

Passiivsete arhitektuuriliste jahutusmeetmete kasutamine ühiskondlike hoonete kavandamisel.
Innovaatiivne lähenemine energiakokkuhoiule. Projekt nr 1.5.0109.10-0060.



**Keskkonnatehnika instituut
KÜTTE JA VENTILATSIOONI ÕPPETOOL**

Passiivsete arhitektuuriliste jahutusmeetmete kasutamine ühiskondlike hoonete kavandamisel. Innovaatiivne lähenemine energiakokkuhoiule

TTÜ KTI kütte ja ventilatsiooni õppetooli dotsent

Hendrik Voll



**Euroopa Liit
Euroopa Sotsiaalfond**



Eesti tuleviku heaks

Passiivsete arhitektuuriliste jahutusmeetmete kasutamine ühiskondlike hoonete kavandamisel.
Innovaatiivne lähenemine energiakokkuhoiule. Projekt nr 1.5.0109.10-0060.

Uurimistöö autor Hendrik Voll tänab Riigikantseleid eraldatud toetuse eest ja loodab, et käesolevast näidismaterjalist on Eesti vabariigi arhitektidele, inseneridele ja konsultantidele kasu nende igapäevases töös.

Sisukord	3
Üldist	4
Sissejuhatus	5
Päevavalguse parameetrid	6
Päevavalgustegur	7
Valgustihedus	7
Päevavalgusautonoomia	8
Insolatsioon	8
Räigus	8
Päevavalguse parameetrite määramine ja illustreerivad näited	9
Päevavalgustegur	9
Insolatsioon	10
Insolatsioon elamutes	11
Insolatsioon ühiskondlikes hoonetes	12
Passiivne arhitektuuriline jahutus	14
Väikese valgusläbivusteguriga klaas	14
Sirmid	16
Isevarjestav fassaad	21
Soojus ja töö – võimsus ja energia	22
Energiatõhusust ja päevavalgust reguleerivad õigusaktid Eestis	23
Probleemi püstitus	24
Energiasimulatsioonid ja otsese päikesekiirguse testid	25
Jahutuskooormuse simulatsioonid	27
Küttekooormuse simulatsioonid	31
Hajuvalguse testid	32
Jahutuskooormus ja päevavalgustegur	36
Küttekooormus ja päevavalgustegur	40
Kütte- ja jahutuskooormus ning päevavalgustegur	41
Päevavalgusautonoomia analüüs	47
Energiatarbe analüüs	50
Kokkuvõte	51
Viited	53

Üldist

Hoone fassaadil ja selle kavandamisel on väga suur mõju nii hoone sisekliimale, tehnosüsteemide soetusmaksumusele kui ka hilisemale energiatarbele. Käesoleva näidismaterjali eesmärk on seletada, kuidas on võimalik läbi päevavalguse kavandamise saavutada hoones hea valguskeskkond, madalam tehnosüsteemide soetusmaksumus ja hilisem hoone energiatarve.

Näidismaterjal koosneb kahest osast. Konspekti esimeses osas on lahti seletatud päevavalgusega seonduv terminoloogia, mis on näidismaterjali teise osa mõistmiseks tarvilik.

Teise osa eesmärgiks on praktilise näite abil selgitada, kuidas on võimalik kavandada madalama elukaaremaksumuse ja piisava loomuliku valgusega ühiskondlikke hooned, millistest kriteeriumidest tuleks selle saavutamiseks lähtuda ning millised on optimaalsed lahendused. Kogu peatükk on üles ehitatud kahe erineva plaaniga 15 m² testruumi analüüsile. Peatükis on tutvustatud minimaalset ja maksimaalset võimalikku aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsiooni, et tagada etteantud nõutud jahutuskoormuse ja päevavalguse tingimused.

Testide läbiviimiseks on kasutatud Tallinna Tehnikaülikooli energia ja sisekliima laboratooriumi. Selles on võimalik testida hooned nii virtuaalselt kui ka teostada teste hoone makettidega. Siinses kirjelduses on tegemist mõlema võimaluse kombinatsiooniga.

Jahutus- ja küttekoormuse arvutused on teostatud, kasutades simulatsiooniprogramme. Otsese päikesekiirguse testideks on kasutatud otsese päikesekiirguse *heliodon*-stendi ja hajuvalguse testideks spetsiaalset pilvise ilma testkambrit. Lõpuks on kõik katsete ja testide tulemused kombineeritud illustreerivatel joonistel.

Sissejuhatus

Arenenud riikide valitsused on seisukohal, et energia tarbimisel on oluline mõju kliimale ning et energia tarbimist tuleb riikidevaheliste lepetega reguleerida ja tõhustada. Euroopa Liidu (EL) liikmena on Eestil kohustus rakendada ühist energiapoliitikat. Euroopa Liidu energiapoliitika tegevuskava üheks olulisemaks eesmärgiks on saavutada vähemalt 20% efektiivsem energia kasutamine primaarenergia lõpptarbimises aastaks 2020.

Majandusministeeriumi hinnangul, arvestades Euroopa Liidu energiapoliitikas sisalduvat eesmärki vähendada aastaks 2020 primaarenergia kasutust 20% võrra, väheneks Eesti majanduse kulud energiakasutuse efektiivsuse paranemisest tulenevalt ca 4,15 miljoni euro ulatuses aastas.

Samas on äärmiselt tähtis, et elamusektori energiasäästu ei saavutataks hoonete sisekliima arvelt. Sotsiaalministeeriumi hinnangul kulutab Eesti riik keskmiselt umbes 5 miljonit eurot aastas, tegelemaks halvast sisekliimast (sealhulgas valgusräigusest jm) põhjustatud nn haige hoone sümptomite tagajärgedega (allergiad, vähkkasvajad, puudunud tööpäevad jm).

Kuulus Taani teadlane P. Ole Fanger on öelnud, et äärmiselt lihtne on ehitada madala energiatarbega hooneid, samuti nagu on äärmiselt lihtne ehitada hea sisekliimaga hooneid. Samas on Fanger korduvalt toonitanud, et nende kahe komponendi hea koostoimimine on suur väljakutse, mis nõuab piirkonniti (riigiti) individuaalset lähenemist.

Iga hoone kavandamise ja/või renoveerimise prioriteetid peaksid olema, et hoone sisekliima ei mõjuku negatiivselt inimese tervisele, heaolule ega produktiivsusele ja et kavandatav või renoveeritav hoone oleks samas ka võimalikult madala esmainvesteeringu ja energiatarbega. Tähtsad on ka muud hoonega seotud nõuded nagu hoone esteetiline välimus, ökoloogiline efektiivsus, lihtne kasutamine jm, ent nende täitmine ei tohiks kunagi tulla esimestena mainitud nõuete arvelt.

I nimeste tervis sõltub järgmistest sisekliima komponentidest:

- ohtlikud gaasid
- ohtlikud osakesed

I nimeste heaolu (tegevuse eeldused) ja produktiivsus sõltuvad järgmistest sisekliima komponentidest:

- soojuslik e termiline sisekliima
- valgus
- müra
- ionisatsioon
- elektromagnetväljad

Kokkuvõtlikult peaks iga kas juba ehitatud või alles kavandamisel olev hoone sisekliima seisukohalt arvestama kõigi tabelis 1 esitatud sisekliima põhi- ja alamkomponentide võrdse tähtsusega.

