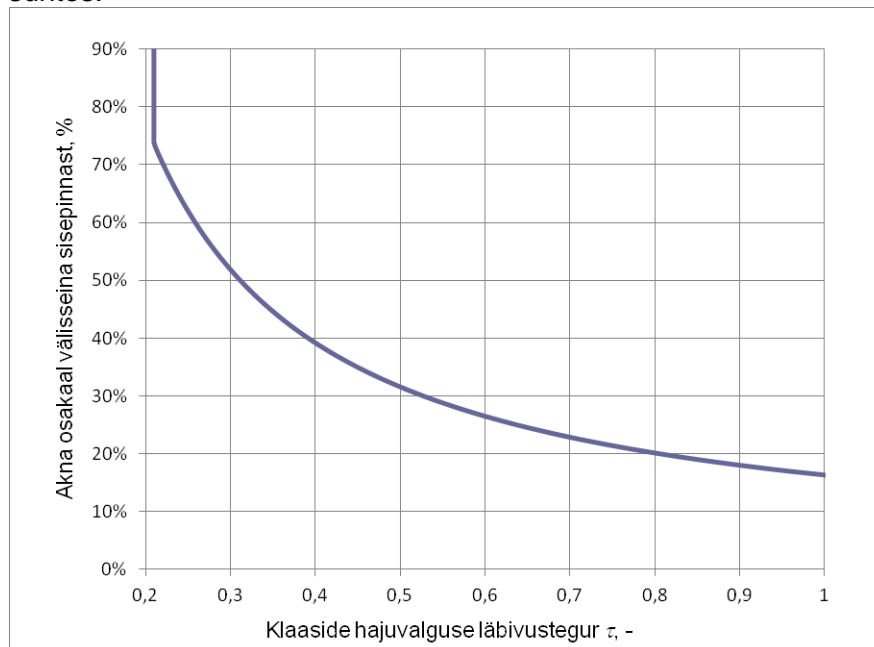
Θ on nähtava taeva nurk (kraadides), 80° ;

m on aknaklaasi määrdumise mõju, 0,9;

A on lae, põranda ja seinte kogupindala (sisaldades aknaid), $127,6 \text{ m}^2$;

R on sisepindade peegeldustegurite kaalutud keskmine, 0,5.

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



Joonis 5.16. - Päevavalgusteguri sõltuvus akna pinnast ja klaaspaketi hajuvalguse läbivustegurist. Hajuvalguse läbivusteguri saamiseks korrutatakse otsese valguse läbivustegur τ_{vis} arvuga 0,91.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis.

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

Akende suuruse mõju energiatõhususarvule on analüüsitud Joonisel 5.17 toodud arvutusnäites, milles kõik muud lähteandmed, v.a. akende suurus, vastavad peatükis 4.1 toodud arvutusnäitele. Tulemused näitavad, et akende osakaalu vähendamine 90%-lt 25%-le parandab energiatõhususarvu lausa 55 ühiku võrra (197 vs. 142 kWh/(m² a)).

Joonis 5.17 - Akende osakaalu mõju energiatõhususele. Akende summaarne soojusjuhtivus on kõikides juhtumites $U=1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Kõik arvutusnäite lähteandmed v.a. akende suurus vastavad peatükis 4.1 toodud arvutusnäitele.

	Energiavajadus kWh/(m ² a)			Energiakasutus kWh/(m ² a)			Kaalumis- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m ² 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 soojendamise	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

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis.

Tabeli 5.17 tulemused on arvutatud tavapärase kahe klaasiga akna summaarse soojusläbivusega $U=1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Kasutades kolmekordset kahe selektiiviga ja argoontäitega klaaspaketti ning kahekordse külmakatkestusega metallraame, saavutatakse oluliselt väiksem akna summaarne soojusläbivus $U=0,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, millele vastavad arvutustulemused on toodud tabelis 13. Näiteks 50% osakaalule vastav energiatõhususarv on paranenud 21 ühiku võrra (162 vs. 141 kWh/(m² a)). Lisaks on akna 25% osakaaluga saavutatud madalenergiahoone nõudest 130 kWh/(m² a) (vt. peatükk 2.1) väiksem energiatõhususarv 127 kWh/(m² a), mis tähendab, et hoone täidab madalenergiahoone nõude.

Tabel 5.18. Akende osakaalu mõju energiatõhususele kui akende summaarne soojusjuhtivus on $U=0,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

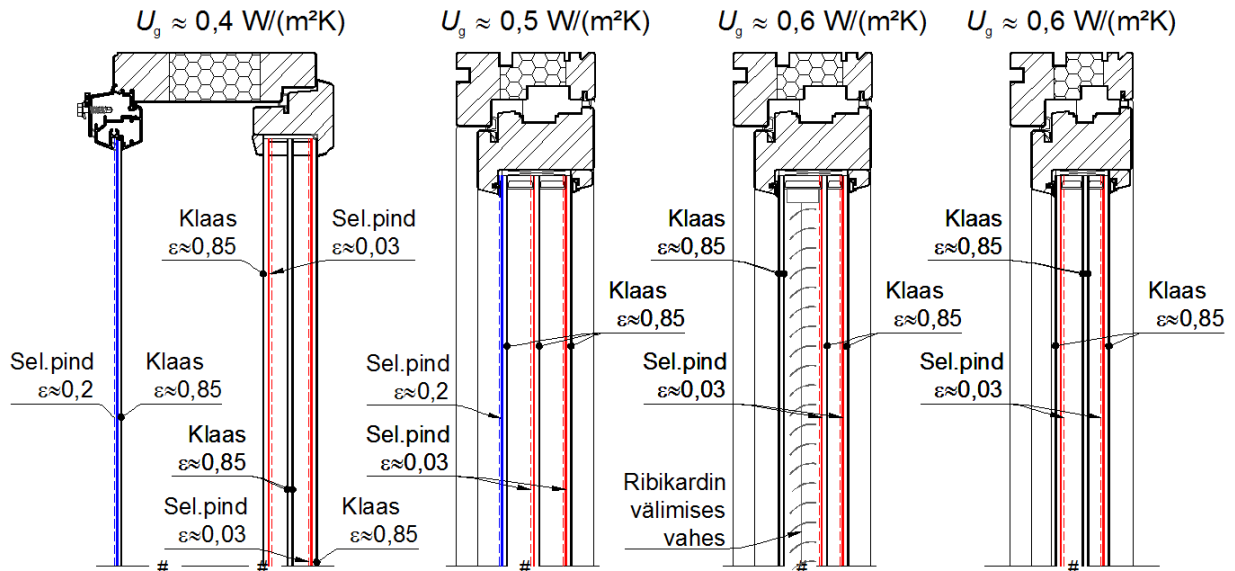
	Energiavajadus kWh/(m ² a)			Energiakasutus kWh/(m ² a)			Kaalumis- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m ² a)		
	25	50	90	25	50	90		25	50	90
Akende osakaal, %	25	50	90	25	50	90		25	50	90
Ruumide ja sissepuhkeõhu küte	23,1	24,1	28,6	23,5	24,1	29,2	0,9	21,2	22,1	26,6
Sooja tarbevee soojendamise	5,8			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

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis.

5.1.4 Aknad ja klaasfassaadid

Hoone välisseinad on otstarbekas kavandada aken-sein süsteemis, kuna tüüpiliselt on sein soojuskaod 3...5 korda väiksemad kui klaasfassaadi läbipaistmatul osal. Akende valikul on oluline nii akna raami kui ka klaasiosa soojusläbivus. Päevalvalguse seisukohalt on otstarbekas valida võimalikult suure valgusläbivusega klaasid ning ruumide ülekuumenemist vältida vajaduspõhise päikesevarjestusega.

Akende klaasiosa peab madal- ja liginullenergiahoonetes sisaldama vähemalt kolmeklaasilist klaaspaketti, mille mõlemas hermeetilises inertgaasiga täidetud vahes (tavaliselt argoon) on selektiivkate. Pehme selektiivkate, mis lõikab ca 95% soojuskiirgusest, on aldis pinnavigastustele ja seda kasutakse ainult klaaspaketi sees. Kõva selektiivpinda, mis lõikab soojuskiirgusest ca 80%, võib kasutada klaasi välispinnal, et vältida veeauru kondenseerumist hea soojapidavusega akende välispinnale. Näiteid selektiivklaaside asukohast akendes on toodud joonisel 5.20.



Klaasi pinna emissiivsuse iseloomustus:

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

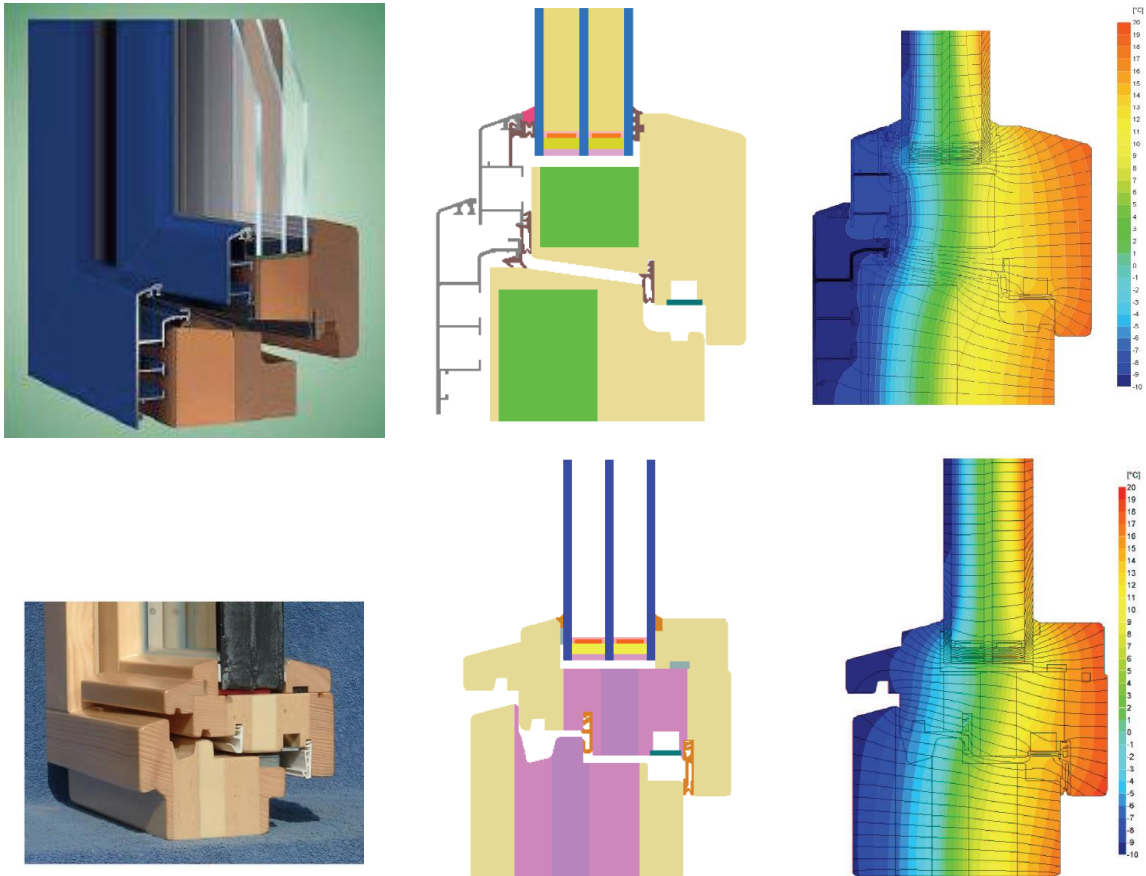
Joonis 5.20 Näiteid selektiivklaaside asukohast aknas.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

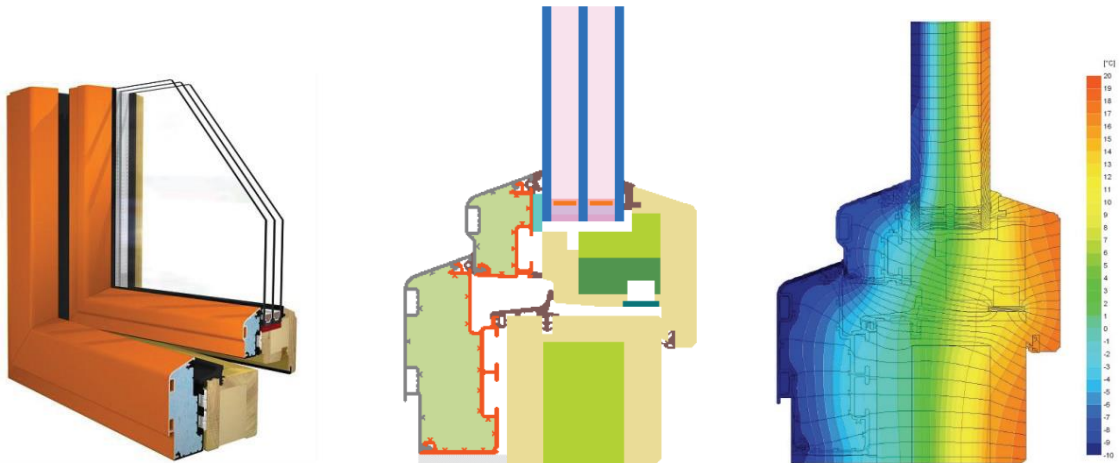
Aknaraami valik mõjutab akna või klaasfassaadi summaarset soojuslähivust eelkõige raami/klaasiosa suhte ja raami soojuslähivuse kaudu. Raamiosa võib moodustada sõltuvalt profiilidest ja akna suurusest kogu aknast 15...40%. Kuna raami soojuslähivus on ilma erimeetmeteta suurem kui klaasi oma, siis on hakatud aknaraame kujundama vaate suunas võimalikult kitsana ja seina paksuse suunas võimalikult laiana ning soojustatuna. Joonistel 5.21 - 32 on toodud valik näiteid energiatõhusate akende raamidest (Gustavsen jt. 2007).

Eesti turul on levinud kolm põhimõttelist aknatüüpi, soome aken, saksa aken ja nn viikingi aken. Joonis 5.20 näidatud eraldi raamidega soome tüüpi puitaken annab tänu omakonstruktsioonile kõige energiatõhusama lahenduse. Eraldi raamidega konstruktsioon võimaldab teha nelja klaasiga akna ning samas väga õhuke raam ja leng parandavad akna üldist U väärtust, sest üldjuhul on klaaspaketi U arv oluliselt parem kui raaamil ja lengil.

Samas eelistatakse saksa tüüpi akent kui kõi mugavama avanemisüsteemiga konstruktsiooni. Joonis 5.21; 5.22



Joonis 5.21 - Soojustatud puitraamiga aknad, mille raamiosa $U_f \approx 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektsis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

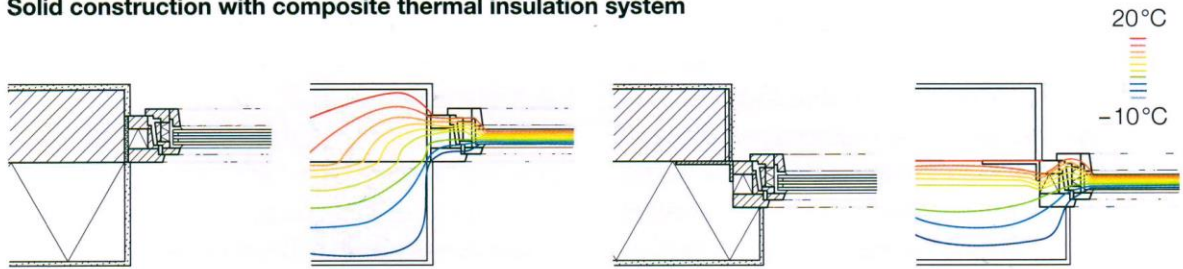


Joonis 5.22 - Soojustatud alumiiniumraamiga kaetud puitaknad $U_f \approx 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektsis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

Viiking aken, tänu oma avanemispõhimõttele, on ka väga hea klaasitud osa ja leng-raami proportsiooniga ning eriti sobilik vanemate hoonete saneerimisel, sest on võimalik säilitada vanade akende proportsioonid. Akna paigutamisel seina konstruktsiooni on ülioluline, et paiknes soojustuse kihis ja isoterme jälgides on õige koht nulljoonel.

Vaata head ja halvad liginullenergiahoone akna paigutused soojustuskihi suhtes joonisel 5.23.

Solid construction with composite thermal insulation system



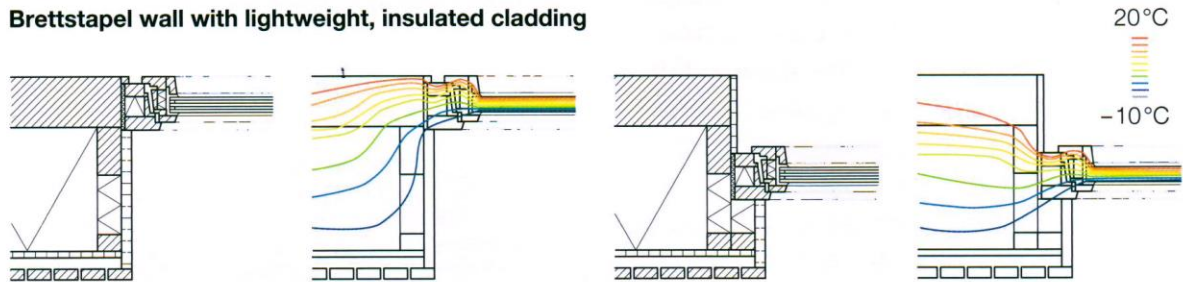
Unfavourable window position

psi-value of installation (Ψ): 0.104 W/mK
 U_w -value (installed): 1.074 W/m²K
 surface temperature frame/wall: 17.1°C
 Space heat demand for standard building with Passive House insulation and energy-efficient ventilation unit:
 single-family home: 18.6 kWh/m²a
 multi-family home: 16.1 kWh/m²a

Favourable window position

psi-value of installation (Ψ): -0.007 W/mK
 U_w -value (installed): 0.755 W/m²K
 surface temperature frame/wall: 18.6°C
 Space heat demand for standard building with Passive House insulation and energy-efficient ventilation unit:
 single-family home: 12.8 kWh/m²a
 multi-family home: 12.4 kWh/m²a

Brettstapel wall with lightweight, insulated cladding



Unfavourable window position

psi-value of installation (Ψ): 0.062 W/mK
 U_w -value (installed): 0.935 W/m²K
 surface temperature frame/wall: 17.5°C
 Space heat demand for standard building with Passive House insulation and energy-efficient ventilation unit:
 single-family home: 17.6 kWh/m²a
 multi-family home: 15.1 kWh/m²a

Favourable window position

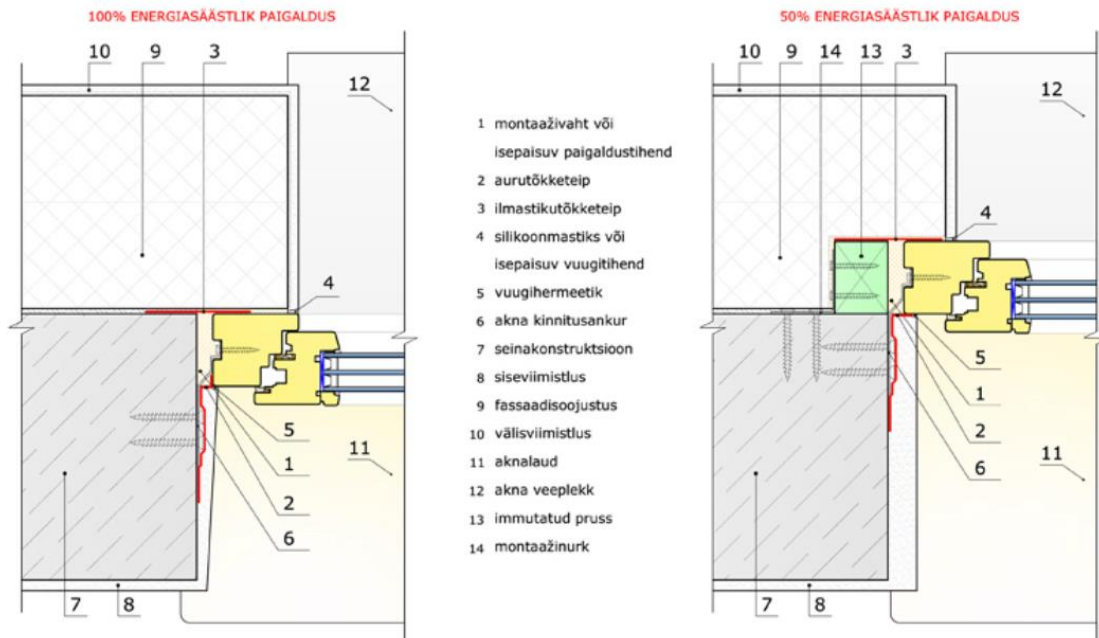
psi-value of installation (Ψ): 0.002 W/mK
 U_w -value (installed): 0.778 W/m²K
 surface temperature frame/wall: 17.5°C
 Space heat demand for standard building with Passive House insulation and energy-efficient ventilation unit:
 single-family home: 13.9 kWh/m²a
 multi-family home: 13.0 kWh/m²a

Joonis 5.23 - Võrdlus ebasoodsa (vasak pool) ja ehitustehniliselt soodsa (parem pool) liginullenergia- ja passiivhoone akna paiknemise vahel soojustuskihi suhtes monoliitse seinakonstruktsiooni puhul (ülemine) ning puitsörestik konstruktsiooni puhul (alumine). Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.