Tabel 1 Hoone sisekliima komponendid

<p><u>Termiline sisekliima</u></p> <p>Õhutemperatuur (kuiva/märja termom.)</p> <ul style="list-style-type: none"> • alumine piir °C (elamud ja ühisk. hooned) • ülemine piir °C (ainult ühisk. hoonetes) <p>Ruumi pindade temperatuur</p> <p>Operatiivne temperatuur</p> <p>Optimaalne operatiivne temperatuur</p> <ul style="list-style-type: none"> • alumine piir °C • ülemine piir °C <p>Õhu liikumise kiirus, “tõmbus”.</p> <ul style="list-style-type: none"> • soojakiirgus • õhu temperatuur ja liikumiskiirus <p>Õhu niiskus (suhteline niiskus)</p> <ul style="list-style-type: none"> • alumine piir % • ülemine piir % • niiskusprobleemid • niiske õhu h-x diagramm <hr/> <p>Õhu kvaliteet (IAQ)</p> <ul style="list-style-type: none"> • saastavate gaaside sisald. ruumiõhus ppm • osakeste sisaldus ruumiõhus • CO₂ indikaator (ventilatsioon ja filtrid) 	<p>Valgus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Päevavalgus/elektrivalgustus <ul style="list-style-type: none"> - päikesevalgus - hajuvalgus - valgustihedus - rägus - värvispektrum - heledusjaotus - kontrast ja valguse suund - päevavalgustegur <p>Müra</p> <ul style="list-style-type: none"> • heli, • helisagedus Hz • helitugevus dB • müra db <ul style="list-style-type: none"> - kõrgeim müratase dB(A), • vibratsioon(id) <p><u>Teised sisekliimat määravad komponendid</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ionisatsioon, • elektromagnetväljad
---	---

Nii arhitektidele kui ka inseneridele on hoonete kavandamisel üheks suurimaks proovikiviks sisekliima komponendi, loomuliku valguse ehk päevavalguse mõistmine. Selles, et päevavalgus annab hoonetele unikaalse mitmekülguse ja muudab selle huvitavaks, ei kahtle ilmselt keegi. Samuti on teaduslikult tõestatud, et hooned, milles on edukalt kasutatud päevavalgust, tõstavad töötajate produktiivsust, vähendavad töölt puudumist ja parandavad kooliõpilaste õppeedukust. Inimesed naudivad hästi valgustatud ruume, soovivad viibida nendes ruumides kauem ja tihedamini naasta [1]. Samuti mõjutab loomuliku valguse projekteerimine – mis suuresti tähendab aknaid, nende suurust, kvaliteeti, paiknemist ilmakaarte suhtes ja kaitset otsese päikesekiirguse eest – nii hoone kui ka selle tehnosüsteemide (kütte- ja jahutusvõimsus) esmamaksumust ning hilisemat energiatarvet. Seega võib pidada loomuliku valguse kavandamist, nii otseselt kui ka kaudselt, võtmelemendiks madala energiatarbega hoone kavandamisel. Järgnevalt on antud põhjalikum ülevaade päevavalguse olemusest, terminitest ja nende analüüsi meetoditest.

Päevavalguse parameetrid

Päevavalgus koosneb päikese- ja taevavalguse kombinatsioonist. Päikesevalgus on otsese päikesekiirguse nähtav osa ehk otsene päikesekiirgus, millel on selge suund. Taevavalgus on taeva hajuskiirguse nähtav osa, millel selge suund puudub. Lihtsustatult võib öelda, et otsene päikesekiirgus tekitab esemetele

varju, hajuskiirgus aga mitte. Samamoodi jaotatakse nõuded päevavalgusele kaheks:

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

Päevavalgustegur

Päevavalgustegur D

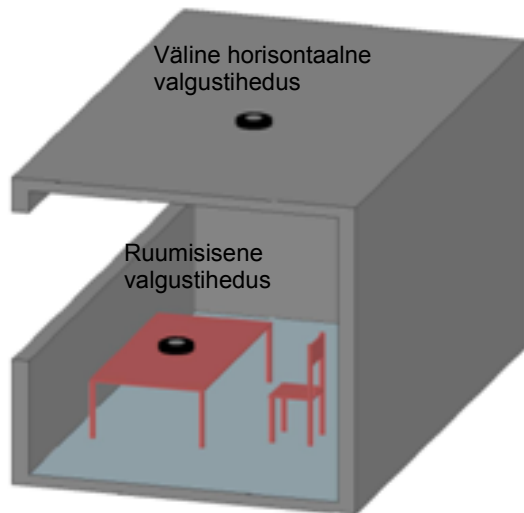
$$D = \frac{\text{Ruumi sisene valgustihedus}}{\text{Välise horisontaalse valgustihedus}} \cdot 100$$

Päevavalgustegur on ruumisisesest ja -välisest horisontaalsest valgustihedusest suhe. Päevavalgusteguri arvutamisel eeldatakse, et taeval on standardse pilvkatteta taeval iseloomulik heledusjaotus, st taevas on pilvkatteta täielikult kaetud.

Loomuliku valguse kriteeriumiks ruumis on päevavalgustegur D:

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

Päevavalgusteguri mõõtmisel/arvutamisel on eeldatud, et otsese päikesekiirguse mõju sisesele ja välisele valgustihedusele on välistatud. Seda illustreerib joonis 1.



Joonis 1

Päevavalgusteguri põhimõte: päevavalgustegur on ruumisisesest ja -välisest horisontaalsest valgustihedusest suhe.

Valgustihedus

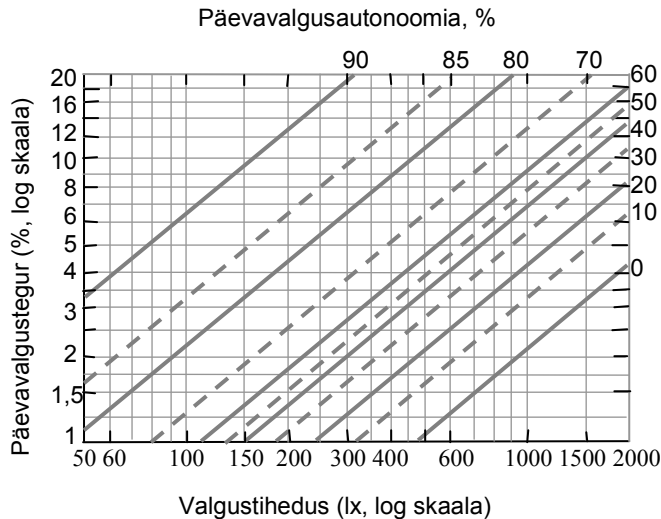
Valgustihedus on antud punkti sisaldavale pinnaelemendile langeva valgusvoo ja selle elemendi pindala jagatis. Valgustiheduse ühik on luks, lx.

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 [2].

Päevavalgusautonoomia

Päevavalgusautonoomia on see osa aastast, mil etteantud sisemist valgustihedust tööpäeva vältel ületatakse. Päevavalgusteguri valgustiheduse ja päevavalgusautonoomia vaheline sõltuvus on näidatud joonisel 2.



Joonis 2

Aastane päevavalgusautonoomia Tallinnas kell 9.00–17.00.

Näide:

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.

Insolatsioon

Insolatsioon tähendab sisuliselt otsest päikesekiirgust. Aega, mille jooksul päikesekiired pääsevad ruumi, nimetatakse insolatsiooni kestuseks.

Räigus

Räigus on nägemisolukord, mis tundub ebamugav või mille tagajärjel esemete nähtavus halveneb. Räigus võib olla tingitud heleduse ebasoodsast jaotusest, liigsest heledusest või liiga suurtest kontrastidest.

Päevvalguse parameetrite määramine ja illustreerivad näited

Päevvalgustegur

Päevvalgustegurit on võimalik arvutada, kasutades selleks ette nähtud simulatsiooniprogramme nagu IES, EnergyPlus, Radiance jt või spetsiaalset hajuvalguse testkambrit.

Ameerikas on selliseid testkambrid 15, Euroopas 11. Üks neist asub Tallinna Tehnikaülikooli energia ja sisekliima laboratooriumis.

Tallinna Tehnikaülikoolis 2009. aastal valminud hajuvalguse mõõtmise testkamber on kuubikujuline, mõõtmetega $2,25 \times 2,25$ meetrit ja kõrgusega samuti 2,25 meetrit. Testkambril seinad on seest kaetud peeglitega, laes on valgust läbi laskev membraan, mille kohal asuvad valgusallikad. Fotol 1 on näidatud Tallinna Tehnikaülikooli energia ja sisekliima labori hajuvalguse analüüsimise testruumi sisevaade.



Foto 1

TTÜ energia ja sisekliima labori hajuvalguse analüüsimise testruumi sisevaade.

Testkambris mõõdetakse päevvalgustegurit spetsiaalsete andutitega. Üks andur, mis mõõdab välist horisontaalset valgustihedust, asetatakse hoone maketi katusele ja ülejäänud andurid paigutatakse maketi sisemusse, vaata fotot 2.

Sisemisi andureid liigutatakse maketi sees vastavalt töötsooni suurusele. Kõik lugemid fikseeritakse logeris, mis edastab info automaatselt logeriga ühendatud arvutisse.

Hajuvalguse nõuded on Eesti Vabariigis esitatud nii elamutele kui ka ühiskondlikele hoonetele.



Foto 2

Päevavalgusteguri mõõtmise põhimõtte TTÜ energia ja sisekliima labori hajuvvalguse testkambris.

Insolatsioon

Insolatsiooni ja selle kestust saab analüüsida, kasutades erinevaid graafilisi meetodeid või simulatsiooniprogramme nagu Ecotect, IES, EnergyPlus jt. Samaselt on võimalik insolatsiooni ja selle kestust uurida spetsiaalsel *heliodon*-päikesestendil. Nimetatud *heliodon*-stend asub ka Tallinna Tehnikaülikooli energia ja sisekliima laboris. Lisaks insolatsiooni analüüsile võimaldab *heliodon*-stend lihtsalt ja kiirelt analüüsida ka hoonete välissirmide ehk passiivse arhitektuurilise jahutuse dimensioneerimist.

Tallinna Tehnikaülikooli energia ja sisekliima laboratooriumi *heliodon*-stend, mis valmis 2010. aastal, on 1,1 m² suurune ruudukujuline pind, mida on võimalik kasutada analüüsivaks päikesekiirgust hoonetes erinevatel laiuskraadidel, aasta- ja kellaaegadel. Päikesestendi juurde kuulub prožektor/valgusallikas ja peegel, mis peegeldab prožektorist tuleva valgusjoa päikesestendile kinnitatud hoone maketile.

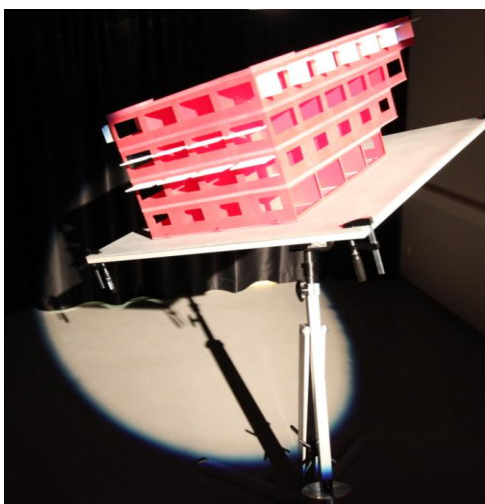


Foto 3

TTÜ energia ja sisekliima labori päikesestend otsese päikesekiirguse analüüsimiseks koos õppemaketiga.

Insolatsioon elamutes

Planeeringute koostamisel tuleb hoonete asukoht ja orientatsioon valida selliselt, et eluruumides oleks kindlustatud vähemalt kolmetunnine katkematu insolatsioon päevas ajavahemikul 22. aprillist kuni 22. augustini. Foto 4 näitab insolatsiooni analüüsi otsese päikesekiirguse *heliodon*-stendil. Selle näite puhul on insolatsiooni kestuse nõue 3 tundi tagatud.

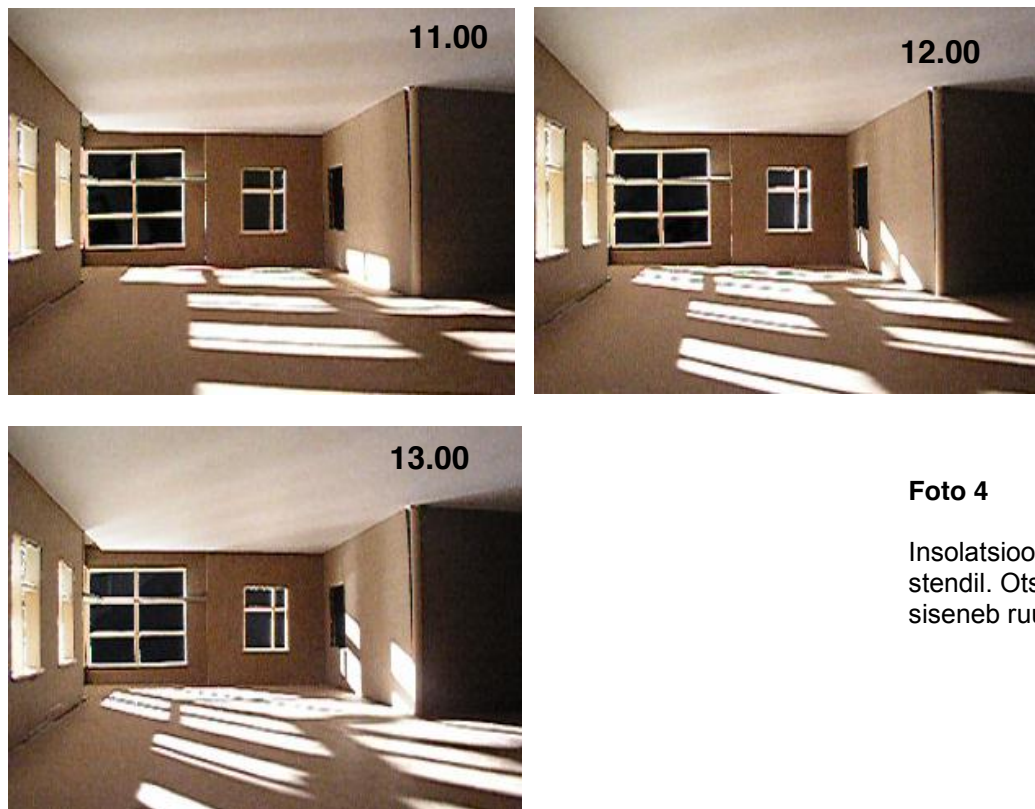


Foto 4

Insolatsiooni analüüs *heliodon*-stendil. Otsene päikesekiirgus siseneb ruumi kolme tunni vältel.