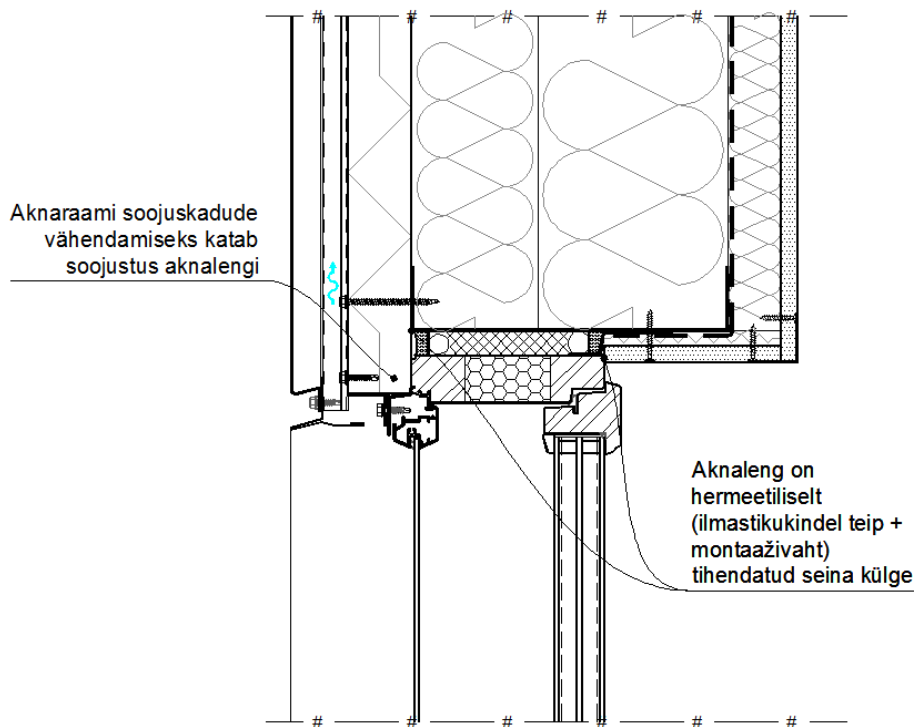
Parim akna paigalduse sõlm on lengi täielikult kattev soojustus. Vaata joonised 5.24 ja 5.25.

Joonis 4
 Leht 2/4

ENERGIASÄÄSTLIKU PUITAKNA PAIGALDUSJONISED

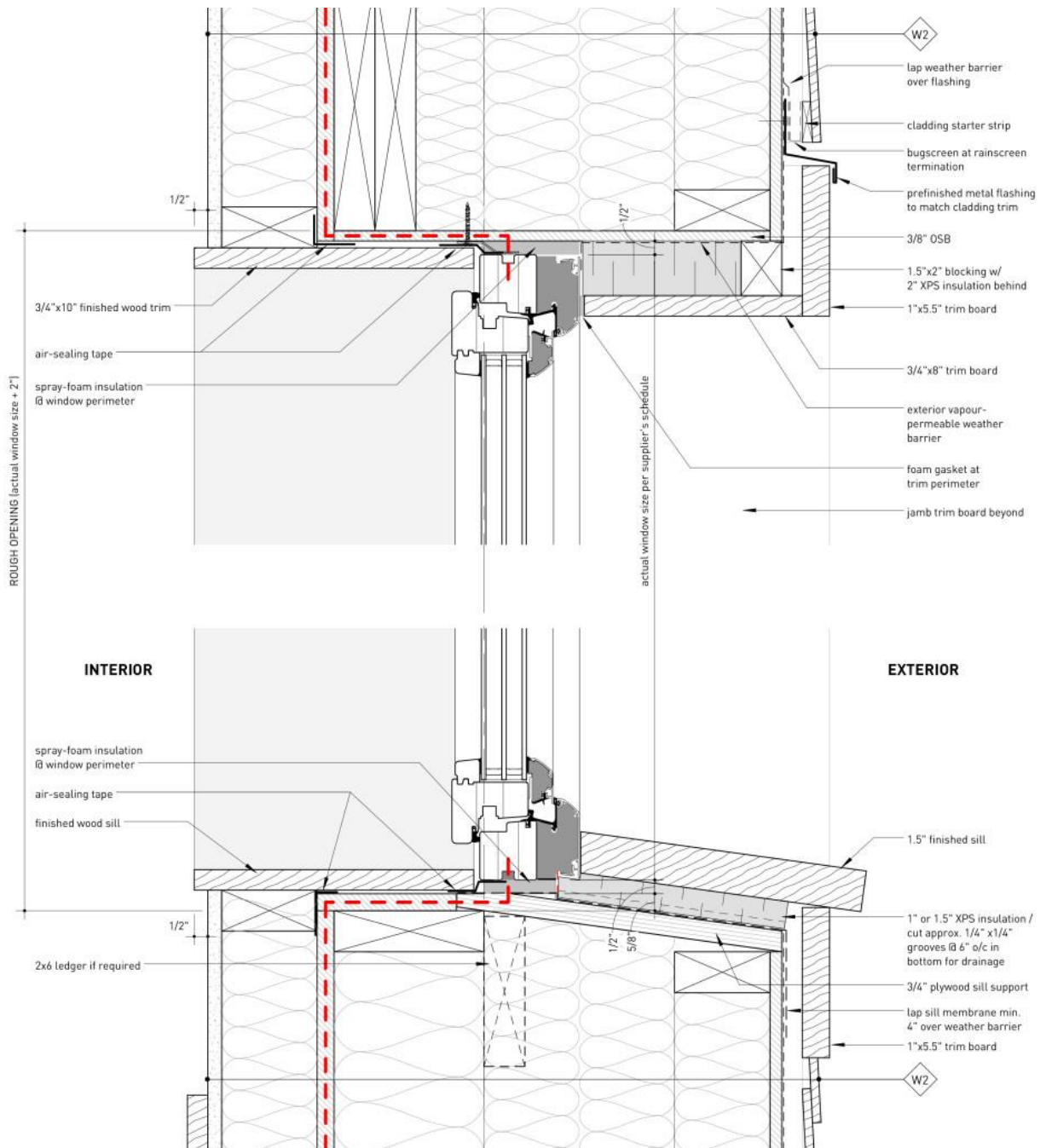


Joonis 5.24 - Kalesy energiasäästliku puitakna paigaldusjoonised. Digitaalne allikas: <http://www.kalesi.ee/aknad.htm>



Joonis 5.25 - Akna paigalduse juures tuleb pöörata tähelepanu raami soojuskadude vähendamisele, külmasilla ja õhulekete vältimisele akna-seina liitekohas.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.



Joonis 5.26 - Cottonwood Passive House aknasõlm. Digitaalne allikas: <http://cottonwoodpassivehouse.ca/windows-and-doors/>

5.3 Varjestus



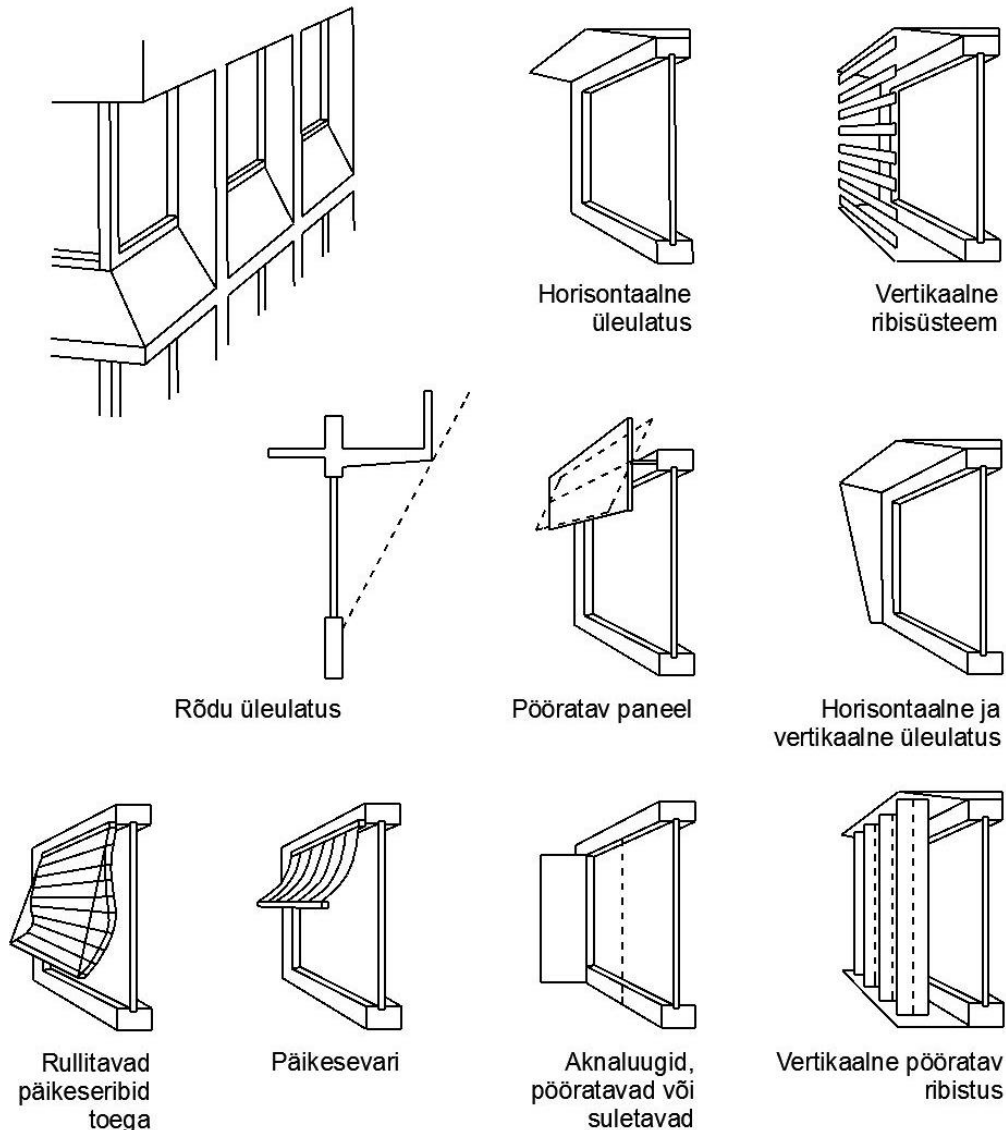
Päikesevarjestuse ülesanne on blokeerida otsene päikesekiirgus, kuid samas tagada võimalikult palju hajusvalgust. Kevadsuvisel ajal peab ruumi siseneva otsese päikesekiirguse kestus olema minimaalne -- valgusräiguse, jahutuskoormuse ja -energia tarbimise kontrolli all hoidmiseks.

Ekslik on arvata, et suured klaasipinnad tähendavad automaatselt päevavalgusküllaseid ruume. Kui päikesevarjestus on lahendamata, siis võib sellistes hoonetes näha, et kardinad on akendele ööpäevaringselt ette tõmmatud ja ruume valgustab tehisvalgustus. Uuringud on näidanud inimeste „laiskust“ kardinade käsitlemisel vastavalt vajadusele. 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 konstantselt ette.

Efektiivset päikesekaitset on võimalik tagada järgnevate lahenduste abil:

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

Välised varjestuselemendid peaksid välistama fassaadi klaasitud osadelt tuleva päikesekiirguse mõjul ruumide ülekütmise. Akende orientatsioon määrab varjestuselementide kuju ja võimaliku lahenduse. Erinevad lahenduse tüübid on kujutatud joonisel 5.27.



Joonis 5.27 - Erinevad päikesvarjestuse lahendused. Originaallikas: Gaia Research Report "Understanding daylighting of sports halls"

Väliseid ribakardinaid on ka tavalisest laiema ribaga ehk lamelliga (ca 5-8 cm). Nende eeliseks on automaatse juhtimise võimalikkus vastavalt otsesele päikesekiirgusele. Lamellide süsteemi puhul peab arvestama, et kui neid juhtida vastavalt päikese blokeerimisele, siis päikese asimuudi ehk kõrgusnurga ≤ 30 kraadi korral on lamellid sedavõrd suletud asendis, et vaade välja on pea olematu. Teoreetiliselt tähendab see, et kui Eestis juhtuvad olema päikeseline sügis-talv-kevad, on meil viis kuud aastast ees vaadet blokeerivad kardinaid. Prototüüplahendustena on välja töötamisel läbipaistvad lamellid, mis võiks tulevikus ka Põhja-Euroopa laiuskraadile paremini sobida.

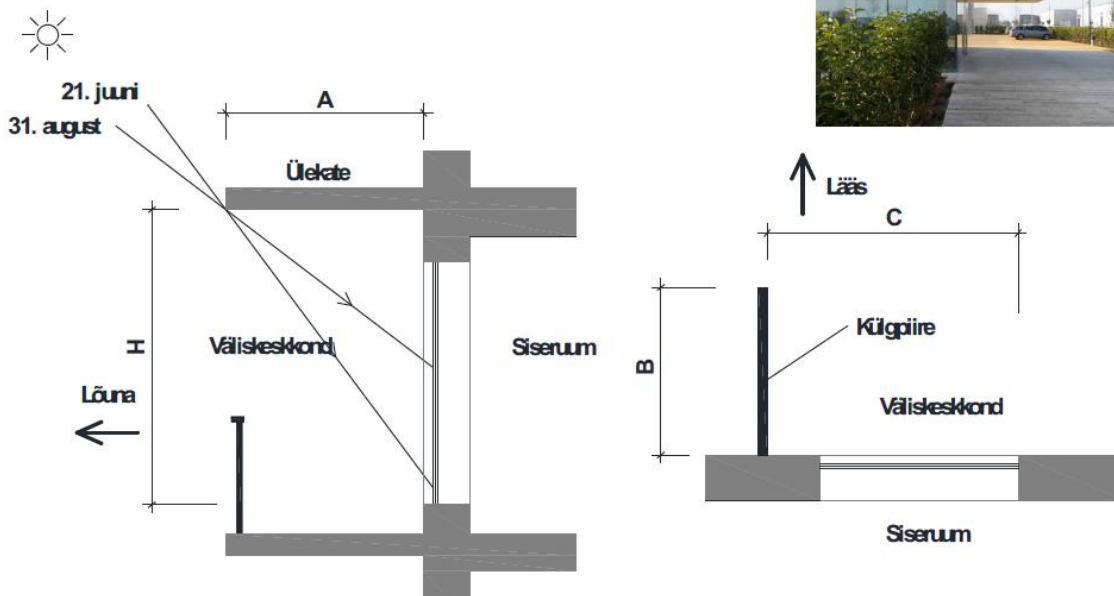
Sirmid päikesekiirguse blokeerimiseks on enim kasutatud ja tuntud passiivse arhitektuurilise lahenduse liike. Joonis 5.31 illustreerib mõne erineva välissirmi lahendusi ja ülekatte suurust

Rusikareegel oleks, et ida- lääne orientatsiooni puhul kasutada pigem vertikaalseid varjestuselemente, soovitatavalt pööratavad. Lõuna külgedel on parimaks lahenduseks horisontaalsed paneelid või rullitavad ribid. Parima lahenduse saamiseks võib kasutada ka kombineeritud lahendusi Joonis 5 30.

Varjestuselementide dimensioneerimiseks vajalikult algandmed sõltuvad loomulikult hoone asukohast ja klaaspindade orientatsioonist päikese suhtes ning on modelleeritavad enamlevinud projekteerimistarkvaradega. Eesmärgiks ei pea seadma 100 % varjestust suveperioodil. 80-85 % varjestuse puhul säilib hea päikesevalgus ka varakevadel ning tõhus lisasoojus talveperioodil.

Rusikareegel ütleb, et varjestava elemendi suurus peaks olema 0,7 akna avast joonist joonis 5.28

- Lõunasse orienteeritud ruumid:
Ülekatted, nt rõdud $A/H > 0.7$
- Läände orienteeritud ruumid:
Külgiirded $B/C > 0.7$



Joonis 5.28 - Ülekatte optimaalsed suurused. Allikas: Ülekuumenemise vältimine liginullenergiahoonetes ja arvutusmeetodika uuendused. Teadmispõhine esitlus 2017 ettekanne: Raimo Simson. Tallinna Tehnikaülikool 05.2017. Foto Bentini peakontor, Piuarch arhitektid. Foto: Andrea Martiradonna. Digitaalne allikas: <http://www.piuarch.it/index.php/en/bentini-headquarters>

Vajalikud sirmide mõõtmed sõltuvad ilmakaarest, aga eriti just hoone asukohast ehk laiuskraadist. Eesti tingimustes laiuskraadil ligikaudu 59° on päikese nurk 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 suunal on järgnevad:

- idafassaadi mõjutab otsene päikesekiirgus alates päikesetõusust ligikaudu kella 11:45-ni. Kuna päike on madalal, on raske varjestada laia akent. Idasuunale sobivad kitsad (võivad olla kõrged) aknad, mida tuleks varjestada vertikaalse, või mis veel

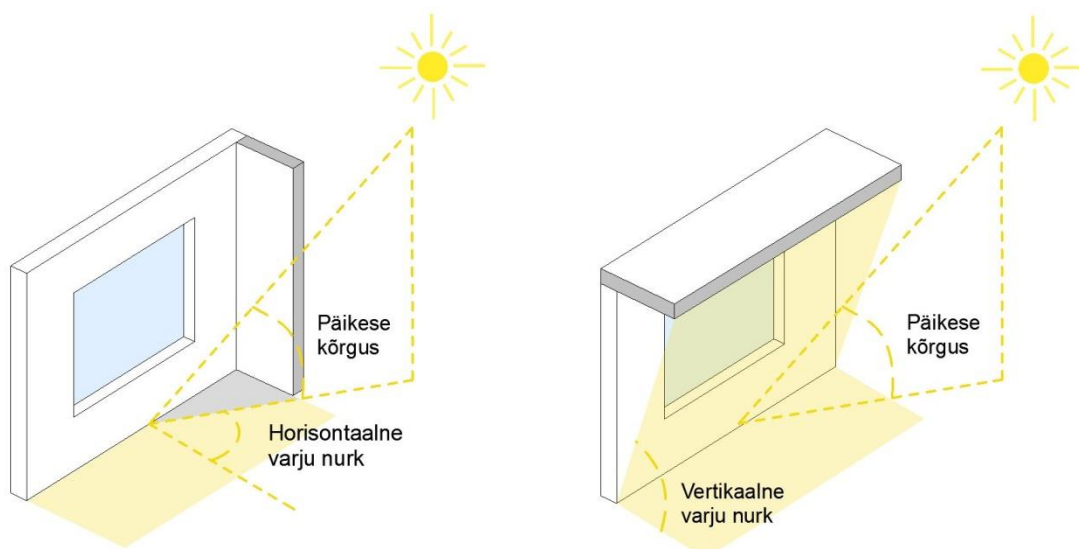
parem vertikaalse ja horisontaalse sirmiga (tagurpidi L-või tagurpidi U-kujulise sirmiga).

- lõunafassaadi mõjutab otsene päikesekiirgus kell 09:00 kuni 16:00. Lõunaküljel on lihtsam varjestada madalaid aknaid, mis võivad olla laiad. Sellisel juhul saab kasutada horisontaalset varjestust. Järgnev tabel 14 näitab lõunasuunale kavandatud välissirmi päikese blokeerimise potentsiaali. Nii näiteks blokeerib lõuna suunal 50 cm sirm 21. juunil päikesekiirguse 70 cm fassaadipinnalt aga 21. detsembril vaid 7 cm.
- läänefassaadi mõjutab otsene päikesekiirgus alates kell 13.00. Kontoritöötajate jaoks peaks mõju lõppema tööpäeva lõpuga, orienteeruvalt kell 17.00. Läänesuunal sarnaselt idasuunale on päike madalamal ja sinna sobivad idafassaadi lahendused.