Kõrghoonestuse puhul on lubatud insolatsiooni ühekordne katkestus, seejuures tuleb summaarset rahuldava insolatsiooni kestust pikendada 3,5 tunnini ja üks ajalõikudest peab kestma vähemalt 2 tundi. Päikesekiirgus läheb insolatsioonina arvesse, kui päikese tõusunurk on vähemalt 6 kraadi ja nurk päikese asimuudi ning vaadeldava fassaadi vahel on vähemalt 10 kraadi. Vaatluspunkt asub seina välispinnal, akna keskel, 90 cm kõrgusel ruumi põrandast [3].

Kuni kolmetoaliste korterite puhul peab kolmetunnine insolatsioon olema kindlustatud vähemalt ühes toas, suuremate korterite puhul kahes toas. Elamute põhja-lõunasuunalise orientatsiooni puhul, kus päike saab paista kõikidesse tubadesse, on lubatud rahuldava insolatsiooni piirnormi vähendada 2,5 tunnini.

Elamute/eramute kavandamisel tuleks kasutada nii otsest päikesekiirgust kui ka haj valgust, foto 5. Juhul kui otsene päikesekiirgus häirib, võib erinevalt ühiskondlikest hoonetest alati istuda mujale. Ühiskondlikes hoonetes, eeskätt kontorites ja koolides, selline võimalus puudub.



Foto 5

Elamute kavandamise
põhimõtte päevvalguse
seisukohalt.

Insolatsioon ühiskondlikes hoonetes

Tihti võib kuulda arvamust, et suur klaasi osakaal ühiskondlike hoonete fassaadide pinnas tähendab automaatselt päevvalgusküllaseid ruume. Samas võib tegelikus elus igapäevaselt täheldada, et nendel suurte klaaspindadega hoonetel on kardinad akendele ööpäevaringselt ette tõmmatud ja ruume valgustab tehisvalgustus.

Ühiskondlike hoonete, eriti just kontorite kavandamisel tuleks hea päevvalgustuse huvides blokeerida otsene päikesekiirgus, kuid projekteerida fassaad nii, et see võimaldaks ära kasutada võimalikult palju hajuvalgust. Samuti on ühiskondlike hoonete ratsionaalse jahutus- ja küttekoormuse ning energiatarbe saavutamisel väga tähtis kujundada hoone fassaadid selliselt, et kevadsuvisel ajal oleks insolatsiooni kestus minimaalne. Ühiskondlike hoonete kavandamise põhimõtte on illustreeritud fotol 6.

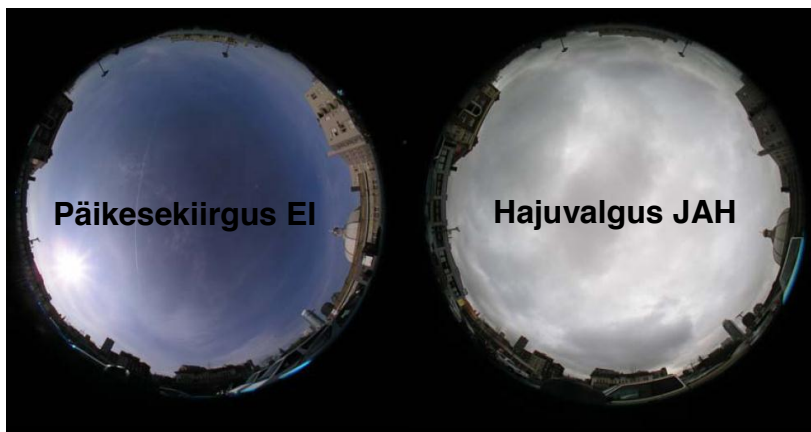


Foto 6

Ühiskondlike hoonete,
eeskätt kontorite ja
koolide, kavandamise
põhimõtte päevvalguse
seisukohalt.

Juhul kui seda rusikareeglit ühiskondlike hoonete kavandamisel ei järgita, siseneb otsene päikesekiirgus ruumi ja tekitab valgusräigust. Otsese päikesekiirguse liigsest heledusest tingitud räguse ilmingut on kujutatud fotol 7, millel on näha, kuidas otsene päikesekiirgus häirib töötgemist.

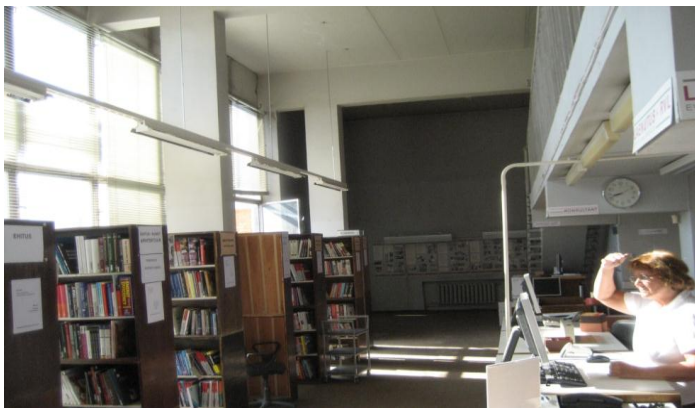


Foto 7

Otsese päikesekiirguse potentsiaali mittemõistmine, näide Tallinnast.

Olukorra parandamiseks blokeeritakse tavaliselt otsene päikesekiirgus kardinatega. Ette tõmmatud kardinad piiravad hajuvalguse pääsemise ruumi ja ruumi valgustihedus ei ole tööülesannete täitmiseks piisav. Tehisvalgustus lülitatakse sisse. Tehisvalgustus eraldab soojust ja suletud kardinad ei elimineeri otsesest päikesekiirgusest tulevat soojust täielikult, vaid pigem salvestavad selle, hakates omakorda toimima väikese kütteleemendina. Paigaldatud jahutusvõimsus ei suuda tihti olukorda lahendada, ruumi temperatuur tõuseb ja inimestel hakkab palav. Ruumiõhu liiga kõrge temperatuuri tõttu langeb töötajate produktiivsus ja inimesed ei ole hoone sisekliimaga rahul. Kirjeldatud olukorda iseloomustab foto 8.

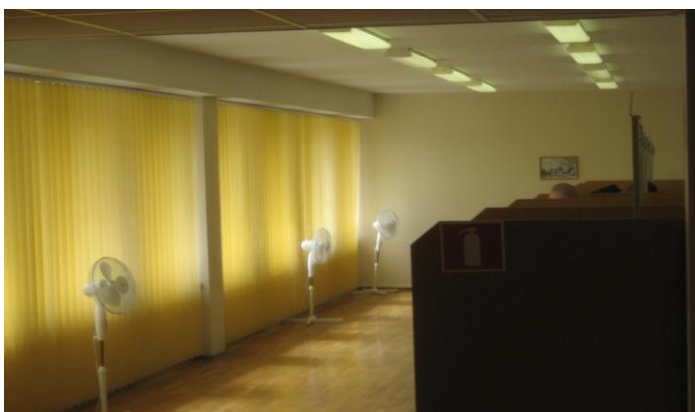


Foto 8

Otsese päikesekiirguse potentsiaali mittemõistmise „tulemus”, näide Tallinnast.

Rootsis Lundi ülikoolis on uuritud kontoritöötajate käitumist otsese päikesekiirguse suhtes. Uurimistöö tulemused näitasid, et ruumides, kus ei esinenud otsesest päikesekiirgusest tingitud rägust, olid kardinad pidevalt avatud, tubades, kus esines rägust, olid kardinad ette tõmmatud. Leiti, et esimesel kahel kuul on kontoritöötajad päevavalguse ja vaate nimel nõus kardinaid reguleerima vastavalt otsese päikesekiirguse mõjule, hiljem aga loobuvad sellest ja jätavad kardinad konstantselt ette. Ka Tallinnas on mitmeid näiteid kontoritest, eeskätt just kontorihoonete lõuna- ja läänefassaadidest, kus kardinad on aasta ringi ette tõmmatud (vaata fotot 9). Ülemine foto on võetud pilvise ilmaga ja alumine päikesepaistelise ilmaga, fotode tegemise intervall oli kolm nädalat. Nagu fotodelt näha, pole aknakatteid liigutatud. Klaasi osakaal on aga fassaadi energeetilisest seisukohast lähtuvalt kõige nõrgem osa.



Foto 9

Otsese päikesekiirguse tõttu on kontorihoone kardinad aasta ringi ette tõmmatud. Ülemine foto on tehtud pilvise taevaga ilmaga, alumine selge taeva tingimustes.



Üks võimalus „suletud kardinade ilmingut” ennetada on välisvarjestuse kavandamine. Juhul kui hoone fassaadi kavandatakse eesmärgiga otsesest päikesekiirgust blokeerida, nimetatakse seda passiivseks arhitektuuriliseks jahutuseks.

Passiivne arhitektuuriline jahutus

Passiivset arhitektuurilist jahutust kasutatakse enamasti selleks, et vältida ühiskondlike hoonete ülekütmist tingituna otsesest päikesekiirgusest ja samuti ennetamaks räguse probleeme, mida otsene päikesekiirgus võib esile kutsuda. Siinkohal vaatleme mõnda passiivse arhitektuurilise jahutuse võimalust lähemalt. Ühtlasi tasub toonitada, et iga projekt on omamoodi unikaalne ning absoluutselt igale projektile sobilik üks ja ainuõige kuldne kesktee puudub. On erinevad võimalused ja lahendused, millel kõigil on oma head ja vead.

Väikese valgusläbivusteguriga klaas

Akna valgusläbivustegur iseloomustab seda valguse hulka, mis läbib akna ja jõuab ruumi. Kui näiteks akna valgusläbivustegur on 0,4, siis tähendab see seda, et 40% aknaklaasile jõudnud valgusest läbib klaasi ja jõuab ruumi, 60% aga peegeldub aknalt tagasi. Väikese valgusläbivusteguriga klaasi kasutamine on laialdaselt rakendatav meetod ja ilmselt enimkasutatud passiivne arhitektuuriline lahendus Eesti tingimustes. Fotol 10 on näitena kujutatud kontorihoone Tallinnas Pärnu maanteel.



Foto 10

Väikese
vaguslääbivus-teguriga
kontorihoonel
Tallinnas Pärnu mnt

Samas tuleb tähelepanu pöörata, et toonitud klaaside kasutamine võib mõjutada erinevate värvuste tajumist. Väljas paistvad värvitoonid võivad tunduda moonutatud – eriti siis, kui ruumist välja on võimalik vaadata samaaegselt läbi erinevat tüüpi klaaside. Kui põhiliseks valgusallikaks on toonitud klaase läbiv valgus, võivad ruumis olevate objektide värvused tunduda teistsugused, ilma et vaataja sellest teadlik oleks. Kui ohutuse või tööülesannetega seotud asjaolud nõuavad värvitoonide õiget tuvastamist, tuleb toonitud klaasist materjalide kasutamisse suhtuda ettevaatlikult.

Teatud tugevasti toonitud klaasid võivad mõjutada vaadet hoonest välja. On täheldatud, et kui klaasi valguslääbivustegur langeb alla 0,25, loeb suur osa hoonet kasutavatest inimestest vaadet välja ebapiisavaks. Samuti võib suur klaaspind tekitada teatud tingimustel ebameeldivaid peegeldusräiguse ilminguid naabermajadele. Fotol 11 on kujutatud kontorihoonel illustreerimaks otsesest päikesekiirgusest ja fassaadi suurest klaaspinnast tingitud peegeldusräigust.



Foto 11

Peegeldusräiguse
ilmingud
kontorihoonel

Samuti tasub äärmise ettevaatlikkusega suhtuda suurte kumerate või nõgusate klaaspindade kavandamisse. Nimetatud lahendustel võivad teatud tingimustes olla ettearvamatud tagajärjed.

Sirmid

Sirmid päikesekiirguse blokeerimiseks on enim kasutatud ja tuntud passiivse arhitektuurilise lahenduse liike. Sirmidel on väga palju erinevaid võimalusi, need võivad olla staatilised või mehaaniliselt liigutatavad vastavalt vajadusele. Foto 12 illustreerib erinevaid välissirmide lahendusi.

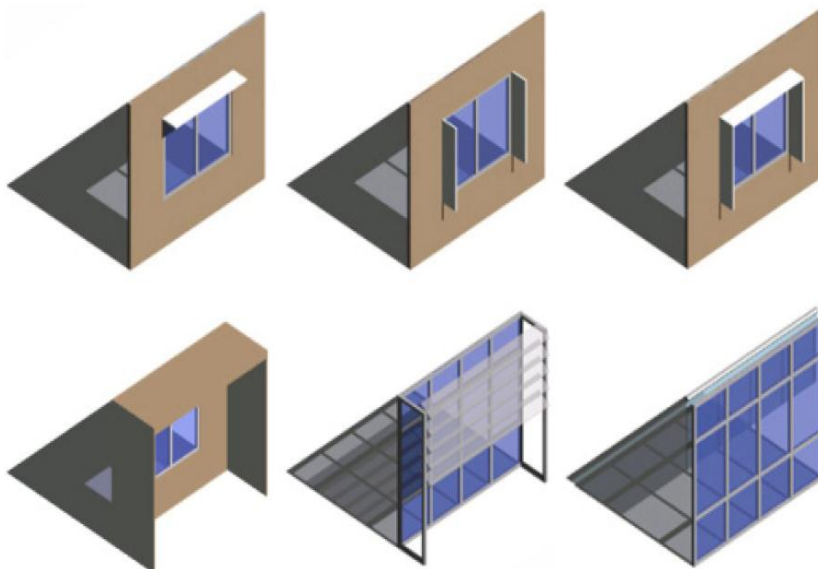
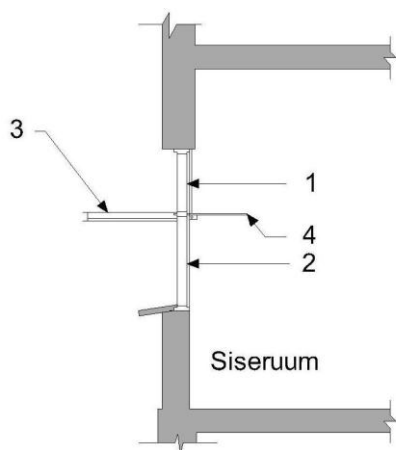