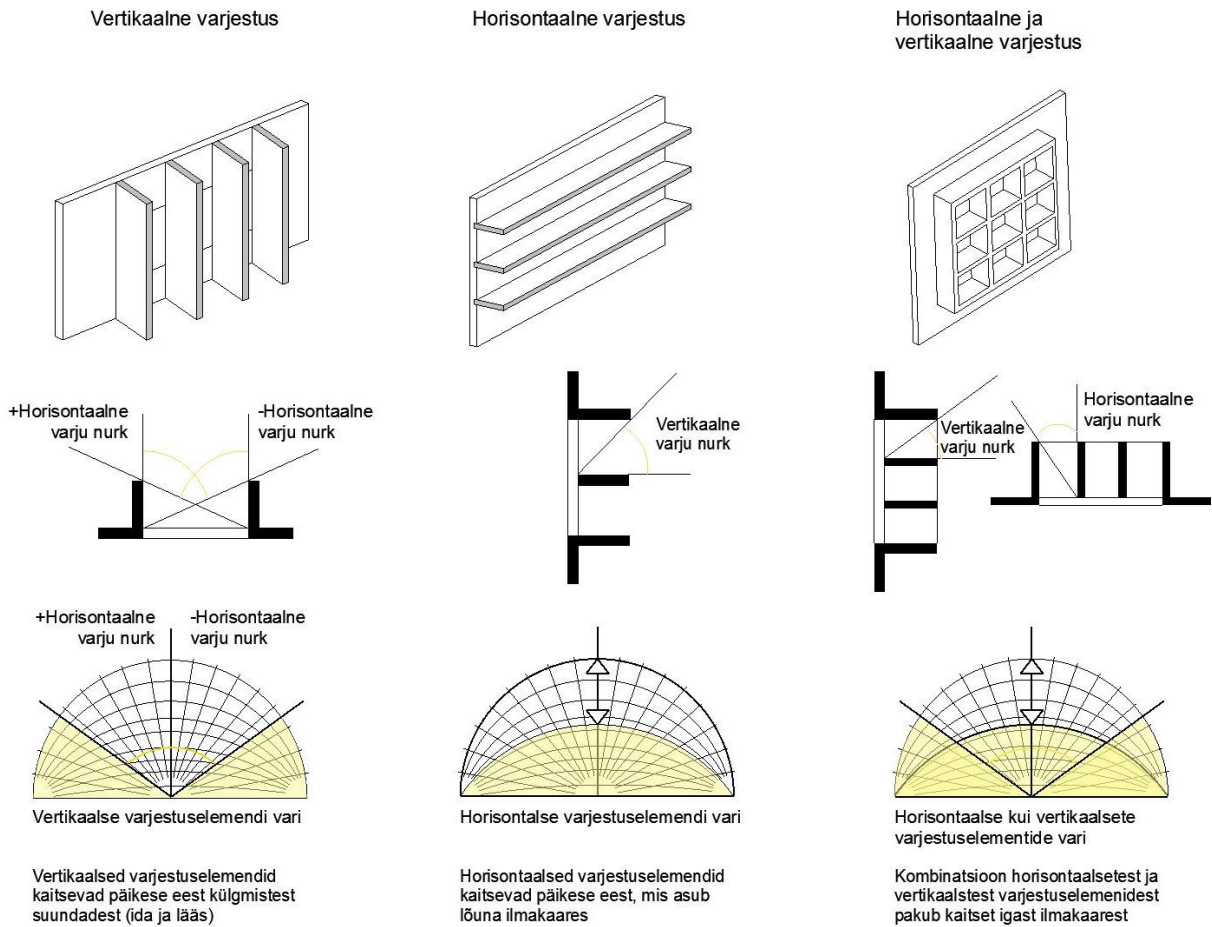
Kell 12, lõuna	Kõrgusnurk	Sirm 40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	100 cm
21. juuni	54,5°	56	70	84	98	140
21. mai/juuli	51°	49	60	73	86	123
21. aprill/aug.	43°	37	47	55	65	93
21. märts/sept.	32°	25	31	37	44	62
21. veeb./okt.	20°	15	18	22	25	36
21. jaan./nov.	12°	8	11	13	15	21
21. detsember	8°	5	7	8	10	14

Välissirmi otsese päikesekiirguse blokeerimise võimalused lõunasuunal kell 12 päeval lähtuvalt sirmi pikkusest. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.

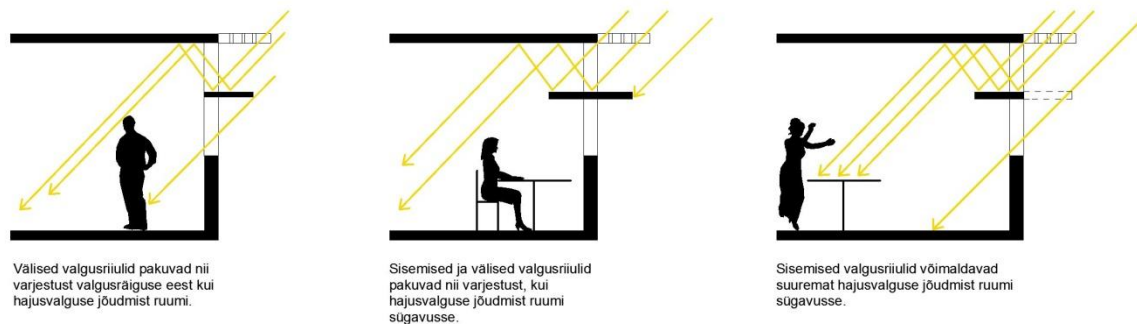
Loomulikult on parim ja lihtsaim lahendus õige ja piisav kõrghaljastus. Meie tingimustes toimib see kuni kolme korruseliste ühiskondlike hoonete puhul.



Joonis 5.29 – Horisontaalne varju kõrgusnurknurk ja vertikaalne varju nurk korrelatsioonis päikese kõrgusega. Neid kasutatakse vastavalt vajadusele horisontaalsete ja vertikaalsete varjestusesüsteemide planeerimisel. Originaallikas: Net Zero Energy buildings knowledge base <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/shading/>



Joonis 5.30 - Välised varjestuselemendid peab olema dimensioneeritud ja konfigureeritud vastavalt hoone asukohale (laiuskraadile) ning seina orientatsioonile. Mõlemad faktorid määravad ajaperioodi, nii päeva kui aasta lõikes, millal on vaja avatäiteid varjestada ning milline päikesekiirguse nurk seina suhtes. Varjestus süsteemide poolt varjus oleva seina ja aknapinna graafiline kujutamine seeläbi on kasutatav kõige sobivama strateegia väljatöötamiseks mis töötab nii suvise kui talvise päikese korral. Originaallikas Net Zero Energy buildings knowledge base <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/shading/>



Joonis 5.31 - Valgusriiulite kasutamine varjestuseks. Originaallikas Net Zero Energy buildings knowledge base <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/shading/>

Päikesevarjestuse mõju energiatõhususele on analüüsitud joonisel 5.32 toodud arvutusnäites. Lähteandmed vastavad arvutusnäitele, kuid ida-, lääne- ja lõunafassaadide akendele on lisatud väline päikesevarjestus horisontaalsete ribidega. Päikesevarjestus on lisanud kütteenegiavajadust ja vähendanud jahutusenergiavajadust ning selle mõju energiatõhususarvule on avaldunud suuremate akende puhul. Tuleb rõhutada, et päikesevarjestusel on oluliselt suurem mõju jahutuskoormusele, valgusräigusele ja akende läheduses paiknevate töökohtade soojuslikule mugavusele, kuna väline varjestus väldib akna sisepinna ülekuumenemist. Väiksem jahutuskoormus tähendab väiksemat investeeringut jahutussüsteemi. Neid positiivseid mõjusid energiaarvutuse tulemused ei näita.

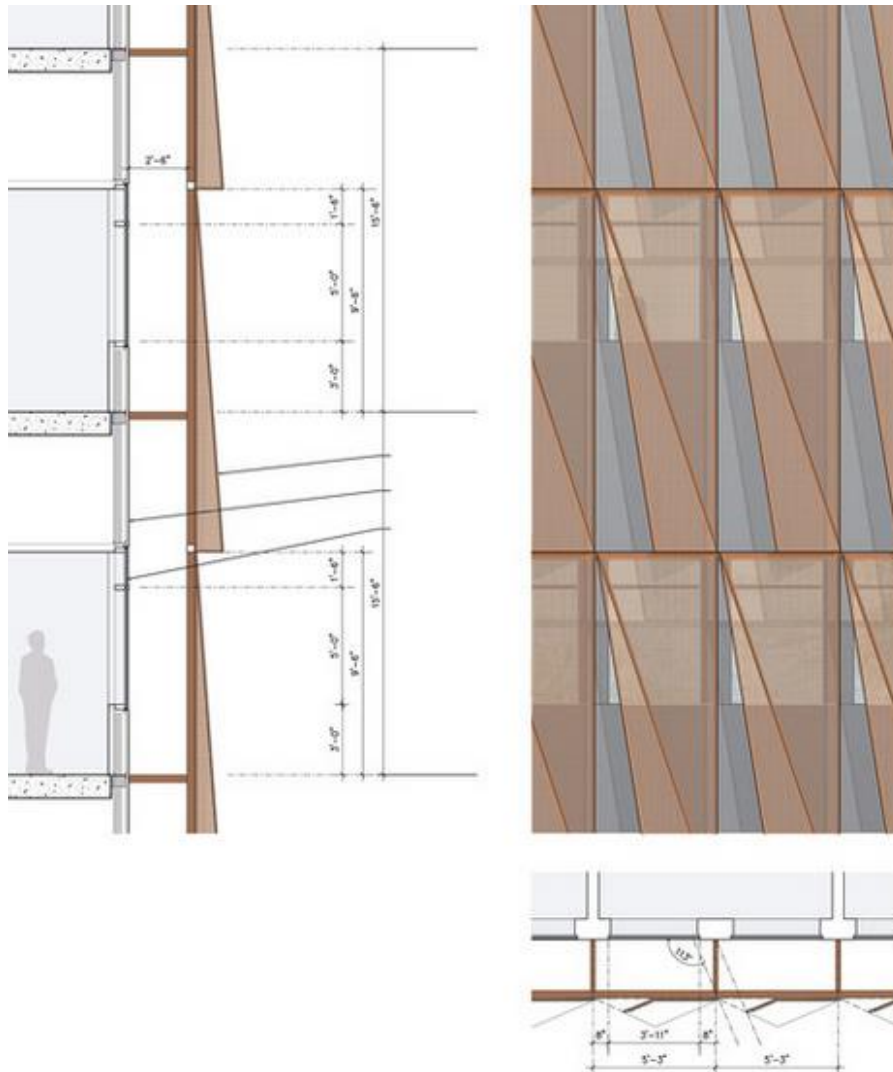
	Energiavajadus kWh/(m ² a)		Energiakasutus kWh/(m ² a)		Kaalumis- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m ² a)	
	25	50	25	50		25	50
Akende osakaal, %	25	50	25	50		25	50
Ruumide ja sissepuhkeõhu küte	23,7	25,9	24,2	26,4	0,9	21,8	23,7
Sooja tarbevee soojendamine	5,8		5,8		0,9	5,3	
Ruumide ja sissepuhkeõhu 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

Joonis 5.32 - **Välise päikevarjestuse mõju energiaarvutuse tulemustele.** Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooneid. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis.

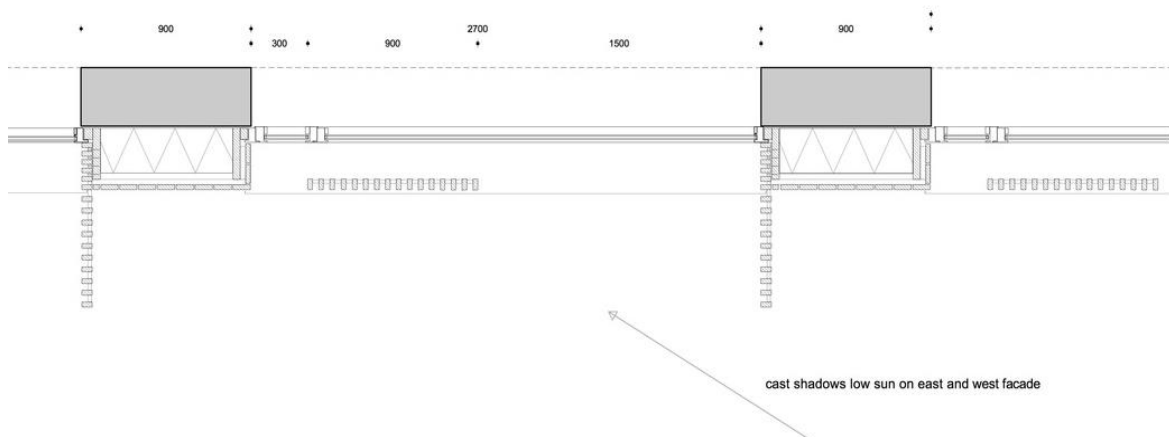
Näiteid varjestatud fassaadidest



Joonis: 5.33 - Arizona ülikooli Vähiuuringute Keskus, ZGF arhitektid. Digitaalne allikas: <https://www.zgf.com/project/ua-cancer-center/> Foto: Nick Merrick © Hedrich Blessing Photographers



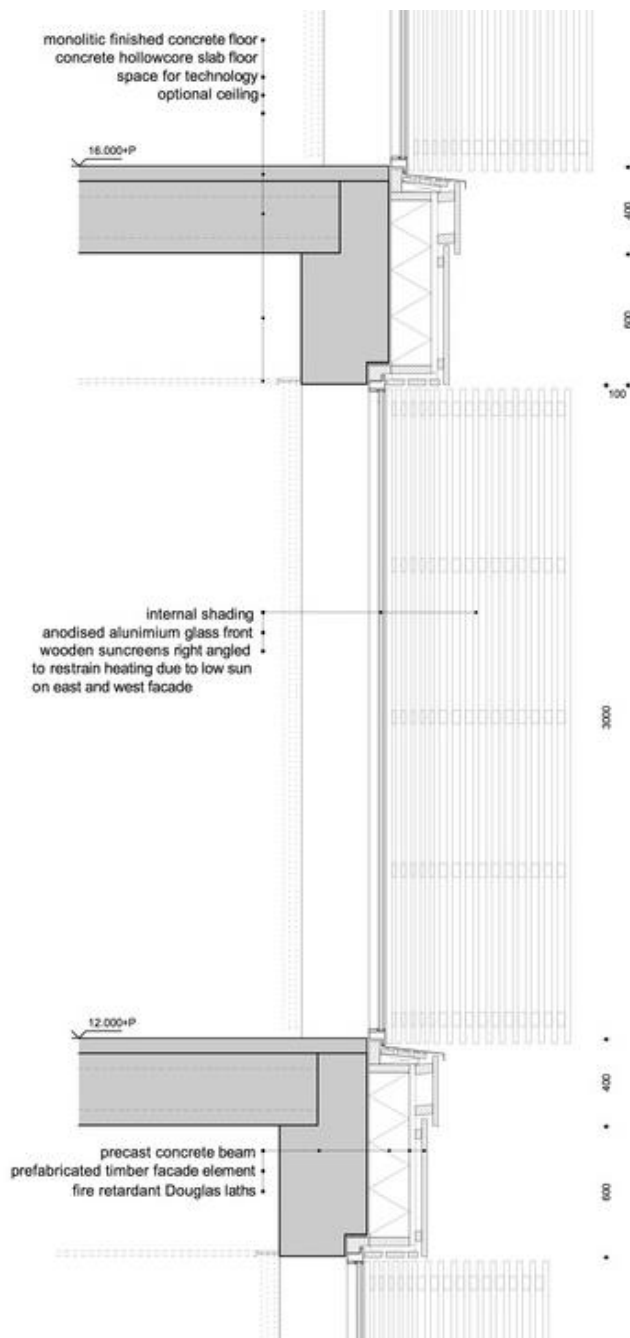
Joonis: 5.34 - Fassaadi detail. Arizona ülikooli Vähiuuringute Keskus, ZGF arhitektid.
 Digitaalne allikas: <https://www.zgf.com/project/ua-cancer-center/>



Joonis: 5.35 - fassaadi detail. PLVS VLTRA. Wiegerinck Arhitektid: Bert Muijres, Roy Pype, Tim Loeters. Digitaalne allikas: <http://wiegerinck.nl/portfolio/plusultra/?lang=en>



Joonis: 5.36 - fassaadi foto. PLVS VLTRA. Wiegerinck Arhitektid: Bert Muijres, Roy Pype, Tim Loeters. Digitaalne allikas: <https://www.archdaily.com/799352/plvs-vltra-wiegerinck>
Foto: Kim Zwarts



Joonis: 5.37 - fassaadi detail lõikel. PLVS VLTRA. Wiegerinck Arhitektid: Bert Muijres, Roy Pype, Tim Loeters. Digitaalne allikas: <http://wiegerinck.nl/portfolio/plusultra/?lang=en>

Kasutatud kirjandus ja allikad

- Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.
- Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooneid. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisvara AS Ja Tallinna Tehnikaülikool, OÜ Presshouse, Tallinn 2012.
- Gaia Research Report "Understanding daylighting of sports halls"
- Net Zero Energy buildings knowledge base <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/shading/>
- PLVS VLTRA. Wiegerinck Arhitektid: Bert Muijres, Roy Pype, Tim Loeters. Digitaalne allikas: <http://wiegerinck.nl/portfolio/plusultra/?lang=en>

6 Efektiivsed tehnosüsteemid

Sisekliima, ventilatsioon, küte, jahutus, valgustus, juhtimine-automaatika



6.1 Sisekliima tagamise eeldused

Mitmetes maades tehtud uuringud näitavad, et heal energiatõhususel 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 energiatõhususe osas. Selliste hoonete renditulud on olnud 3-5% ja kinnisvara väärtus isegi üle 10% teistest suuremad (REHVA GB No 16 2012).

Soojustagastiga mehaanilise ventilatsioonisüsteemi kasutamine on hädavajalik, et tagada kvaliteetne sisekliima ning olla vastavuses liginullenergia- passiivhoone standardile. Õhu kvaliteet määratakse põhiliselt CO₂ sisalduse järgi. Praeguste standardite kohaselt ei tohi see väärtus olla suurem kui 1500 ppm. Kuid vastavalt Max von Pettenkoferile, võib sisekliima mugavustingimused halveneda juba siis, kui CO₂ väärtus ületab 1000 ppm. Võimalikkudeks tagajärgedeks on peavalud, väsimus, keskendumisvõime vähenemine ja produktiivsuse langus.

Hoone majandusliku ja energiatõhususe efektiivsuse jaoks on oluline piirata õhuvahetuse hulka minimaalse vajaliku hulga. Ventilatsioonisüsteemi võimsus ja projekt peab arvestama projekteerimisstandard nõudeid ja hoone kasutajate arvu. Lühiajaline suurema õhuvahetuse nõudluse saab kompenseerida akende avamisega.

Kuna enamik mitteeluhoonete tüpoloogiaid on tihedalt kasutuses piiratud aja jooksul ning kasutajate hulk muutub väga suures ulatuses, siis ventilatsioonisüsteemi toimimine peab olema seadistatud vastavalt reaalsele vajadusele. Seda saab saavutada näiteks kasutades taimereid, kohalolumonitore ja CO₂ sensoreid. Et vältida täiendavate tuletõkete paigaldamist tuleb ventilatsioonisüsteemi planeerimisel pöörata suurt tähelepanu tulekaitsemeetmetele. Selles osas on eelis deentraliseeritud ventilatsioonisüsteemidel.

6.2 Sisekliima parameetrid

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

- soojuslik mugavus (ruumi temperatuur, 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 ning kõneeraldus, eriti avatud büroodes).

Tööviljakuse seisukohalt on põhjendatud teise (II) sisekliimaklassi kasutamine vastavalt EVS-EN 15251:2007 standardile. Seda on näidanud kogu maailmas avaldatud sisekliima ja inimvastete uuringute laialdaste meta-analüüside tulemused, mille kokkuvõtte leidub näiteks juhendis REHVA GB No 6 2007. Teisele sisekliimaklassile vastavad ventilatsiooni õhuhulgad ja ruumitemperatuurid on kehtestatud ka energiatõhususe miinimumnõuetega, et vältida energia kokkuhoidu sisekliima arvelt, tabel 6.1.