Foto 12

Näide erinevatest fassaadi sirmide kavandamise meetoditest

Üks huvitav aknavarjestustüüp on päevavalgusaken. Selle iseärasus seisneb omaduses blokeerida otsese päikesekiirguse jõudmine töösooni, ent lasta teatud määral loomulikku valgust ruumi, vähendades seega tehisvalgustuse sisselülitamise vajadust [5].

Päevavalgusaken on põhimõtteliselt välissirmist ja sisemisest „valgusriiulist“ koosnev välisvarjustuste konstruktsioon (näidatud joonisel 3). Kuna seda varjestuslahendust analüüsitakse ka edaspidistes näidetes, vaatame selle konstruktsiooni pisut täpsemalt. Päevavalgusakna välissirmi (joonisel tähistatud numbriga 3) ja sisemise valgusriiuli (tähistatud numbriga 4) pikkus kokku on tavaliselt võrdne vaateakna (nr 2) ja valgusakna (nr 1) kõrgusega. Samuti on välissirmi pikkus tavaliselt võrdne vaateakna kõrgusega ja valgusriiuli pikkus valgusakna kõrgusega.



Joonis 3

Päevavalgusaken.
Nr 1 – valgusaken.
Nr 2 – vaateaken.
Nr 3 – välissirm.
Nr 4 – sisemine valgusriiul.

Foto 13 on näidatud päevavalgusakent praktikas, kooli lõunafassaadil.

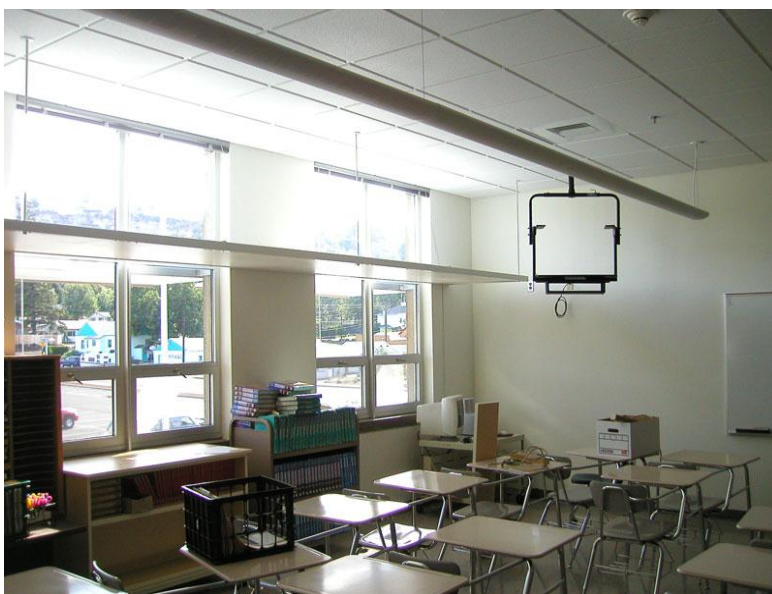


Foto 13

Päevavalgusaken kooli lõunafassaadil.

Valgusaknal kasutatakse üldjuhul madalat aknaklaasi päikeseläbivustegurit 0,4 või veelgi efektiivsema. Vaateaknal võib kasutada vähem efektiivset aknaklaasi päikeseläbivustegurit. Tavaliselt kasutatakse vaateaknal hea läbipaistvusega aknaklaase, päikeseläbivusteguriga 0,5–0,6.

Kuna antud sirmittüüp on üle maailma leidmas üha laialdasemat kasutust hoonete varjestamisel, otsustas näidismaterjali autor töö teises osa kasutada päevavalgusakna kontseptsiooni kui passiivse arhitektuurilise jahutuse elementi. Järgnevalt on esitatud analüüs päevavalgusakna sobilikkusest otsese päikesekiirguse blokeerimisel Eesti tingimustes.

Foto 14 seletab *heliodon*-stendil teostatud otsese päikesekiirguse teste. On näha, kuidas vasakul pildil olev tuba, mis on konstrueeritud ilma päikesevarjestuseta, on otsesest päikesekiirgusest mõjutatud, aga parempoolses toas, kuhu on kavandatud päevavalgusaken, on otsese päikesekiirguse sisenemine töötsooni blokeeritud.

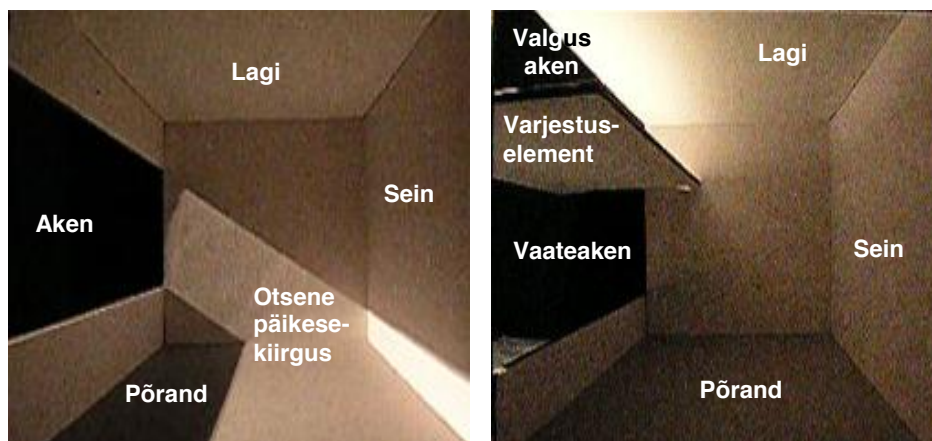


Foto 14

Otsese päikesekiirguse testid. Vasakul tavaline aken, paremal päevavalgusaken.

Foto 15 näitab otsese päikesekiirguse mõju hoone ida-, lõuna- ja läänefassaadile 21. juunil kella 08.00–17.00. Võrreldud on tavalist ja päevavalgusakent. Pildilt on näha, kuidas päevavalgusaken suudab idasuunal blokeerida otsese päikesekiirguse kella 09.00–11.45, lõunasuunal kella 09.00–16.00 ja läänesuunal kella 13.00–16.00.