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

Hoone kasutusotstarve	Välisõhu voolu- hulk l/(s m ²)	Kütmise seade °C	Jahutuse seade °C
Väikeelamutes	0,42	21	27
Korterelamutes	0,5 ^a	21	27
Büroohoonetes, teenindushoonetes,	2	21	25
Kaubandushoonetes ja terminalides	2	18	25
Ärihoonetes, v. a kaubandushoonetes ja	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

^a0,42 l/(s m²) kui ventilatsiooni sissepuhke ja väljatõmbe õhuhulkasid on võimalik korteripõhiselt juhtida

Joonis. 6.1 - Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojekts. TTÜ

Tabelis toodud nõuded eeldavad sisuliselt vastava õhuvahetusega sundventilatsiooni ja suvist jahutust bürootüüpi hoonetes. Suvise ruumitemperatuuri nõue (25 °C mittelelamutes) ei ole absoluutne, vaid nõue loetakse täidetuks, kui ruumitemperatuur ei ületa jahutuse temperatuuriseadet elamutes rohkem kui 150 kraadtunni (°Ch) ja mittelelamutes rohkem kui 100 kraadtunni (°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 võrreldes üldaktsepteeritud II klassiga. Küll suurendab I klass mõnevõrra energiakasutust suurema ventilatsiooni ja temperatuuri täpsema reguleerimise tõttu.

Kesksed sisekliimaparametrid kolmele sisekliimaklassile mittelelamutes vastavalt EVS-EN 15251.

	I (kõrg)	II (kesk)	III (miinimum)
Ruumitemperatuur, talv, °C	21-23 23,5-	20-24	19-25
Ruumitemperatuur, suvi, °C	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 ²) (väga madala emissiooniga materjalid)	0,5	0,35	0,3
Ventilatsioon, materjalide komponent, l/(s m ²) (madala emissiooniga materjalid)	1,0	0,7	0,4
Valgustihedus, tööpiirkond, lx	500	500	-
Valgustihedus, lähiümbus, lx	300	300	-

Joonis. 6.2 - Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojekti. TTÜ

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 mitteamute projektarvudeks kütmisel 21 °C ja jahutamisel 25°C. Suvise ja talvise ruumitemperatuuri erinevused tulenevad inimese kohanisest väliskliimaga ja suvisest kergemast riietusest. Kui näiteks suvel jahutataks ruume 21-22°C-ni, põhjustaks see suurt rahuolematust 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 neid materjale on saadaval ka Eesti turul.

Summaarse ventilatsioonivajaduse arvutamiseks tuleb teada inimeste arvu, ehk mitu ruutmeetrit põrandapinda on ühe inimese kohta. Näiteks 10 m² puhul inimese kohta tuleb sisekliima I klassis madala emissiooniga materjalide korral summaarseks ventilatsioonivajaduseks $10/10 + 1,0 = 2,0$ l/(s m²), mis vastab Vabariigi Valitsuse määruse nr. 68 nõudele. Määruses on lähtutud ruutmeetripõhisest ventilatsiooninõudest, kuna inimeste arv võib hoone eksploatatsiooni ajal oluliselt kõikuda. Hoone kōetavale pinnale nõutud 2,0 l/(s m²) võimaldab projekteerida tuba- ja avatud kontorid sellest väiksema õhuhulgaga, kuna nõupidamiste ruumides ja näiteks sööklas on õhuhulgad vastavalt suuremad. Nõudluspõhise ventilatsiooni juhtimise korral lubab Vabariigi Valitsuse määrus nr. 68 kasutada miinimumnõudest väiksemat õhuhulka eeldusel, et tagatakse süsihappegaasi mahukonsentratsioon alla 1000 ppm (välisõhu kontsentratsioonina arvestatakse 400 ppm.)

Büroohoonetes 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. Kōiki arvestatavaid uuringuid koondavad ülevaated Seppänen ja Fisk (2004) and Fisk ja Seppänen (2007) näitavad, et büroohoonetes võib pidada õhuhulga kriitiliseks alampiiriks 10 l/s inimese kohta. Sellest allpool esineb oluliselt 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 tavapärase 10-15 m² 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, vaid II klassi saavutamiseks tuleb kasutada laehajuteid või lakke paigaldatud dүүstorusid. Büroohoonetes on viinud tõmbuse probleemid veepõhiste jahutussüsteemide, näiteks jahutustalade või jahutuslagede kasutamisele, 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 suhtelisele niiskusele. See tuleneb asjaolust, et õhu suhtelise niiskuse mõju soojuslikule mugavusele ja õhu kvaliteedile on tavalistes 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 hallitussente kasvu ja väga madal suhteline niiskus (<15-20%) põhjustab naha kuivust ning silmade ja hingamisteede ärritust. 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 kõvade talvepakaste saabudes madala õhuniiskusega mõne päeva jooksul. Ülitundlikele ja allergilistele inimestele võib madal niiskus tekitada probleeme ja nende puhul soovitatakse 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 oluliselt väiksemaks võrreldes niisutamisega kaasneva hügieeniriskiga. Niisutamise tulemusel võivad ventilatsioonisüsteemis areneda bakterid ja mikroobid, kaasa arvatud legionellabakter, mille infektsiooni on Euroopas pea igal aastal surnud mõned inimesed. Neil põhjustel ei soovita sisekliimastandard, tuginedes teaduslike uuringute tulemustele, õhu niisutamise ega kuivatamise kasutamist kõikides Euroopa kliimades. Sisekliimanõutetele 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 tolmulestakriteeriumi.

Madala niiskustaseme probleemi võimendab ruumide ülekütmine, mida on oluline vältida ka tervisehäirete seisukohalt, järgides määruses 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 enamlevinud jahutussüsteemid seda mõningal määral, et vältida kondenseerumist ruumiseadmetele. Niisutamist vajatakse eriotstarbelistes ruumides/hoonetes nt. muuseumisäilikutel, muusikariistadel, lauljate häälepaelte, teatud haiglaoperatsioonide ja tööstusprotsesside tõttu.

Ruumide valgustiheduse, -rõiguse, -ühtluse, värviesituse üldindeksi ja muud valgustuse juhised on toodud standardis EVS-EN 12464-1. Otseselt energiakasutust mõjutavad valgustiheduse nõuded on toodud ka tabelis 6.2.

Ruumide mürataseme nõuded on toodud standardis EVS 906 ning samuti EVS-EN 15251:2007. Kontorites ja nõupidamisteruumides on lubatud kuni 35 dB(A) ja büroomaastikul 40 db(A). Üldine nõu tööruumide õhumüra isolatsiooniindeksile on 48db(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).

Olulist keerulisem on ruumide nõutava mürataseme saavutamine kui hoone on mitmefunktsionaalne. Eriti keeruline on olukord kui hoones on näiteks alakorrusel büroo- või muud äriruumid ning nende kohal eluruumid või majutusruumid. Üldise hoone energiatõhususe seisukohast on selline segukasutus parem kui piisava müraisolatsiooni saavutamine nõuab erilahendusi.

Hoonete akustilised probleemid, mis mõjutavad oluliselt sisekliimat ning on reguleeritud standarditega, võib jaotada alljärgnevalt

- liiklusmüra tõrje
- ruumidevaheline õhuheliisolatsioon
- heli levik tarindites, löögheliisolatsioon
- ruumiakustika, järelkõlakesus
- tehnosüsteemide müratõrje

6.2.1 Tehnoloogilise lahenduse skemaatiline kontseptsioon

Tehniliste ruumide ja šahtide ruumivajadus ja paiknemine hoones

Enne ruumilahenduse paikapanekut kujundatakse tehniliste ruumide, püstikute, magistraalide ja eraldi näiteks katusel või keldris paiknevate tehnoseadmete skeemid üheks toimivaks tervikuks, mille ümber jätkatakse ruumilahenduste kujundamist.

Kesksed põhimõtted, käsitletavat süsteemid, näidislahendused ja lihtsustatud tüüpvõtted:

Selleks, et saavutada tehnosüsteemide energiatõhususe näitajaid, peavad tehnoruumid olema piisava suuruse, õige kuju ja otstarbeka asukohaga. Eelkõige ventilatsiooni soojustagastus ja erivõimsus on otseses sõltuvuses ruumivajadusest. Mida väiksemad seadmed, seda kehvem soojustagastus 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 äramahutamisega. 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 mahutamine väikestes ruumidesse ning kitsaste torustikke 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.

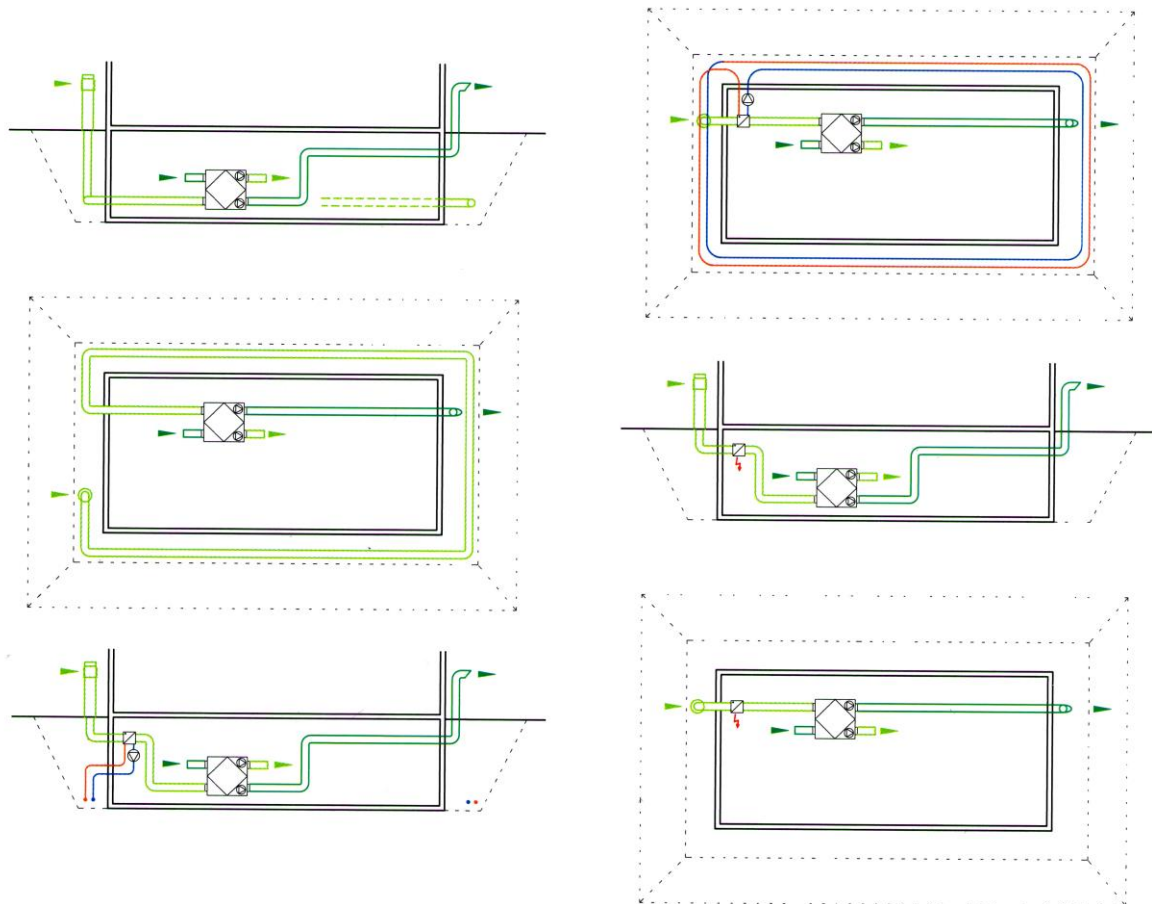
6.3 Õhustamise põhimõttelised lahendused



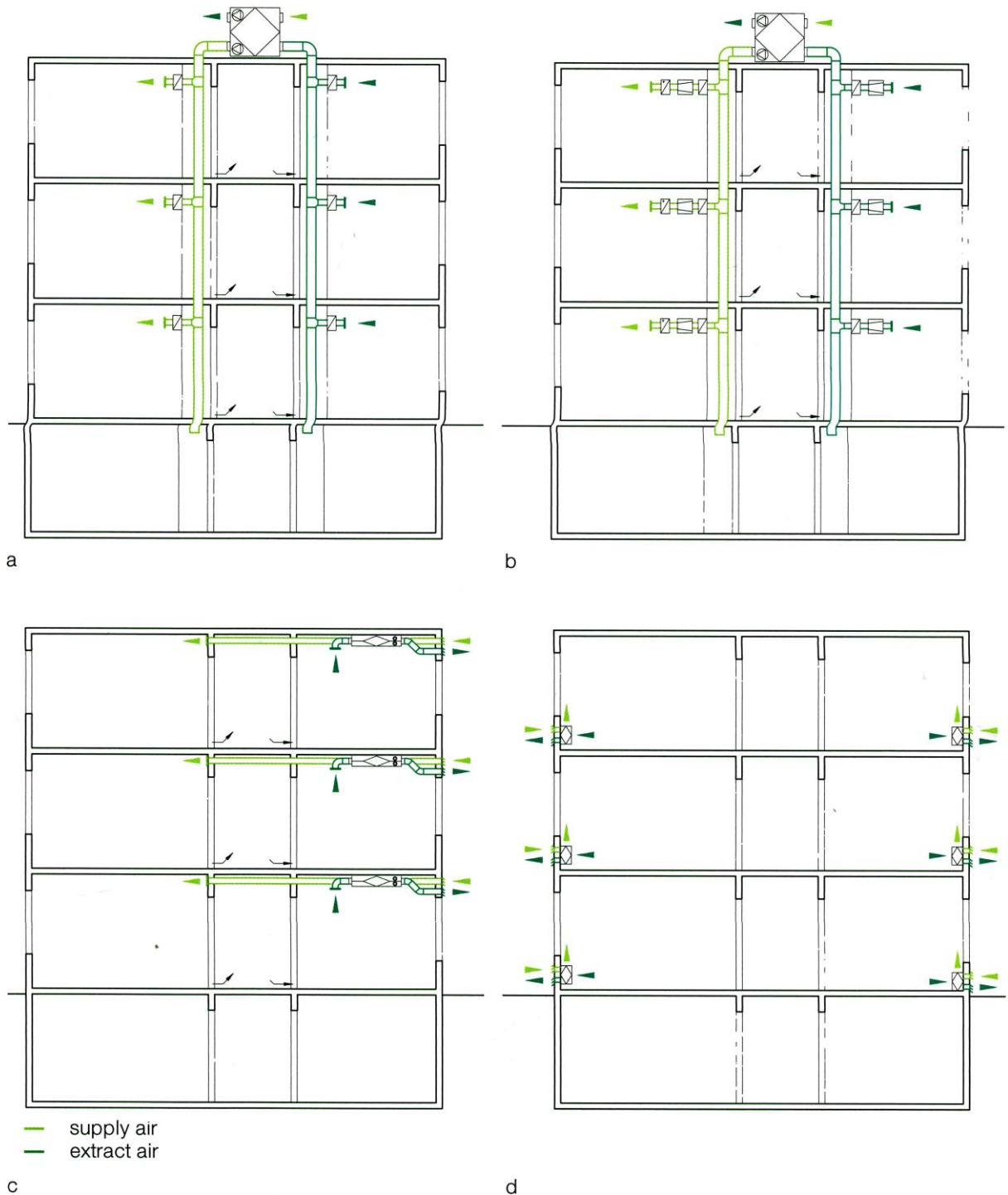
Mehaanilised ventilatsiooni süsteemid võib jagada põhimõtteliselt nelja gruppi:

- Tsentraalse ventilatsioonikambriga süsteemid, kus kõik funktsioonid on koondatud ühtseks seadeks.
- Detsentraliseeritud ventilatsioonikambriga süsteem, kus ventilatsioonikambris on sisse- ja väljamineva õhu soojusvaheti kuid muud funktsioonid on jaotatud . Selline süsteem on võimaldav individuaalse kontrolli nii vajaliku õhuhulkade kui ka temperatuuri osas.
- Jaotatud ventilatsioonisüsteem, kus agregaadid on paigutatud korrustele
- Jaotatud ventilatsioonisüsteem, kus seade paikneb igas ruumis eraldi.

Teadaolevalt kõige efektiivsem ja samas ka loomulikum ventilatsioon saavutatakse ventilatsioonikambrite optimaalse paiknemisega.

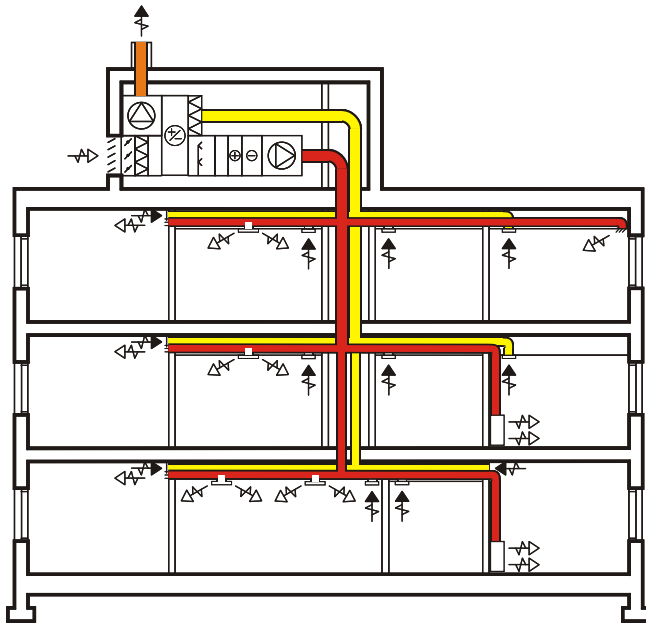


Joonis 6.3 - Õhuhaarde korraldamine läbi pinnasesse paigaldatud torustiku. Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.



Joonis 6.4 - Ventilatsioonikambrite optimaalne paiknemine. Allikas: Roberto Gonzalo, Rainer Vallentin. Planning and design of energy-efficient buildings. Passive house design. Detail Green Books. 2016.

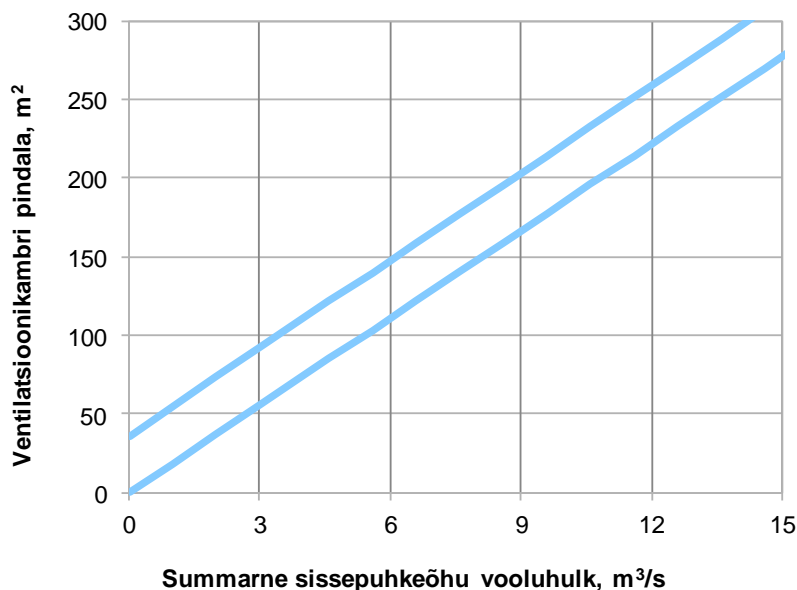
Õhuhaarde korraldamiseks on mitmeid süsteeme, mis täiendavad traditsioonilisi ventilatsiooniseadeid. Sissetuleva õhu juhtimine läbi maa-aluse toru 1,2-2,0 m sügavusel ning pikkusega 20-40 m diameetriga 200 mm on levinud võtte eramute puhul kuid kasutatava ka väiksemate ühiskondlikes hoonetes. See tagab sissetuleva õhu eelsoojenduse ning vabajahutuse suveperioodil. Analogne süsteem on võimalik ka kombinatsioonis soojuspumpadega. Vaata joonis 6.4.



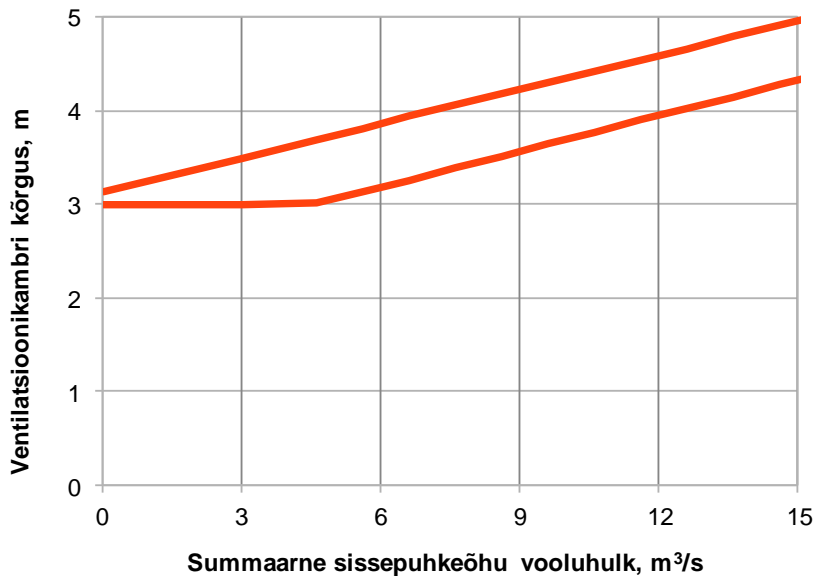
Joonis 6.5. - **Ventilatsioonikambri optimaalse asukoha näide.** Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis. TTÜ

Teadaolevalt kõige efektiivsem ja samas ka loomulikum ventilatsioon saavutatakse ventilatsioonikambrite optimaalse paiknemisega. Joonis 6.3 ja Joonis 6.5..

Ventilatsioonikambri põrandapinna suurus ja ruumi kõrgus sõltub ventilatsiooni summaarsest õhuvooluhulgast. Summaarsest õhuvooluhulka on lihtne hinnata õhuhulga ja hoone netopinna korrutisena. Näiteks büroohtonete puhul on õhuvooluhulk keskmiselt 2,0 l/(sm²) ehk 0,002 m³/(sm²). Ventilatsioonikambri põrandapinna ja kõrguse ruumivajadus on toodud joonistel 6.6 ja 6.7. Graafiku puhul tuleb silmas pidada seda, et sooja või külmavarustuse seadmete paigutamisel ventilatsioonikambrisse suureneb mõnevõrra nõutav ruumi pindala.



Joonis 6.6. - **Ventilatsioonikambri ruumivajaduse sõltuvus sissepuhkeõhu vooluhulgast.** Kambri suurus valitakse ülemise joone järgi. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis. TTÜ



Joonis 6.7. - **Ventilatsioonikambri kõrgusvajaduse sõltuvus sissepuhkeõhu vooluhulgast.** Kambri kõrgus valitakse ülemise joone järgi. Kui ruumi napib, siis võib riskida ja valida alumise joone järgi. Sellisel juhul tuleb teha kontrollarvutus konkreetsete ventilatsiooniseadmetega.

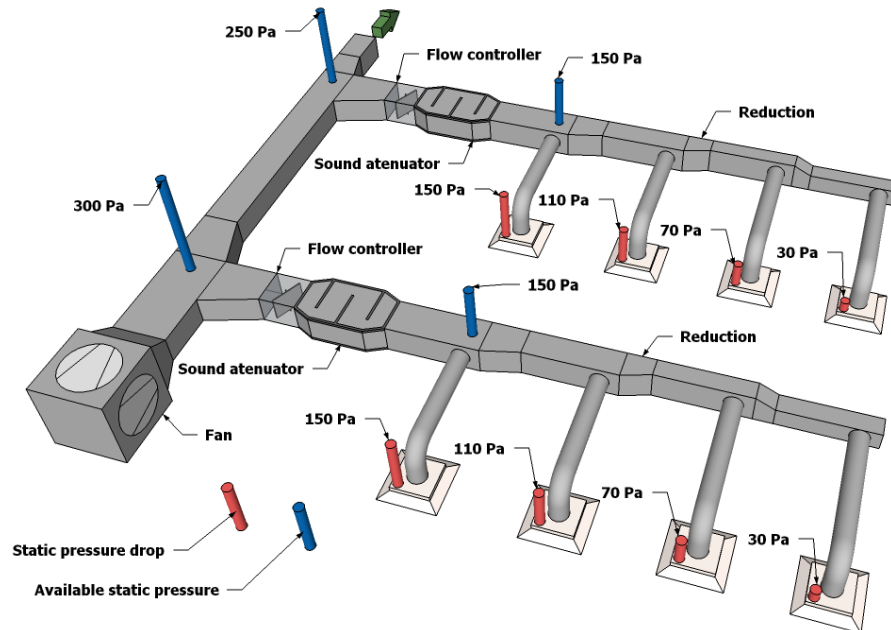
Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis. TTÜ

Optimaalse kuju ja asukohaga ventilatsioonikambris saab ventilatsiooniseadmed paigaldada õhuvõtukambri äärde, heitõhu juhtida otse läbi ruumi lae välisõhku (joonis 8) ning sissepuhke- ja väljatõmbe torustikku 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, siis suurendab see eelkõige šahtide ruumi- ja ventilatsiooniseadmete ruumi kõrgusvajadust. Optimaalselt paigutatud ventilatsioonikambritega välditakse ülipikki torustikke. Selleks ei tohiks ventilatsiooniseadme õhuvooluhulk rusikareeglina ületada 6 m³/s. Tavahoonetes (10 korrust ja veidi rohkemgi) on otstarbekas paigutada ventilatsioonikambriid kas katusele või viimasele korrusele. Kõrghooned tzoneeritakse tehniliste vahekorrustega. Ventilatsioonikambrite paigaldamine keldrisse on nii ruumikasutuse kui süsteemide efektiivsuse suhtes kõige ebaefektiivsem, kuna vajatakse pikki õhuhaardeid.

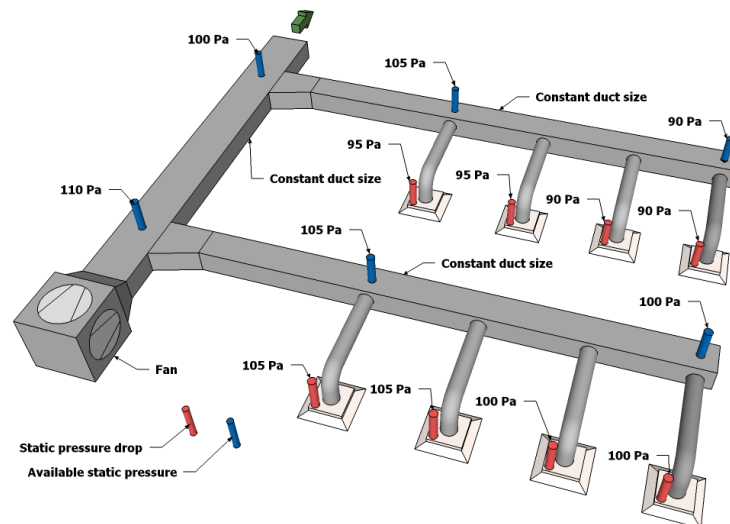
6.3.1 Lõppelemendi rõhulangule dimensioneerimine

Teadaolevalt kõige efektiivsem ventilatsioon saavutatakse ventilatsioonikambrite optimaalse paiknemisega ja tavapärasest 1 ...2 järku suuremate ventilatsiooniseadmete ja torustikega, mis on dimensioneeritud lõppelemendi rõhulangule. Lõppelemendi rõhulangule dimensioneerimine tähendab, et põhiline rõhulang toimub lõppelemendis, mistõttu ei ole vaja torustikku tasakaalustada. Eelduseks on, et magistraaltorudes (ventilatsiooniseadmest ja šahtides) on õhu kiirus piiratud 5 m/s ja korrustel olevas õhujaotustorustikus 3 m/s ning kogu torustiku staatiline rõhk 120 Pa-ga. Tasakaalustamise vajaduse vältib lisaks torustiku madalale rõhulangule lõppelemendi suhteliselt suur rõhulang, mis on sõltuvalt lõppelemendi tüübist 50–100 Pa. Näiteks jahutustalade puhul on 100 Pa hästi põhjendatud, sest see tagab korraliku sissepuhke õhujaotuse ruumis, hoides õhu liikumise kiiruse ruumis kontrolli all. Joonisel 6.8 on

esitatud näide torustiku osa tavapärasest ja joonisel 6.9 lõppelemendi rõhulangule dimensioneerimisest.



Joonis 6.8.- **Tavapärase torustiku dimensioneerimine.** Ristlõikeid vähendatakse vastavalt õhuhulga vähenemisele, süsteem tasakaalustatakse reguleerklappidega ja müra summutakse summutitega. Sinisega on märgitud staatilise rõhu tasemed torustikus ning punasega lõppelementide rõhulangud. (REHVA GB No 17)



Joonis 6.9 - **Torustiku dimensioneerimine lõppelemendi rõhulangule 100 ± 10 Pa.** Ventilatsiooniseadmes, magistraalis ja harudes on madalad kiirused ning ristlõikeid ei vähendata. Süsteem ei vaja tasakaalustamist, 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).

Lõppelemendi rõhulangule dimensioneeritud 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 õhuhulkasid kõigest $\pm 5\%$ ja $\pm 20\%$ rõhu kõikumine ligikaudu $\pm 10\%$ (õhuvooluhulk on võrdeline

rõhulangu ruutjuurega). Sellised õhuvooluhulga kõikumised on väikesed, kuna tavapärase süsteemide tasakaalustamisel aktsepteeritakse lõppelementide õhuhulkade kõrvalekaldeid kuni $\pm 20\%$.

Kui lõppelemendi rõhulangule dimensioneeritud torustikule lisada ventilatsiooniseadmed, mille otsapinnakiirus ei ületa 1,5 m/s ja ventilatsiooniseadme rõhulang 250 Pa, siis on saavutatav ventilatsioonisüsteemi erivõimsus SFP umbes 1,3 kW/(m³/s). Sellises madala ventilatsiooniseadme ja torustiku rõhulanguga süsteemis märkimisväärset müra ei teki ja rõhud püsivad torustikus suhteliselt konstantsetena, mistõttu ei vajata ei summuteid ega reguleerklappe. Tasakaalustamist mitte vajav süsteem peaks oluliselt vähendama ka ventilatsioonisüsteemide eksploatatsiooni probleeme, millest mittetasakaalus olevad süsteemid on ühed levinumad.

Lõppelemendi rõhulangule dimensioneeritud süsteemi võib kasutada nii konstantsete õhuhulkade kui ka nõudluspõhise ventilatsiooni korral. Ventilaatorite kiirust reguleeritakse mõlemal juhul, et tagada torustikus püsiv staatiline rõhk (nt. 110 Pa magistraalitorus 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 juhatakse õhuvooluhulka temperatuuri ja süsihappegaasi kontsentratsiooni järgi. Õhuhulkade muutmine näiteks ruumijaotuse muutumisel on suure torustikuga süsteemis suhteliselt lihtne kas lõppelemente ümber seadistades, juurde paigaldades või välja vahetades.

6.4 Jahutus

Madala- ja liginullenergiahoonete (MNL) jahutusüsteemid:

- Konditsioneerid
- Pinnasevee jahutussüsteemid
- Maapinna jahutussüsteemid
- Adiabaatiline jahutussüsteem, veepritse jahutussüsteem

Üldlevinud ruumiseadmetega, nagu jahutustalad ja jahutuspaneelid süsteemid võimaldavad efektiivset kõrgetemperatuurilisel veekandjal põhinevat jahutust ning ka välisõhuga toimuva vabajahutuse ärasutamist. Jahutussüsteemi väike energiakasutus saavutatakse lisaks jahutusvajaduse minimeerimisele võimalikult kõrge ESEER jahutusteguriga külmajaama kasutamisega. Jahutustegur näitab, mitu kW jahutusvõimsust või kWh jahutusenergiat toodetakse vastavalt 1 kW või 1 kWh elektriga.

Külmajaamade efektiivsust mõõdetakse peamiselt kahe jahutusteguriga. EER (*energy efficiency ratio*) on jahutustegur nominaalvõimsusel välistemperatuuril 35°C ning jahutusvee temperatuuril 7°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. ESEER-i koosseisus esitatakse ka täpsed osavõimsuste (25, 50, 75 ja 100%) jahutustegurid, mille abil saab arvutada jahutusperioodi keskmise jahutusteguri konkreetse hoone lähteandmetega (jahutusvee temperatuurid ja jahutusvõimsuste ajaline jaotumine). Tabelis 6.10 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 6.10. **Välisõhu jahutusega 600 kW külmajaama jahutustegurid.** EER väärtused on tootja andmed, käiduaeg vastab standardile ja on igas hoones erinev. Jahutusvee temperatuur 7°C. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis. TTÜ

Tavapäraste välisõhuga jahutatavate külmajaamade jahutustegurid EER ja ESEER ei arvestata kondensaatori ventilaatorite ja pumpade elektritarvet, mille tõttu on tegelikud jahutustegurid mõnevõrra kehvemad. Kondensaatori ventilaatorite ja pumpade elektritarvet ei arvestata jahutustegurite koosseisu, kuna osa külmajaamasid 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 elektrikasutusega. Need elektrikasutused tuuakse eraldi välja ning nende ja osakoormuste jahutustegurite abil saab arvutada jahutusenergiasimulatsiooni tulemusi, järelkäsitledes projekteeritava hoone tegeliku jahutusperioodi keskmise jahutusteguri.

Eurovent sertifitseerimise andmebaas annab hea ülevaate turul olevate jahutite efektiivsusest. Eurovent sertifitseerimise programmis osalemine on tootjatele vabatahtlik, kuid eelduseks on kõikides võimsusvahemikes olevate toodete sertifitseerimine. Parimate jahutite EER küünib 3,5-ni ning jahutite jahutusperioodi keskmist jahutustegurit hindav ESEER jääb 2 ja 6 vahele.

Kuna külmajaamade jahutustegurid kõiguvad suures vahemikus, siis on oluline määrata projektis lisaks jahutusvõimsusele ja temperatuuridele ka ESEER-i minimalne väärtus. Vastasel juhul võib alltöövõtja valida odavamama, kaks kuni kolm korda madalama efektiivsusega seadme. Turul olevate seadmete valik võimaldab nõuda ESEER jahutustegurit 4,5 ning 200 ja 350 kW võimsusvahemikes isegi 5,5. Eurovent jaotab jahutid ja muud seadmed seitsmesse efektiivsusklassi A-G, millest A on parim.

Kasutatud kirjandus ja allikad

- 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 Boestra, Derek Clements-Croome, Klaus Fitzner, Sten Olaf Hanssen. Fisk W and Seppänen O
- (2007) Providing better indoor environmental quality brings economic benefits. Keynote lecture. *Proceedings of 9th REHVA world congress Clima 2007*. Abstract book pp 3-14. Available at www.rehva.eu.

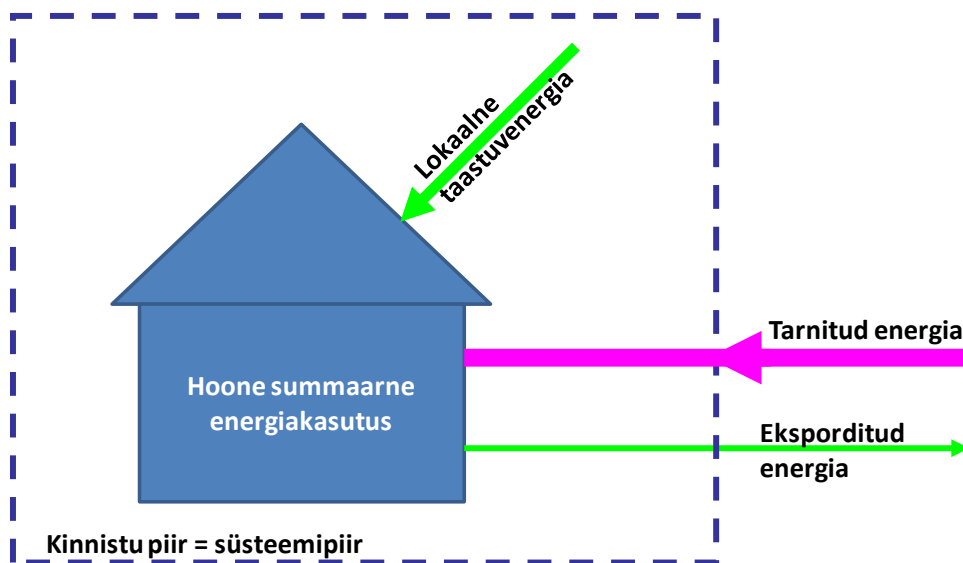
- Seppänen O, Fisk WJ. (2004). Summary of human responses to ventilation. *International Journal of Indoor Air Quality and Climate 2004*, Vol. 14: supplement 7, pp. 102-118
- REHVA Guidebook No 17. Design of energy efficient ventilation and air-conditioning systems. REHVA 2012.
- Riviere P. (2011). Lot 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/>

7 Energiavarustus

7.1 Energiatõhususe definitsioonid ja tasemed

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

Energiatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. See arvutatakse hoone kõetava 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 energiatõhususe põhimõistete definitsioonid on toodud lisa 1.



Joonis 7.1 - Hoone summaarse energiakasutuse põhikomponendid.

Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis. TTÜ 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, siis tarnitud energia on vastavalt 10 000 kWh/a. Kui hoones või kinnistul toodetakse 2000 kWh/a lokaalset taastuvenergiat, mida hoones täies mahus kasutatakse, siis tarnitud energia võrdub $10\,000 - 2\,000 = 8\,000$ kWh/a. Kui toodetakse aga 4 000 kWh/a lokaalset taastuvenergiat, millest pool eksporditakse elektrivõrku, siis võtab esitatud valem järgmise kuju: $8000 - 2000 = 10\,000 - 4000$, ehk tarnitud ja

eksportitud energia vahe on 6 000 kWh/a, kusjuures tarnitud energia on 8 000 kWh/a ja eksportitud energia 2 000 kWh/a.

Energiatõhususarvu ETA arvutus meenutab energiakulude arvutust eurodes selle erinevusega, et energia hinna asemel kasutatakse suhtelisi energiakandjate kaalumistegureid. ETA (kWh/(m² a)) arvutamisel võetakse arvesse kõik hoonesse hangitud energiad (elekter, kütus, kaugküte) ja see arvutatakse järgmise valemiga:

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

kus i on energiakandjate arv.

Primaarenergiapõhised energiakandjate kaalumistegurid vastavad suhteliselt 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 elektri tegur 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 moodustuvad 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 energiatõhusus- ja taastuenergiatehnoloogiate lahendusi kasutades tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille juures ei eeldata lokaalset elektritootmist taastuenergiaallikast.
- **Liginullenergiahoone** on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuenergiatehnoloogiate lahendusi kasutades tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui 0 kWh/(m² a), kuid mitte suurem kui määruses sätestatud.

Madal- ja liginullenergiahoonete energiatõhususarvule on kehtestatud omad piirväärtused, vt. tabel 7.2. Kuna nõuded on kehtestatud energiatõhususarvu piirväärtustena, siis 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.

Hoone kasutusotstarve	Liginullenergia- hoone kWh/(m ² a)	Madalenergia- hoone kWh/(m ² a)	Miinum- nõue kWh/(m ² a)
Väikeelamutes	50	120	160
Korterelamutes	100	120	150
Büroohoonetes, 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

Tabel 7.2 - Energiatõhususarvu piirväärtused vastavalt Vabariigi Valitsuse määrusele nr. 68. Allikas: Vabariigi Valitsuse määrus nr 68. Energiatõhususe miinumnõuded. 30.08.2012

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, suurtööstuslikud, välisvalgustus, sulatuskaablid, liftid, külmletid), mille olemasolu hoonetes põhjustab arvutusliku ja mõõdetud energiakasutuse erinevust. Ka standardkasutusest erinev tegelik kasutus, nt. pikem või lühem kasutusaeg ning baasaastast külmem või soojem aasta põhjustavad mõõdetud energiakasutuse erinevusi. Hoone toimimise, hoolduse ja haldamise seisukohast on oluline teada nii arvutuslikku kui mõõdetud energiakasutust. Nende energiakasutuste erinevuste põhjuste väljaselgitamine eeldab energiaauditi ning suuremate ja keerukamate hoonete puhul ka simulatsioonarvutusel põhineva energiaanalüüsi läbi viimist.

7.2 Energiavarustus, kütte ja jahutussüsteemid

Kütte- ja jahutussüsteemid

Madala- ja liginullenergiahooned vajavad neile kohandatud kütte- ja jahutussüsteeme, mis sobivad hoone madalate kütte- ja jahutusnõuetega. Üldiselt võib kasutada mis tahes tavapärasest küttesüsteemi tüüpi, kuigi paljudel juhtudel saab neid ehitisi kütta ainult sissepuhutava õhu kaudu. Täiendavad küttepinnad, kui üldse nõutavad, ei pruugi tingimata olla akende all, mis varem oli tüüplahendus. Sellega saab paigaldustööd lihtsustada ja vähendada, mis vabastab soojuste taaskasutamise süsteemi lisakuludest.

Energiatõhusad elektripaigaldised

Energiasäästlike seadmete, sisseseadete ning valgustuse kasutamine, samuti kõikide muud elektrimasinate (elevaatorid) ja elektroonikaseadmete sh. ka kommunikatsioonitehnoloogia, on energiatõhususe põhimõtteline aspekt. Selle aspekti rakendamist ignoreeritakse sageli arhitektide, konsultantide kui ka tellijate poolt, kuna seda ei arvata tavapärase teenuste hulka. Selle mõju energiatõhusarvu piirväärtusele on siiski märkimisväärne. Selle põhjuseks on asjaolu, et kõiki elektritarbijaid arvestatakse ja hinnatakse komplekse energiakasutuse hulga järgi vastavalt kaalumistegurile.