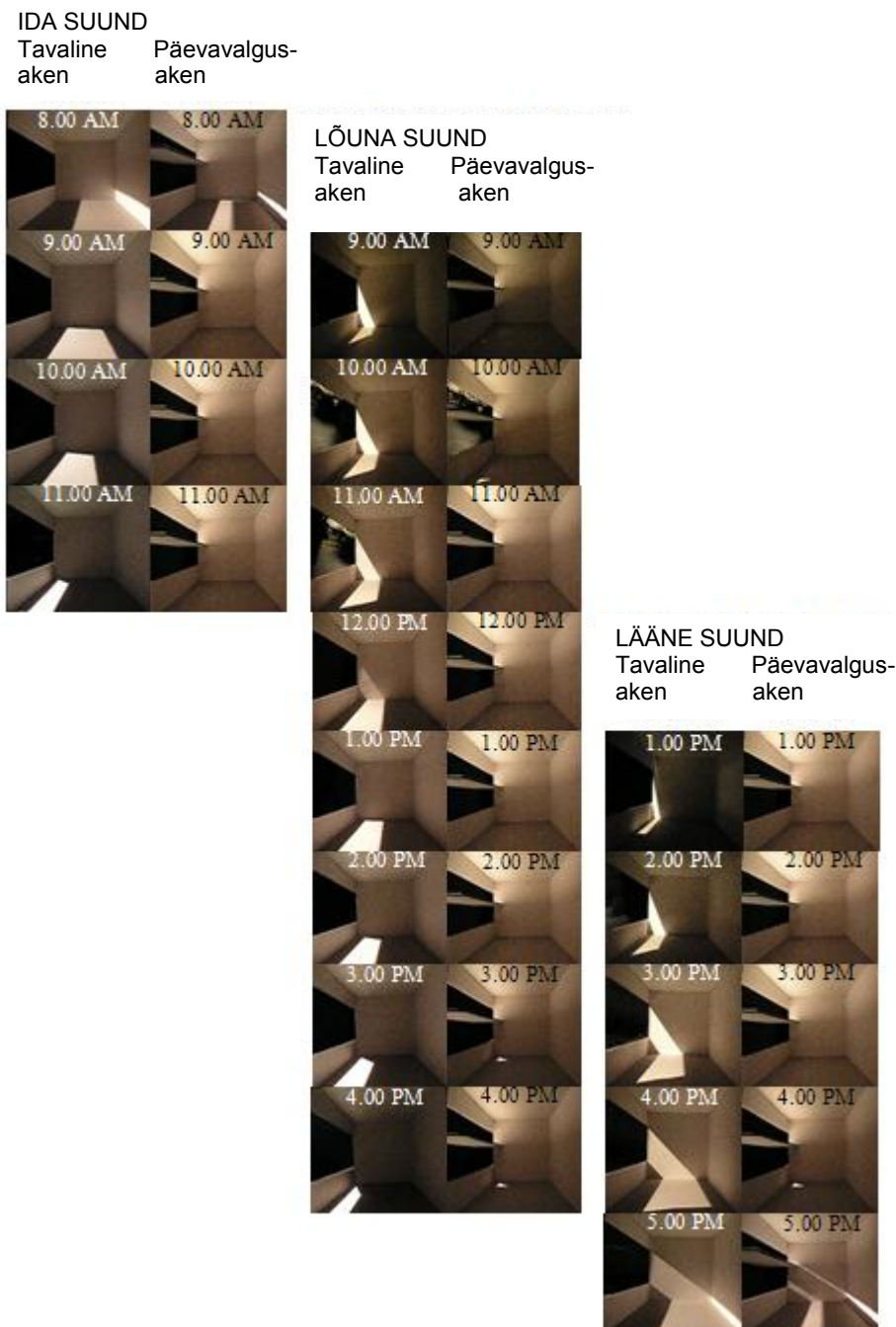


Foto 15

Otsese päikesekiirguse mõju tavalise akna ja/või päevavalgusaknaga ida-, lõuna- ja läänefassaadile 21. juunil kella 08.00–17.00.

Foto 16 näitab otsese päikesekiirguse mõju hoone lõunafassaadile 21. juunil, 21. septembril ja 21. detsembril kell 09.00–16.00.

Passiivsete arhitektuuriliste jahutusmeetmete kasutamine ühiskondlike hoonete kavandamisel. Innovaatiivne lähenemine energiakokkuhoiule. Projekt nr 1.5.0109.10-0060.