7.2.1 Soojuspumbad

Soojuspumbad võtavad madalama temperatuuriga keskkonnast soojusenergiat läbi külmaaine ning kannavad selle kõrgema temperatuuriga kütavasse keskkonda kasutades selleks välisõhu, maapinna, veekogude, puurkaevude, heitvete, heitõhu jm energiat. Soojuspumbad võib liigitada alljärgnevalt:

- Maasoojuspump, mis hõlmab nelja erinevat energia-allikat: energiakaev, maapind (maakollektor), põhjavesi ja veekogu. Soojuspumbale sobiv energia-allikas valitakse lähtuvalt hoone energiavajadusest ja eelkõige asukohast
- Ventilatsioonisoojuspump, väljatõmbeõhu soojuspump
- Kombineeritud ventilatsiooni-maasoojuspump
- Õhk-õhk soojuspump
- Õhk-vesi soojuspump
-

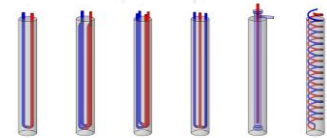
Õhksoojuspumbad kasutavad maja ümbritsevas välisõhus või ventilatsiooniõhus sisalduvat madaltemperatuurilist soojusenergiat ja tõstavad kompressori abil selle temperatuuri kütmiseks vajalikule tasemele. Õhk-õhk soojuspumba saab kasutada ka õhku jahutava seadmena.

Käsitletud soojus/jahutusvarustuse lahendused

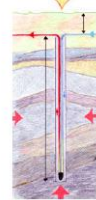
- *Maasoojuspump*



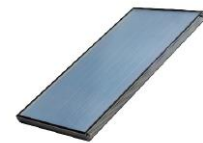
- *Energiavaiad (kütteks)*



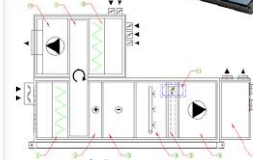
- *Puurkaevud (jahutuseks)*



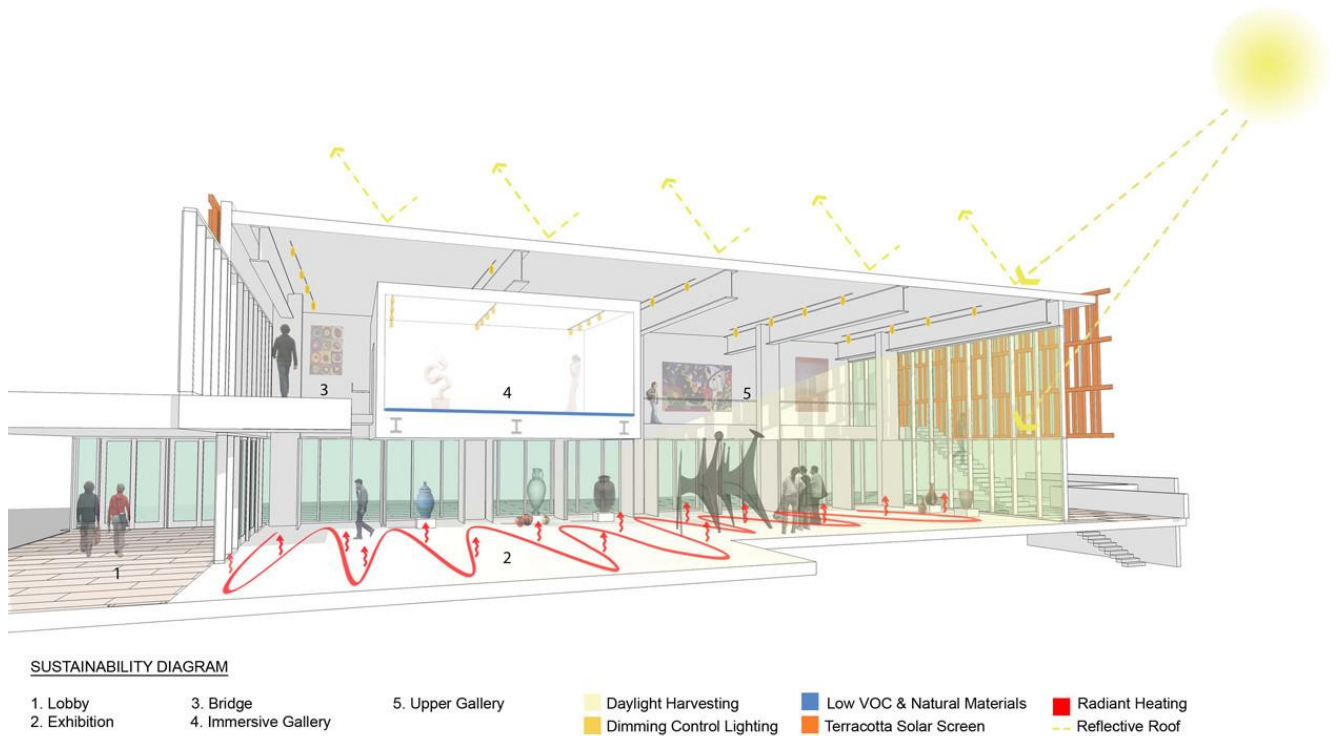
- *Päikese kollektor (energiavaiade laadimiseks)*



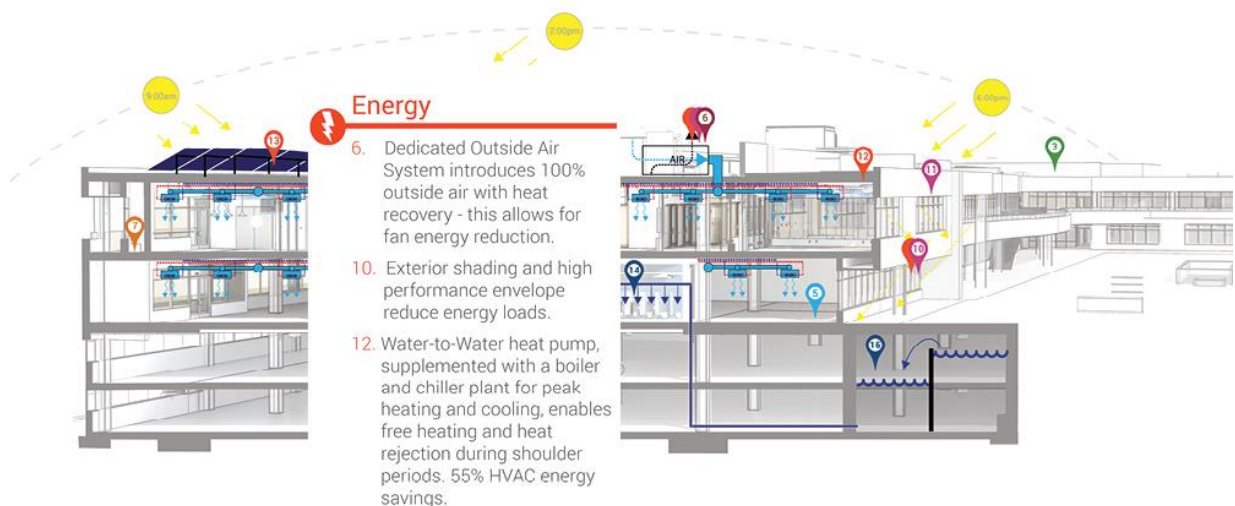
- *Heitõhusoojusega laadimine*



Joonis 7.3 - HAMK energiatõhususe analüüs avaliku lignullenergiahoone näitena. Allikas: Teadmispõhine ehitus 2017 esitlus. Jevgeni Fadejev Nooremteadur, Tallinna Tehnikaülikool/ Aalto ülikool.



Joonis 7.4 - School of Art and Design | New York State College of Ceramics | Alfred, New York energiatõhususe kontseptsioon, Ikon5 arhitektid. Digitaalne allikas: <http://www.ikon5architects.com/portfolio/current-work/26-school-of-art-and-design-new-york-state-college-of-ceramics#image-12>



Joonis 7.5 - SRM Tehnoloogialinnaku büroohoone energiatõhususe kontseptsioon (Leed Platinum), DLR Group arhitektid. Digitaalne allikas: <http://www.dlrgroup.com/work/srm-technology-campus-office-building/>

7.3 Energiavõrgustik

Linna energivarustus, energiavõrgustik

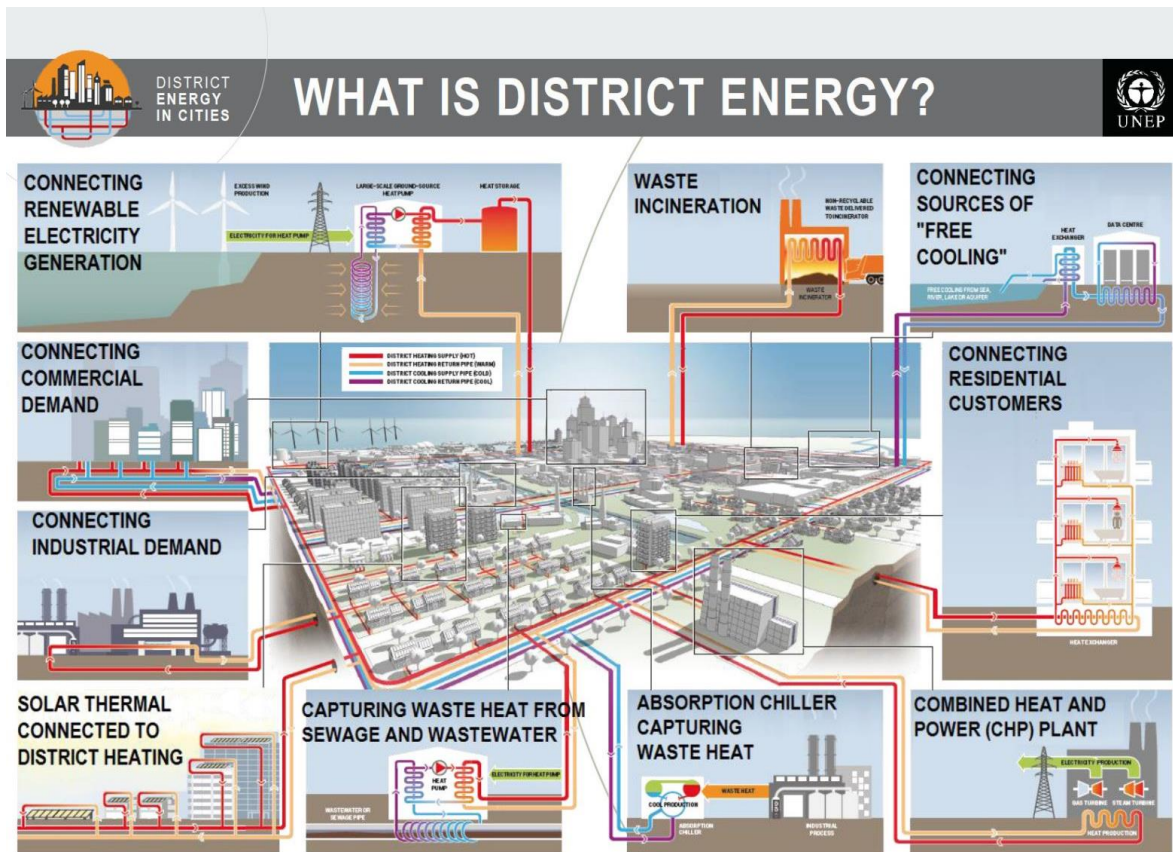
Uueks energiavarustuse kontseptsiooniks tiheasustusaladel peaks olema targa linna – "Smart Zero Carbon City" põhimõtetest lähtuv säästva linnakeskkonna terviklahendus.

Heaks näiteks nende põhimõtete rakendamisest saab tuua projekti SmartEnCity, mis (<http://smartencity.eu>) on rahvusvaheline koostööprojekt, mida rahastatakse Euroopa Liidu teadusuuringute ja innovatsiooni raamprogrammist Horisont 2020. Projekt algas 2016. a veebruaris ning kestab kauem kui 5 aastat, millest põhitegevused jäävad esimesele 2-3 aastale ning viimased aastad on planeeritud tulemuste hindamisele ja levitamisele. Projekti peamine eesmärk on viia ellu targa ja säästva linnakeskkonna terviklahendus, mis inspireeriks elanikke tegema keskkonnateadlikke otsuseid ning oleks hiljem erinevates Euroopa piirkondades rakendatav. Projekti põhipartneriteks on nõ. *majakalinnad* Tartu, Sønderborg (Taani) ja Vitoria-Gasteiz (Hispaania), mis kõik püüavad eelkõige ühe linnaosa piires rakendada tõhusaid ja nutikaid energiasäästu lahendusi. Saadud kogemusi püüavad rakendada *järgijad linnad* Lecce (Itaalia), Asenovgrad (Bulgaaria). Kokku on projekti kaasatud 35 organisatsiooni kuuest riigist.

Projekti aluseks on Smart Zero Carbon City kontseptsioon, kus linna ökoloogiline jalajälg ja energianõudlus on kaasaegseid tehnoloogiaid kasutades viidud miinimumini ja energiavarustus baseerub taastuvatel kohalikel energiaressurssidel, mida hallatakse nutikate lahenduste abil. Nutikas linnaosa sisaldab peale hoonete energiasäästlikuks renoveerimise ning nutikodu rakenduste ka uuenduslikke lahendusi kaugküttes, transpordis, tänavavalgustuses, taastuenergia kasutamises ning elanike kaasamises. Nii näiteks paigaldatakse renoveeritavatele elamutele taastuenergia tootmiseks päikesepaneele ning uudse lahendusena taaskasutatakse elektriautode vanu akusid taastuenergia salvestamiseks.

Kaugjahutusvõrgust vabanev jääksoojus on suunatakse kaugküttevõrku ning kasutatakse näiteks kortermajades sooja vee tootmiseks. Tänavavalgustuse energiatarbimist vähendatakse LED-valgustitel ning sensoritel põhineva valgustusvõrgu rajamisega. Nutikasse linnaossa tulevad elektriautode laadimispunktid, elektriautode ja -jalgrataste rendipunktid ning sensorid müra, õhusaaste, õhutemperatuuri ja õhuniiskuse mõõtmiseks ning teeolude jälgimiseks. Samuti luuakse elanikele infotehnoloogiline nutikodulahendus, mis võimaldab jälgida, analüüsida ning reguleerida oma kodust energiatarbimist, soodustada kogukonnasisest infovahetust ja saada reaajas infot lähedal asuvates rendipunktides paiknevate sõiduvahendite ning linnakeskkonna olude kohta.

Tark linn on hea näide kompleksüsteemi teooria praktilisest rakendamisest. Kokku on liidetud nii uued tehnilised energiasäästlikud lahendused kui ka läbi erinevate IT süsteemide inimfaktor-linna elanikkond, kes läbi oma muutuvate tarbimisharjumuste, millele on antud hea tagasiside, mõjutab samaväärselt üldist energiatarbimist. Inimeste käitumispõhiste harjumuste muutmine ja mõjutamine, läbi nende teavitamise ja kaasamise üldisesse energiavõrgustiku „pilve“, võib anda üldises energiasäästus märkimisväärse osa.



Joonis 7.6 - Näide energiavõrgustiku põhimõttelistest skeemidest, mis maksimaalselt kasutavad taastuvenergiat linnatingimustes nii kütteks kui ka jahutuseks. Digitaalne allikas: <http://staging.unep.org/energy/districtenergyincities>

Kasutatud kirjandus ja allikad

- Vabariigi Valitsuse määrus nr 68. Energiatõhususe miinimumnõuded. 30.08.2012
- Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojekti. TTÜ
- HAMK energiatohususe analüüs avaliku liginullenergiahoone näitena. Allikas: Teadmispõhine ehitus 2017 esitlus. Jevgeni Fadejev Nooremteadur, Tallinna Tehnikaülikool/ Aalto ülikool.
- School of Art and Design | New York State College of Ceramics | Alfred, New York energiatohususe kontseptsioon, Ikon5 arhitektid. Digitaalne allikas: <http://www.ikon5architects.com/portfolio/current-work/26-school-of-art-and-design-new-york-state-college-of-ceramics#image-12>
- SRM Tehnoloogialinnaku büroohoone energiatohususe kontseptsioon (Leed Platinum), DLR Group arhitektid. Digitaalne allikas: <http://www.dlrgroup.com/work/srm-technology-campus-office-building/>
- SmartEnCity projekt- Digitaalsed allikad: www.tartartu.ee/avaleht/ulevaade/
<http://smartencity.eu/>

8 Lokaalne taastuvenergia

Büroohoonetes taandub lokaalne taastuvenergia suures osas soojuspumpadele ja päikesepaneelidele, kuna päikesekollektoritel 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 energiakandja kaalumisteguris.

8.1 Päikesepaneelid

PV süsteemi projekterija peab tagama, et kavandatud moodulid ei oleks varjutatud, isegi osaliselt mitte, sest sellel on väga negatiivne mõju lõppväljundile. Hoone vertikaalsesse fassaadi on võimalik erineval viisil paigaldada PV mooduleid kuid nende kasutegur on väiksem kui optimaalselt orienteeritud katusepaneelidel.

PV-moodulid on saadaval standardselt, kuid neid saab valmistada ka spetsiaalsete projektide järgi. Samuti saab neid integreerida otse ehitustoodetesse, näiteks PV katusekivide või katuseakende loomiseks.

8.1.1 Päikesekiirgus hoone tasapindadele

PV paneelide integreerimisel ehitise mahtu on mitmeid võimalusi, peamiselt muidugi fassaadi, nad võivad olla erinevad varjestuselemendid, varikatused, rõdupiirded jne. PV mooduleid kuid nende kasutegur on väiksem kui optimaalselt orienteeritud katusepaneelidel. Tavaliselt on tegemist kahe valikuga, kas transparentsed klaasmoodulid klaasist pinnal või kollektorid seinte või muude välispiirete osadel. Transparentsed PV paneelid on üldjuhtumil eritooted, mis valmistatakse vastavalt konkreetsele projektile.

Alltoodud tabelis 8.1 on esitatud summaarsed päikesekiirguse (H_S) andmed hoone eri tasapindadele. Esitatud on energiaarvutuste baasaasta arvutuslikud andmed ja PVGIS andmebaasi andmed. Viimased põhinevad maapealsete mõõtejaamade andmete interpoleerimisel. PVGIS andmebaasi andmed sisaldavad pika perioodi jooksul mõõtejaamadest saadud kuude keskmisi globaalse ja hajuskiirguse andmeid. PVGIS andmebaasi keskmised andmed on arvutatud 10 aasta (1981-1990) andmete alusel.

Hoone tasapinna suund ja kalle	Peegeldunud kiirgus aastas	Hajuskiirgus aastas	Otsene kiirgus aastas	Summaarne kiirgus arvutatud näidisaasta põhjal	Summaarne kiirgus arvutatud PVGIS andmete põhjal	Erinevus
kraadides	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	%
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%

Tabel 8.1 - Päikesekiirgus hoone tasapindadele. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis. TTÜ

PV-paneelide tootlikkus hoone eri tasapindadel

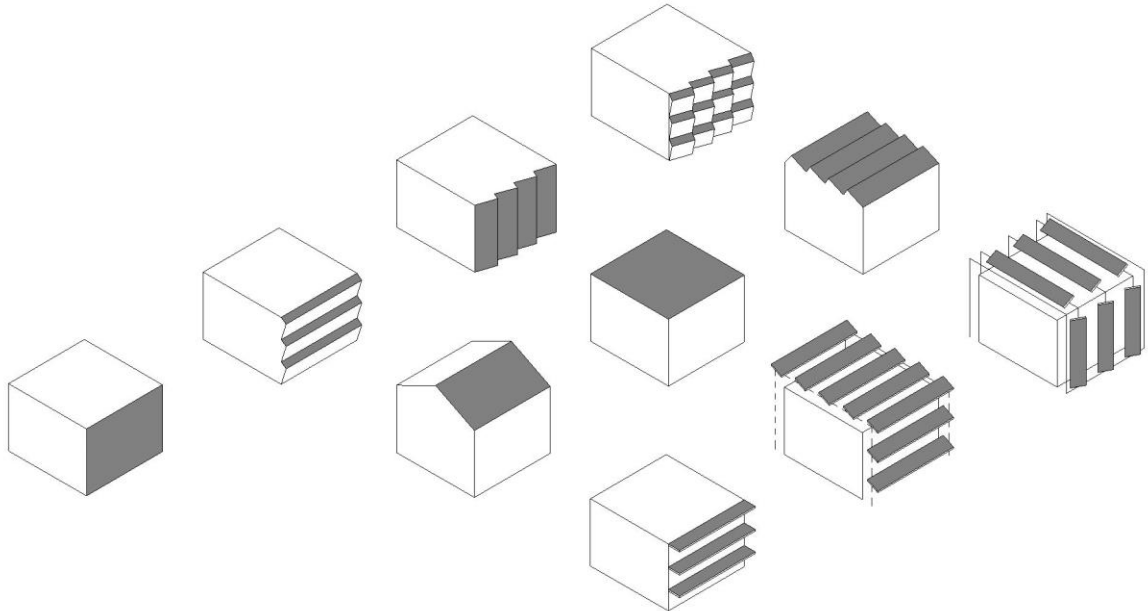
Alltoodud tabelis 8.2 esitatud PV-paneelide ideaalse (E_{PV}), standardkadudega ($E_{PV,15\%}$) ja 25-aastase käidu järgse tootlikkuse ($E_{PV,25a}$) arvutused pinnaühiku kohta põhinevad eeltoodud andmetel. 25-aastase käidu jooksul on tootlikkuse kaoks arvestatud 20%. Arvutustes on kasutatud standardaasta kiirgusandmeid. Tabelis esitatud tasuvusarvutustes pole arvestatud PV-paneelide lisaseadmeid, mille maksumus võib sõltuvalt lahendusest olla samaväärne installeeritavate PV-paneelide hinnaga.

Footja		SOLAR-WORLD	SCHOTT	Würth WS 11007/80	Avancis	Schott	Flexcell	Unisolar	Asithru
Seadme tüüp		Mono-Si	Poly-Si	CIS	CIS	a-Si	a-Si	a-Si	a-Si
H_S , S 45°	kWh/m ²	1151,00	1151,00	1151,00	1151,00	1151,00	1151,00	1151,00	1151,00
E_{PV} , S 45°	kWh/m ²	161,32	161,66	126,31	126,60	79,42	36,67	72,42	51,80
$E_{PV,15\%}$, S 45°	kWh/m ²	137,12	137,41	107,36	107,61	67,51	31,17	61,56	44,03
$E_{PV,25a}$, S 45°	kWh/m ²	109,70	109,93	85,89	86,09	54,01	24,94	49,25	35,22
Tasuvusaeg (0.1 €/kWh)	aastat	23,70	18,59	45,84	19,38	13,80	-	-	-
H_S , S 90°	kWh/m ²	871,39	871,39	871,39	871,39	871,39	871,39	871,39	871,39
E_{PV} , S 90°	kWh/m ²	122,13	122,39	95,62	95,85	60,13	27,77	54,83	39,21
$E_{PV,15\%}$, S 90°	kWh/m ²	103,81	104,03	81,28	81,47	51,11	23,60	46,60	33,33
$E_{PV,25a}$, S 90°	kWh/m ²	83,05	83,22	65,02	65,18	40,89	18,88	37,28	26,66
Tasuvusaeg (0.1 €/kWh)	aastat	31,31	24,56	60,54	25,60	18,23	-	-	-
H_S , E 90°	kWh/m ²	597,23	597,23	597,23	597,23	597,23	597,23	597,23	597,23
E_{PV} , E 90°	kWh/m ²	83,71	83,88	65,54	65,69	41,21	19,03	37,58	26,88
$E_{PV,15\%}$, E 90°	kWh/m ²	71,15	71,30	55,71	55,84	35,03	16,18	31,94	22,84
$E_{PV,25a}$, E 90°	kWh/m ²	56,92	57,04	44,57	44,67	28,02	12,94	25,55	18,28
Tasuvusaeg (0.1 €/kWh)	aastat	45,68	35,83	88,34	37,35	26,59	-	-	-
H_S , W 90°	kWh/m ²	693,67	693,67	693,67	693,67	693,67	693,67	693,67	693,67
E_{PV} , W 90°	kWh/m ²	97,22	97,43	76,12	76,30	47,86	22,10	43,65	31,22
$E_{PV,15\%}$, W 90°	kWh/m ²	77,78	77,94	60,90	61,04	38,29	17,68	34,92	24,97
$E_{PV,25a}$, W 90°	kWh/m ²	66,11	62,35	48,72	48,83	30,63	14,15	27,93	19,98
Tasuvusaeg (0.1 €/kWh)	aastat	39,33	32,78	80,81	34,16	24,33	-	-	-
H_S , S 0°	kWh/m ²	943,63	943,63	943,63	943,63	943,63	943,63	943,63	943,63
E_{PV} , S 0°	kWh/m ²	132,26	132,53	103,55	103,79	65,11	30,07	59,37	42,46
$E_{PV,15\%}$, S 0°	kWh/m ²	105,81	106,03	82,84	83,03	52,09	24,05	47,50	33,97
$E_{PV,25a}$, S 0°	kWh/m ²	89,93	84,82	66,27	66,43	41,67	19,24	38,00	27,18
Tasuvusaeg (0.1 €/kWh)	aastat	28,91	24,10	59,40	25,11	17,88	-	-	-
H_S , N 90°	kWh/m ²	346,59	346,59	346,59	346,59	346,59	346,59	346,59	346,59
E_{PV} , N 90°	kWh/m ²	48,58	48,68	38,03	38,12	23,91	11,04	21,81	15,60
$E_{PV,15\%}$, N 90°	kWh/m ²	38,86	38,94	30,43	30,50	19,13	8,83	17,45	12,48
$E_{PV,25a}$, N 90°	kWh/m ²	33,03	31,15	24,34	24,40	15,31	7,07	13,96	9,98
Tasuvusaeg (0.1 €/kWh)	aastat	78,72	65,61	161,73	68,37	48,69	-	-	-

Tabel 8.2 - PV-paneelide tootlikkus ja tasuvusaeg. Kuna moodulite hind moodustab terviksüsteemi maksumusest hinnanguliselt 40-60 %, siis alltoodud tabelis võib lugeda lõuna suunas 45 kraadise kaldega paigaldatud firma Schott paneelid ka terviksüsteemina tasuvaks Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojekti. TTÜ

Hoonete fassaadidesse ja akendesse integreeritavate lahenduste tootjad ja näidisandmed

PV paneelide integreerimisel ehitise mahtu on mitmeid võimalusi, peamiselt fassaadi: nad võivad olla erinevad varjestuselemendid, varikatused, rõdupiirded jne.



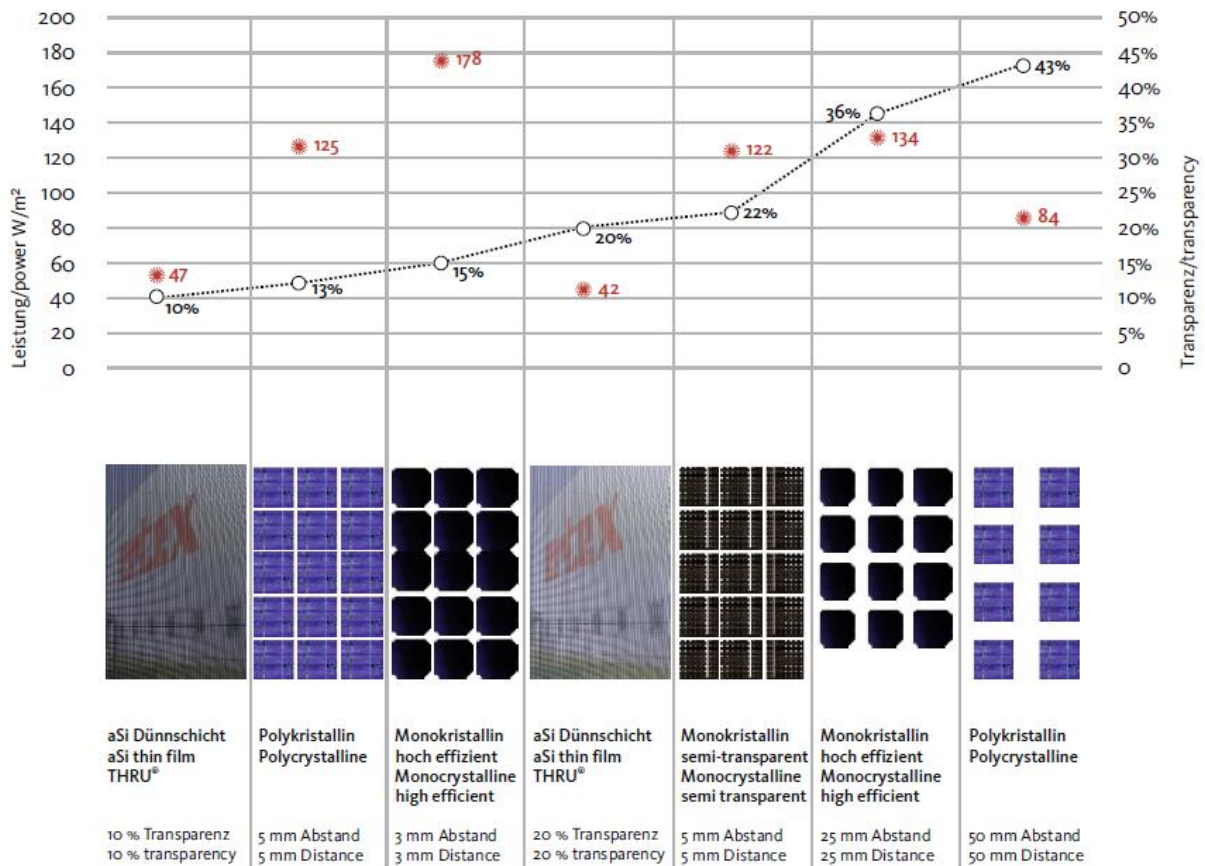
Joonis 8.3 - PV paneelide hoone mahtu integreerimise võtted. Allikas: Aktivhaus The Reference work. From Passivhaus to Energy-Plus House. Manfred Hegger, Caroline Fafflok, Johannes Hegger, Isabell Passig. Birkhäuser, Basel. 2016

Hoonesse integreeritavate fassaadide, laminaatpaneelide ja kilede tootjatest tuntumad on:

- Arnold Glas – VOLTARLUX (www.voltarlux.de)
- ERTL GLAS AG / ertex solar (www.ertex-solar.at)
- Scheuten Solar (www.scheutensolar.com)
- SCHOTT Solar (www.schottsolar.com)
- Kaneka Solar (www.kaneka-solar.com)
- Würth-Solar (www.wuerth-solar.de)

Kõige laiemat tootevalikut pakub ülalkirjeldatud tootjatest ERTL-GLAS AG.

Suurema läbipaistvusega 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, siis kasutatakse erineva mono- või polükristall PV-elementide mustriga paneele. Kuna mono- ja polükristall PV-elementidel on suurem kasutegur, siis vaatamata suuremale läbipaistvusele on nende tootlikkus pinnaühiku kohta reeglina samaväärne või parem kui *thin-film* paneelidel.



Joonis 8.4 - Seadmete võimsus ruutmeetri kohta ja läbipaistvus. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohtonete põhilahendused eskiis- ja eelprojekts. TTÜ

8.1.2 Katusele paigaldatavad päikesepaneelid

Katusele paigaldatakse tavaliselt standardtooted, mis tänu oma massilisusel on tunduvalt odavamad.

Käesolevas osas on esitatud lühiülevaade turul pakutavate päikesepaneelide (PV-paneelide) tehnilistest andmetest, nende võrdlusest ja tootlikkuse hinnangust hoone eri tasandidel.

Hoone katuse vaba varjestamata pind on kaetud päikesepaneelidega, mille tootlus on parandanud energiatõhususarvu 10,4 ühiku võrra.

	Energiavajadus kWh/(m ² a)		Energiakasutus kWh/(m ² a)		Kaalumi s- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m ² 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 tarvevee soojendamine		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
Summa	80	75	75	70		111	101

Tabel 8.5. Päikesepaneelide mõju energiatõhususele akende osakaaluga 25 %. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis. TTÜ

Saavutatud energiatõhususarv 101 kWh/(m² a) on ühe ühiku võrra suurem kui liginullenergiahoone puhul nõutu. Kuna katusele rohkem paneele ei mahu, on liginullenergiahoone täitmiseks kolm põhimõttelist võimalust:

- paigaldada päikesepaneelid ka lõunafassaadile;
- arhitekt peab hakkama hoonet ümber joonestama energiatõhususe parandamiseks;
- tuleb otsida energiatõhususe parandamise võimalusi muude tehniliste lahenduste abil
- Antud näites on osutunud kõige lihtsamaks jahutussüsteemi efektiivsuse tõstmine, valides parema jahutusteguriga külmajaama, vt. tabel 8.6. Jahutusteguri ESEER tõstmisel tavapäraselt tasemelt 3,0 parimate võimalike seadmete ligilähedase 4,5-ni on viinud energiatõhususarvu 98-ni, millega on liginullenergiahoone nõue 100 kWh/(m² a) täidetud.

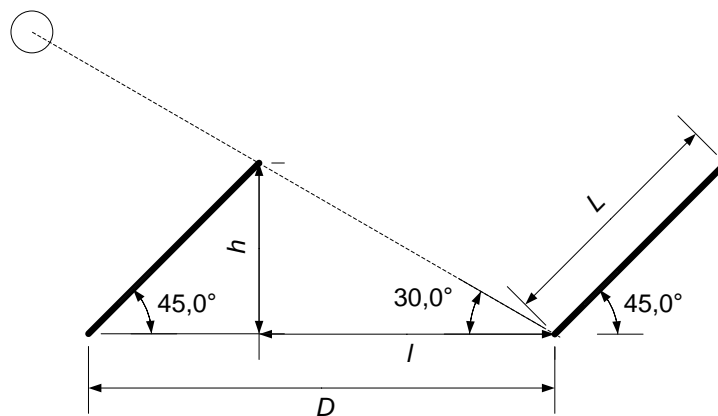
	Energiavajadus kWh/(m ² a)		Energiakasutus kWh/(m ² a)		Kaalumis- tegur, -	Energiatõhususarv ETA, kWh/(m ² a)	
	3,0	4,5	3,0	4,5		3,0	4,5
Külmamasina ESEER, -	3,0	4,5	3,0	4,5		3,0	4,5
Ruumide ja sissepuhkeõhu kütte	28,6		29,2		0,9	26,3	
Sooja tarbevee soojendamise	5,8		5,8		0,9	5,3	
Ruumide ja sissepuhkeõhu 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
Summa	75	75	70	68		101	98

- Tabel 8.6. Parema jahutusteguri mõju energiatõhususele. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis. TTÜ

8.1.3 PV-paneelide optimaalne kaldenurk katusele paigaldamisel

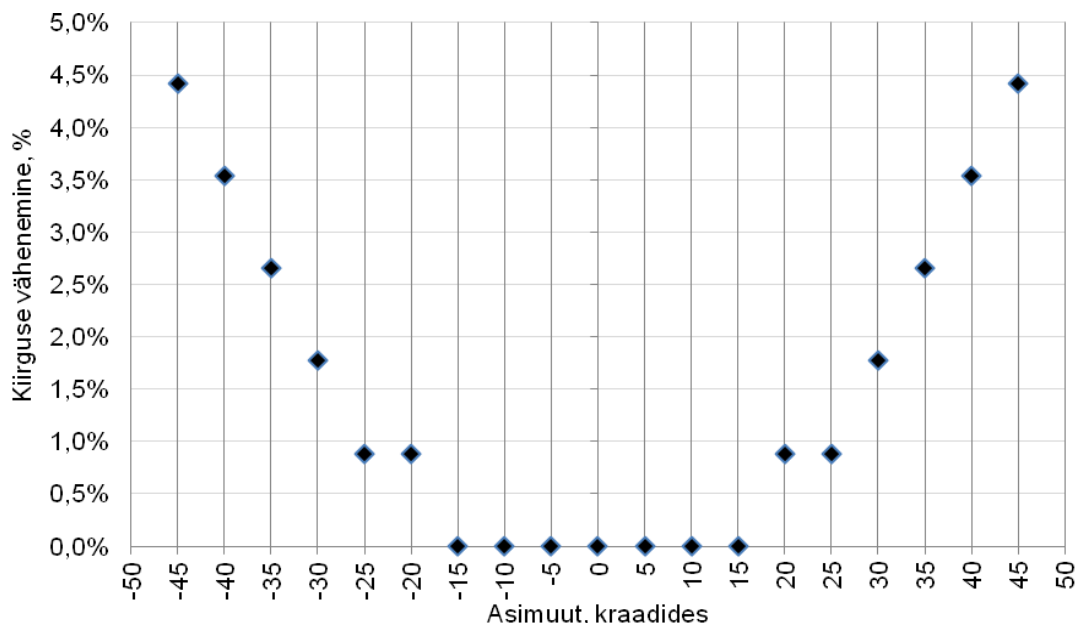
Arvutused annavad katusel paneelide optimaalseks kaldenurgaks lõunasuunal 40°. Tegelikult pole aastases toodangus märkimisväärset vahet, kui paneelide kaldenurk jääb vahemikku 30°...45°.

Kogu aastasesst horisontaalsele pinnale langevast päikesekiirgusest ca 85% (kaheteljelise päikest järgiva ajamiga süsteemide puhul ca 80%) langeb suveperioodi: so aprillist septembrini. Seepärast tuleks paneelide vahekauguste planeerimisel arvestada sellega, et suveperioodi jääva halvima kiirgusega kuus ehk septembris on päikese kõrgus horisondist ca 30 kraadi. See tähendab, et varju pikkus l on ca 1,75 kordne varjutava objekti kõrgus h. Lubatav vahemik l = (1.7...1,8) x h. Katuse pind on optimaalseimalt kasutatud kui paneelid paigaldatakse kaldega 30°. Tootlikkus ruutmeetri kohta võrreldes 40-kraadise kaldega paneelidega väheneb ligikaudu 1%, kuid kasutatav pind suureneb 5 % võrra, mistõttu suurema arvu paneelide installeerimisest 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.



Joonis 8.7. PV- paneelide kaldenurk ja päikese kõrgus horisondist. Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis. TTÜ

Teine oluline analüüsi osa on PV-paneelide asimuut ehk suund lõuna suhtes ja sellest sõltuv kiirgus 30-kraadise kaldega PV-paneelidele. Vastavalt joonisel 8.8 esitatule ei muutu päikesekiirgus pinnaühikule kui PV-paneel pöörata lääne või ida suunal 15 kraadi. Kui paneelid on pööratud lõuna suhtes 15...25 kraadi, siis toob see kaasa ca 1% päikesekiirguse languse pinnaühikule, sh. ka samaväärse tootlikkuse languse. Et tagada sama tootlikkus, mis on lõunasuunaliselt paigaldatud paneelidel, on soovitatav valida paneelide asimuut vahemikus ± 15 kraadi.



Joonis 8.8 - 30 kraadise kaldega pinnal päikesekiirguse vähenemine sõltuvalt pinna suunast lõuna suhtest (asimuudist). Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis. TTÜ

Kasutatud kirjandus ja allikad

- Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektiis. TTÜ

- 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)
- Aktivhaus The Reference work. From Passivhaus to Energy-Plus House. Manfred Hegger, Caroline Fafflok, Johannes Hegger, Isabell Passig. Birkhäuser, Basel. 2016

9 Lisad

LISA 1

Energiatõhususe ja -arvutuse põhimõisted

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

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

Tarnitud energia – aastane elektrivõrkudest hangitud elektrienergia või kaugküttevõrkudest hangitud soojusenergia kilovatt-tundides (kWh/a) või kütuste tarnijatelt hangitud kütuste energiasisaldus kilovatttundides, millega kaetakse lokaalsest taastuvenergiast 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 elektri kasutus, arvestamata lokaalset taastuvenergiat (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 köetava pinna ruutmeetri kohta [kWh/(m² a)];

Summaarne eksporditud energiategurite kaalutud erikasutus – energiakandjate lõikes arvatud eksporditud energiategurite ja energiakandjate kaalumistegurite korrutiste summa;

Summaarne tarnitud energiategurite kaalutud erikasutus – energiakandjate lõikes arvatud tarnitud energiategurite ja energiakandjate kaalumistegurite korrutiste summa;

Hoone standardkasutus – hoone tavapärane kasutus energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamisel. Standardkasutuse kindlaksmääramisel võetakse arvesse hoone kasutamise otstarve, välis- ja sisekliima, hoone ja tehnosüsteemide kasutusaeg ning vabasoojus;

Energiatõhususarv [kWh/(m² a)] – arvutuslik summaarne tarnitud energiategurite kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiategurite kaalutud erikasutus;

Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna ruutmeetri kohta [W/(m²K)] – hoone köetava 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 süsteemikadudeta 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 meetodika järgi. Vabariigi Valitsuse määrus nr. 68 aktsepteerib valideerimiseks vastavaid Euroopa (EVS-EN), ISO, ASHRAE ja CIBSE standardeid ning IEA BESTEST meetodikat või nendega samaväärseid üldtunnustatud meetodikaid;

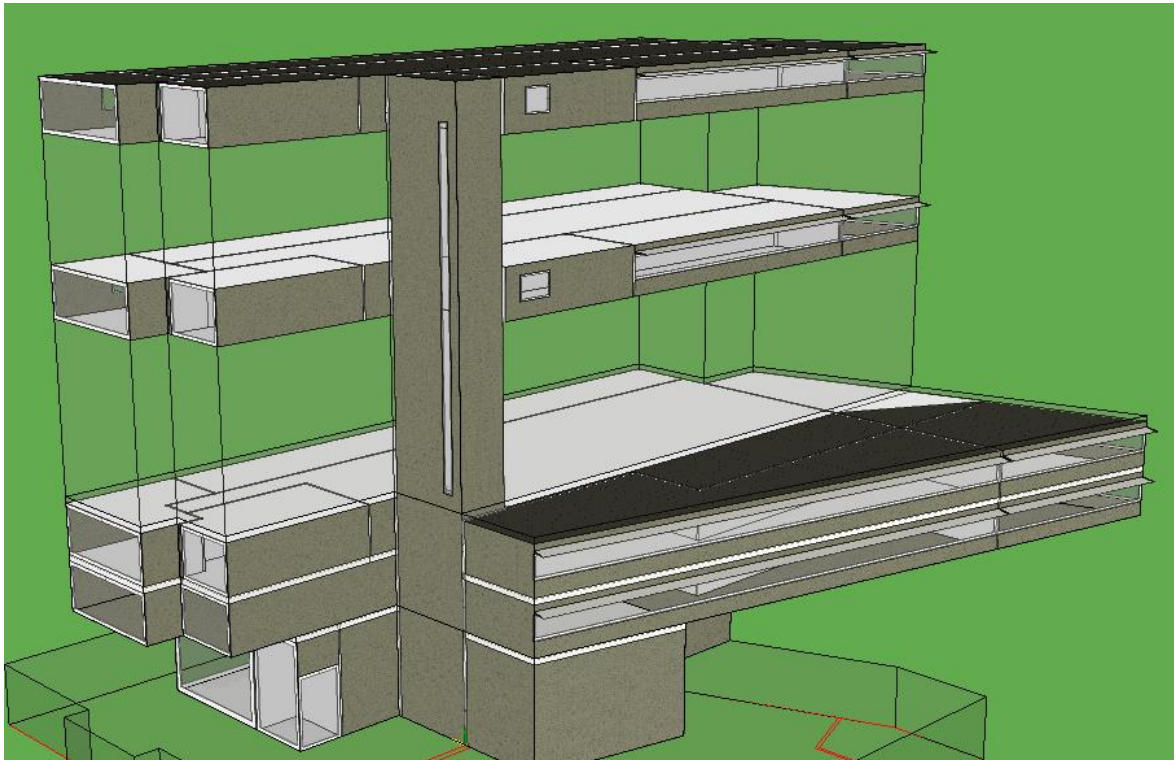
Kuluoptimaalse energiatõhususega hoone – hoone, mille energiatõhususarvu piirväärtus tagab minimaalsed elutsükli kogukulud, mis moodustuvad ehitusmaksumusest ning igaaastastest energia-, hooldusja käituskuludest (arvestuslikult elamutele 30 aastat ja mitteelamutele 20 aastat elutsükli nüüdisväärtuse investeerimisarvutusena);

Köetav pind – sisekliima tagamisega ruumide netopind;

Õhulekkearv – hoone välispiirete õhupidavust iseloomustav näitaja, mis on määratud õhulekkestega 50 paskali (Pa) rõhkude erinevusel. Hoone keskmine õhulekkearv [m³/(h m²)] antakse välispiirete ruutmeetri kohta. Välispiirete pindala arvutatakse sisemõõtude põhjal.

LISA 2

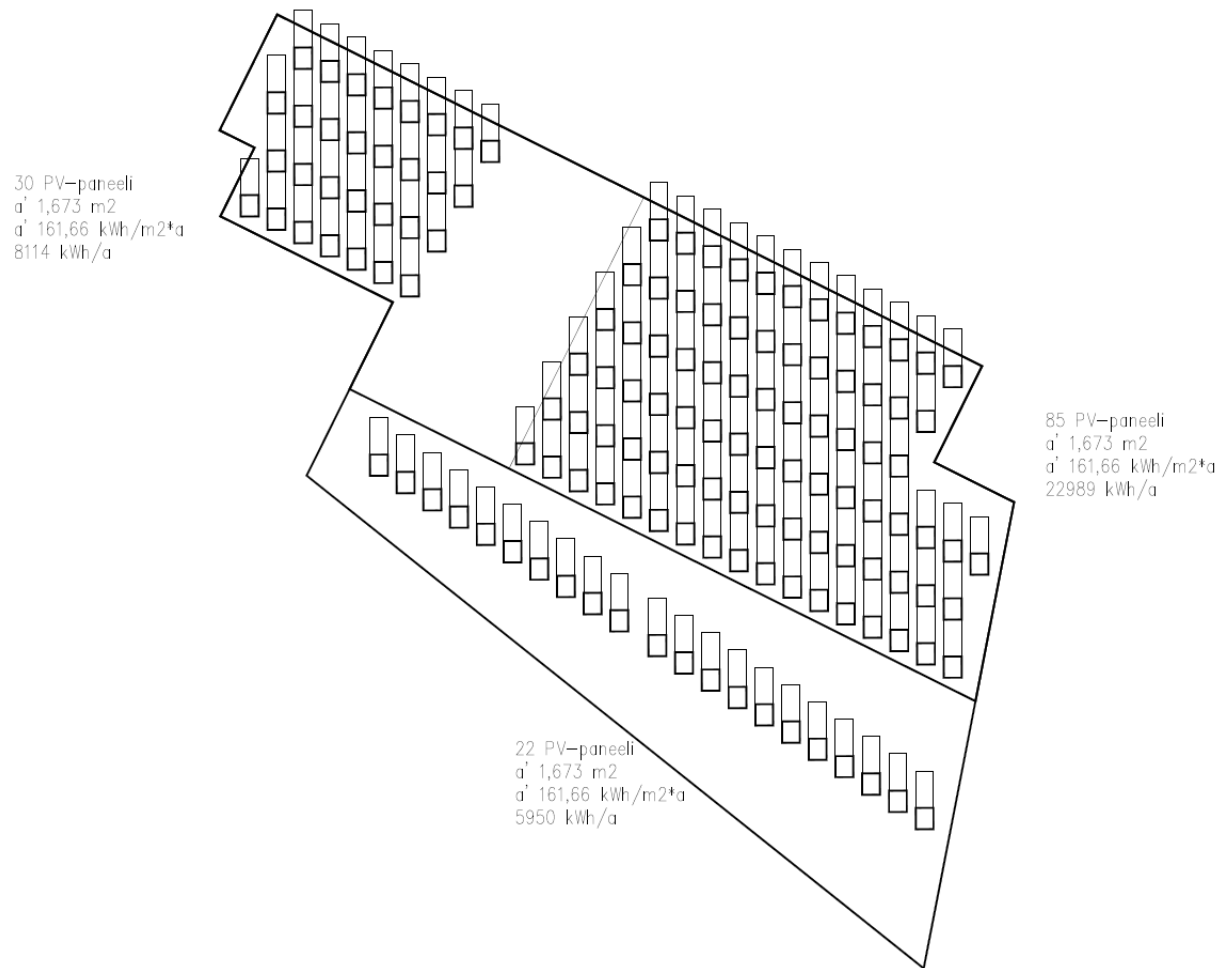
Arvutusnäidetes kasutatud büroohoone lähteandmed



Joonis 9.1. IDA-ICE energiasimulatsiooni arvutusmudel. Allpool on näha büroohoonest modelleeritud esimesed kolm korrust, mille mõõtmed erinevad muudest korrustest. Muudest korrustest on modelleeritud 7. korrus ja ülemine (10.) korrus.

Tabel 9.2 - Arvutusnäite büroohoone pindalad ja muud lähteandmed.

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



Joonis 9.3. PV-paneelide paigutus katusel. Jämejoonega on esitatud 45° nurga all paigaldatud paneelid ning peenjoonega ala, mida nad varjestavad kui päike paistab lõunast 30° nurga all. Näites on kasutatud Schott Poly-Si paneele.

LISA 3

Arhitektuurivõistluste 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 lahendama hakata. Selgelt defineeritud kriteeriumitega võistlustingimused lihtsustavad ka žürii tööd, kuna töid saab hinnata tingimustes defineeritud kvalitatiivsete ja kvantitatiivsete kriteeriumite põhjal. Kuna energiatõhususe olulisi valikuid 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 eelpoolnimetatutele hoone süsinikujalajälje arvutamise ja muid võimalikke kriteeriumeid. Teostamiskõlblikkusele püstitatakse tavaliselt omad nõuded, mis koosnevad tehniliste lahenduste sobivusest külma kliimasse ning tehnilise teostavuse hindamisest eelkõige läbi ehitusmaksumuse ning kasutatud lahenduste mõjust eksploatatsioonile. Selleks esitatakse võistlustingimustes hoone ehitusmaksumuse ülempiir ja antakse indikaatorina sama või lähedase kasutusotstarbega hoone ligikaudne ehitusmaksumus.

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

Võistlustingimused

Kaheetapilistel võistlustel, kuhu oodatakse palju osavõtjaid, tuleb esimese etapi tingimuste tõendamise 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 see on põhjendatud eraldada omaette teostuskõlblikkuse valdkonnaks. Sisuliselt tähendab ehitusmaksumuse hindamine võistlustööde eelarvestamist, mille žürii tavaliselt tellib võistlusega mitte seotud konsultandilt. Suure töömahukuse tõttu on seda otstarbekas teha põhiliselt teise etapi töödele. Esimeses etapis võivad tööd olla ka nii pealiskaudselt esitatud, et täpsem eelarvestamine ei ole võimalik. Ehitusmaksumuse hindamine on probleemne ka võistlusest osavõtjatele, kuna eeldab ehitusturu spetsiifilist tundmist. Selle tõttu pakutakse osadel võistlustel osavõtjatele tasuta teatud arvu tunde eelarvestaja konsultatsiooni.

Selleks, et garanteerida numbriliste nõuete saavutamise võimalikkust, tuleb juba esimese etapi kvalifitseerumistingimused nõuda energiaspetsialisti kaasamist töörühma koosseisu. Kuna vastavad kutsestandardid ei ole veel igal pool välja kujunenud, võib selle nõude esitada üldsõnalisena (näiteks, et isik on osalenud vastava kasutusotstarbe ja raskusastmega hoonete energiatõhususe projekteerimisel). Kuna sadade konkursitööde puhul kipuvad energiaspetsialistid otsa lõppema, siis võib aktsepteerida, et sama energiaspetsialist konsulteerib mitmeid osavõtjaid.

Jätkusuutlikkuse numbriliste nõuete tõendamine eeldab energiasimulatsiooni, tüüpruumide temperatuurisimulatsioone ning hoone materjalide masside arvestust süsinikujalajälje arvutamiseks. Süsinikujalajälje arvutus piiratakse tavaliselt hoone põhikonstruktsioonidega 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 meetodika (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi määruse nr. 63) õigete kohtade lisamisest/tõlkimisest. Kui hoone kasutusotstarve ei ole Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi määruses piisavalt kirjeldatud, siis tuleb lisada detailsemad juhised ruumitüüpide standardkasutuse ja sisekliimanõuete osas. Igal juhul on vaja anda suuniseid hoone tsoneerimiseks energiaarvutuses (milliseid ruumitüüpe tuleb eraldi käsitleda) ning nimetada ruumitüübid, millele nõutakse tüüpruumide temperatuurisimulatsioone.

Süsinikujalajälje arvutusmeetodikast tuleb teha eraldi võistlustingimuste lisa ning ka Exceli tabel arvutuse sooritamiseks teises etapis. Selles lisas defineeritakse hoone osad ja materjalid, mis arvutuses arvesse võetakse ning antakse ka ehitusmaterjalide CO₂ emissioonitegurid, millega teise etappi valitud võistlejad arvutuse sooritavad.

Tõendamine esimeses etapis

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

- hoone välispiirete osade pindalade ja netopinna arvutust, vt. tabel 9.4;
- hoone tehnilise kontseptsiooni skemaatilist esitamist hoone pikilõikel;
- hoone tehnilise kontseptsiooni ja põhilahenduste paarileheküljelist seletuskirja.

Pindalade tabeli täitmise nõue ning tehnilise kontseptsiooni esitamise juhised tuleb lisada võistlustingimustesse, et saada võrdluskõlblikke andmeid. Tingimuste lisana esitatavates tehnilise kontseptsiooni juhistes tuleb kirjeldada, mis lahendused tuleb skeemil esitada (tavaliselt ventilatsioon, jahutus, päikesevarjestus ja energiavarustus). Lisaks tuleb välja tuua tehnilise kirjelduses nõutavate punktide pealkirjad ning lühidalt selgitused nõutavate lahenduste kirjelduse kohta. Pindalade õigsuse tagamiseks oleks kõige parem BIM mudeli kasutamine, 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 etteantud välispiirete soojusläbivusi kasutades ning esitab tulemuse soojuserikaona ruumiprogrammi ruutmeetrite kohta. Seda näitajat kasutades on võistlustöid lihtne võrrelda, sest suuremate soojuskadudega vähemefektiivsed 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 energiatõhusarvu nõue esitada ruumiprogrammi pinna kohta. (Selleks korrutatakse tavapärase köetava pinna kohta esitatud energiatõhusarv 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 arvatud 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, siis tuleb parandusettepanekutes sellele tähelepanu juhtida, et teise etappi tulevas võistlustöös oleks lahendused juba parandatud.

Tabel 9.4 - Hoone pindalade tabel võistlustööde energiatõhususe ligikaudseks hindamiseks. Halli taustaga arvud on ette antud ja kollase taustaga arvud sisestatakse.

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

Sisekliima nõuete täitmise võimalikkust hinnatakse ventilatsiooni, suviste ruumitemperatuuride ja päevavalguse osas. Ventilatsiooni ehk õhu kvaliteedi tagamine selgub ventilatsioonikambrite ja sahtide paigutusest, mis on näha tehnilise kontseptsiooni skeemist. Suviste ruumitemperatuuride hindamisel jälgitakse suuri klaaspindasid ja aknaid ning nende varjestust. Klaaspindade suurus, suund ja varjestused näitavad, kas jahutusvõimsuste, jahutusenergiakasutusega ja sisekliima tagamisega tekib probleeme. Suured klaaspinnad paistavad välja ka soojuserikao näitajast, tehes seda oluliselt 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 nendest 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 esialgselt hinnata keerukamate tööde teostatavust. Kui tekib kahtlus, et antud ehitusmaksumuse korral ei ole mõnda tööd kuidagi võimalik teostada, siis tuleb sellistele töödele koostada esialgne maksumuse kalkulatsioon. Mõningatel juhtudel on kasutatud ehitusmaksumuse väga ligikaudset (ruumitüüpide pindalapõhist koos ligikaudsete lisamaksumuste hindamisega) kalkulatsiooni edasipääsevate tööde ühe valikukriteeriumina. Näiteks võib tellida kalkulatsioonid kümnele parimale tööle, mille seast on kavas valida pooled tööd teise etappi.

Tõendamine teises etapis või kutsutud võistluse puhul

Teises etapi tõendamise all mõistetakse lisaks kaheetapilistele võistlustele ka eelvalikuga võistluste kvalifitseerunud osavõtjate või kutsutud võistluste võistlustöodes toimuvat

tõendamist. Tõendamise teostavad osavõtjad vastavalt energiatõhususe, sisekliima ja süsinikjalajälje 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 toodud tõendamisega. Sellisel juhul eeldatakse näiteks eelvalikust kvalifitseerunud osavõtjate poolt pindalatabeli täitmist ning teostatakse kaudne tõendamine.

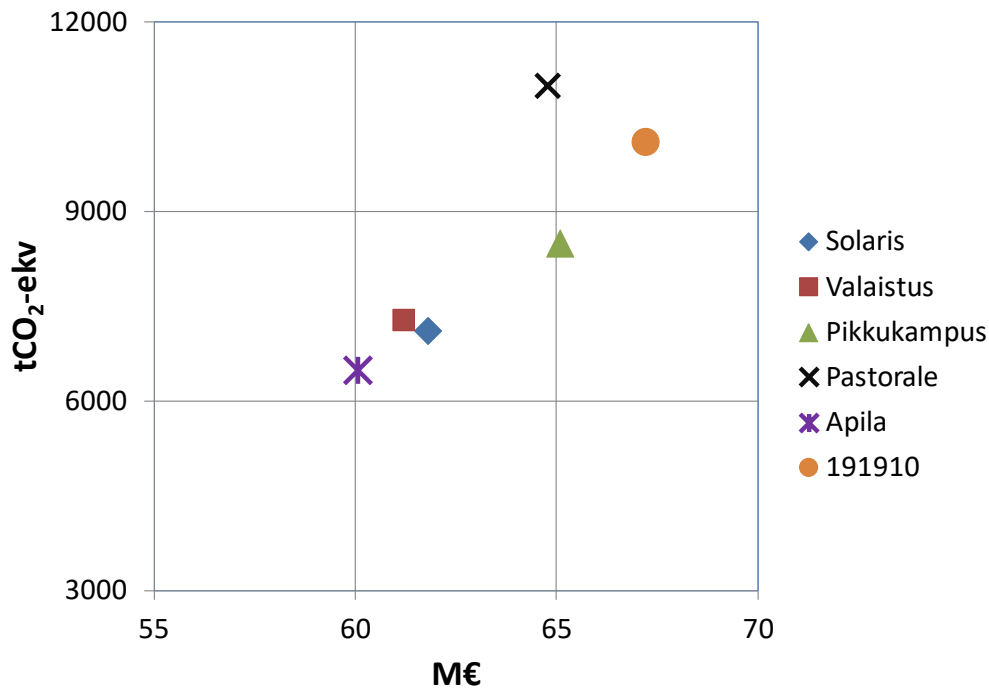
Teises etapi tõendamise puhul tuleb osavõtjatel teha energiasimulatsioon vastavalt esitatud nõuetele ning mõningate tüüpruumide temperatuurisimulatsioonid, mis on vähem tömahukad. Suuremate hoonete puhul võib energiasimulatsioonide tegemine tähendada osavõtja meeskonna energiaspetsialisti kahe nädala tööpanust, kuna simulatsioone tuleb teha mitmeid kordi, alates eskiisi variantidest kuni võistlustöö lõpliku lahenduseni. Kui kirjeldatud energiatõhususe ja sisekliima lisad on arusaadavalt ja piisavalt lihtsalt koostatud, siis reeglina suudavad osavõtjad 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 energiatõhususe liitesse (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 süsinikjalajälje arvutamiseks etteantud Exceli tabeli korral ei ole vaja kaasata eraldi spetsialisti, vaid selle suudavad arhitektid ise ära 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 poolt täidetud materjaliarvutuse tabeli andmete suurusjärkude kontrollimine on suhteliselt lihtne. Ebaloogiliste tulemuste puhul võib olla vajalik sisestatud andmete õigsuse osaline kontroll.

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

Kasutades energiasimulatsiooni tulemusi ja teisendades need süsihappegaaside heitmeteks näiteks 30 või 50 aastasele perioodi jooksul ning lisades sellele ehitusmaterjalide süsinikjalajälje, saadakse hea hinnang hoone kogu elutsükli süsinikjalajäljest. 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 9.5. Kui tavaliselt eeldatakse, et energiatõhususe parandamine ja süsinikjalajälje 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 väikse süsinikjalajäljega. Teise gruppi kuuluvad kolm tööd olid selgelt kallimad ja suurema süsinikjalajäljega. Selle konkursi võidutööks tuli Apila, mis oli edukas ka arhitektuursetes ja funktsionaalsetes kategooriates.



Joonis 9.5 - Helsingi Viikki Synergy hoone arhitektuurikonkursi võistlustööde hindamine hoone elutsükli süsinikujalajälje (30 aasta energiakasutus + ehitusmaterjalid) ning elutsükli maksumuse (ehitusmaksumus + 30 aasta energiakulud) järgi (Kurnitski 2011).

Näitena toodud Synergy võistlusele eelvalikus kvalifitseerunud võistlustöödele maksti igale tööle osalemistasu 40 000 eurot. Lisaks tavapärasele võistluse korraldamise kuludele lisandusid ka ekspertide ja konsultantide tasud.

Kasutatud kirjandus ja allikad

- Allikas: Kurnitski J., Thalfeldt M., Kalamees T., Voll H., Uutar A., Rosin A., Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis. TTÜ
- 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.