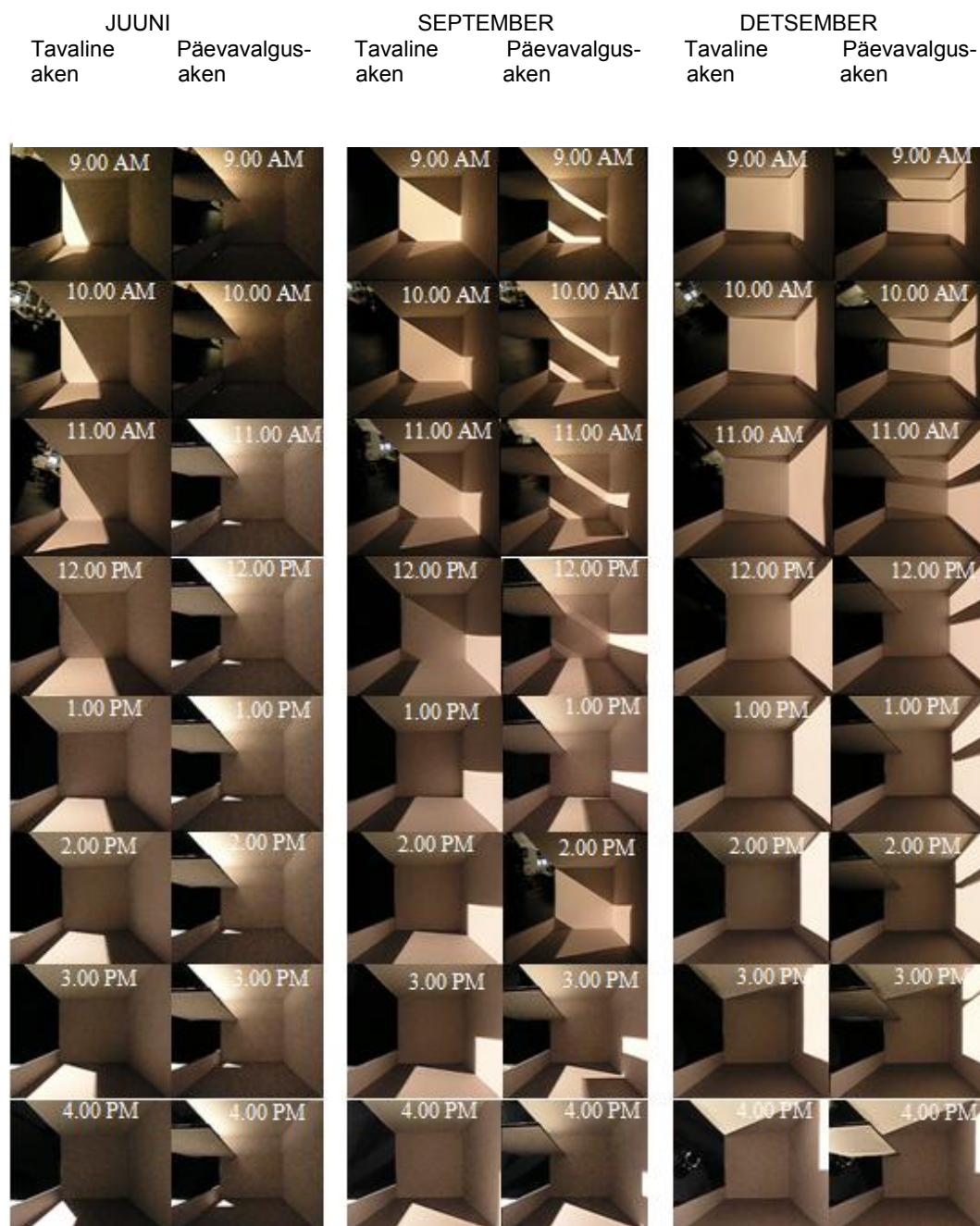


Foto 16

Otsese päikesekiirguse mõju tavalise akna ja/või päevavalgus-aknaga fassaadile 21. juunil, 21. septembril ja 21. detsembril kell 9.00–16.00.

Päevavalgusakna otstarbekus ühiskondlikel hoonetel Eesti tingimustes on kokku võetud alljärgnevalt.

Idafassaad

Otsene päikesekiirgus hakkab idafassaadi mõjutama alates päikesetõusust ja mõjutab ligikaudu kella 11.45-ni. Idafassaadil blokeerib päevavalgusaken otsese päikesekiirguse kella 09.00–11.45 ja seda aprillist kuni septembrini. Tuleb arvestada, et päevavalgusaken ei blokeeri otsest päikesekiirgust idafassaadil septembrist aprillini.

Lõunafassaad

Otsene päikesekiirgus hakkab lõunafassaadi mõjutama alates kella 09.00-st ja mõju lõppeb kell 16.00. Päevavalgusaken suudab blokeerida otsese päikesekiirguse selles ajavahemikus aprillist kuni septembrini. Sellest johtuvalt võiks kindlasti kaaluda lõunafassaadi varjestust kas päevavalgusakende või mõne teise varjestusmeetodi abil.

Läänefassaad

Otsene päikesekiirgus hakkab läänefassaadi mõjutama alates kella 13.00-st. Kontoritöötajate jaoks peaks mõju lõppema tööpäeva lõpuga, orienteeruvalt kell 17.00. Päevavalgusaken blokeerib otsese päikesekiirguse läänefassaadil aprillist septembrini kella 13.00–16.00. Samuti peab arvestama, et päevavalgusaken ei blokeeri otsest päikesekiirgust septembrist aprillini. Välisvarjestust võiks kaaluda olukorras, kui ruume ei kasutata pärast kella 16.00. Sellises olukorras oleks läänesuunale paigaldatud välisvarjestuse potentsiaal võrreldav lõunasuunaga.

Eeskätt just vanematel kontorihoonetel võiks olla heaks lahenduseks kasutada teisaldatavaid välissirme, mis paigaldatakse suvekuudeks otsese päikesekiirguse blokeerimiseks ja võetakse taas sügisel maha. Lahendus on rahvusvahelisel tasandil vägagi populaarne, kasutusel näiteks ka Helsingi linnavalitsushoone välisvarjestusena, Eestis aga hetkel veel pigem tuntuks kogumas. Ühe näitena võib siinkohal tuua Tallinna Terviseameti kontori Paldiski maanteelt, foto 17, mille lõunafassaadi päikesevarjestusena on suvekuudel kasutatud teisaldatavat välisvarjestust.



Foto 17

Teisaldatavad välissirmid
Tallinna Terviseameti
kontoril

Lahenduse korral tuleb jälgida, et välisvarjestuse materjal ei oleks heledast peegeldavast materjalist. Peegeldav materjal võib teatud tingimustes põhjustada rägust.

Isevarjestav fassaad

Isevarjestava fassaadi kavandamiseks on mitu varianti. Esimeseks võiks olla näiteks kaldega fassaadi kavandamine. Kui suure ja millises suunas kaldega fassaad kavandada, sõltub eeskätt hoone asukohast ja paiknemisest päikese suhtes. Eesti tingimustes võiks kõne alla tulla kontorihoonete lõunafassaadi kavandamine teatud kaldega.

Teise variandina isevarjestavast fassaadist nimetatakse olukorda, kui üle katuse ulatub välissirm. Selline võimalus võiks Eesti tingimustes tulla kõne alla madalate, maksimaalselt kuni kahekorruseliste kontorihoonete kavandamisel.

Kolmanda ja praktikas enimkasutatava variandina saab nimetada kahe eelnimetatud variandi kombinatsiooni. Näiteid isevarjestava fassaadi kohta võib leida ka Eestis. Parim näide võiks ehk olla Forumi kaubamaja alumise kahe korruse varjestus, kujutatud fotol 18.



Foto 18

Forum kaubamaja Tallinnas. Isevarjestava fassaadi kombinatsioon kaldseinast ja fassaadi välis-varjestusest.

Üheks huvitavaks isevarjestava hoone näiteks Tallinnas võinuks olla ka uus Tallinki büroohoone Tallinna sadamapiirkonnas. Hoonel on kaldfassaad aga paraku liiga väikese nurgaga, mistõttu meie laiuskraadil sellest kasu ei ole. Selle suure klaaspinnaga kontorihoone töötajad on peale hoone valmimist kurtanud otsesest päikesekiirgusest tingitud räguse üle.

Seoses käesoleva projektiga valmis TTÜs 2010. aastal magistritöö [6], mis käsitles seda hoonet ja analüüsis võimalusi, kuidas passiivsete arhitektuuriliste lahenduste rakendamisega saanuks vältida otsesest päikesekiirgusest tingitud ebamugavusi ja kuidas oleks passiivsed arhitektuurilised lahendused mõjutanud kütte ja jahutuse esmainvesteeringuid ning hilisemat energiatarvet. Seda tööd isevarjestavatest fassaadidest ei ole käesoleva näidismaterjali sees käsitletud, küll aga on kõigil huvilistel võimalus lõputööga TTÜ kütte ja ventilatsiooni õppetoolis tutvuda.

Soojus ja töö – võimsus ja energia

Uue hoone kavandamisel on üks põhieesmärke plaanida hoone nii, et soovitud sisekliima oleks tagatud võimalikult väikese energiakuluga. Uue hoone kavandamisel on oluline, et seda tehtaks selliselt, et sisekliimat tagavate süsteemide soetusmaksumus ehk kütte- ja jahutuskoormus oleks võimalikult madal, samaaegselt aladimensioonimata süsteeme. Olemasoleva hoone haldamisel on aina olulisemaks ülesandeks energiakulu vähendamine sisekliimat või hoone funktsioneerimist häirimata.

Energia eksisteerib kahel viisil:

- o soojusena;
- o tööna – elekter on töö vormis energia.

Soojusenergiat saadakse peaaesjalikult kütuse põletamise teel. Soojusvool on alati suunatud kõrgemalt temperatuurilt madalamale. Teatud mõttes võib soojust võrrelda veega, mis voolab kõrgemalt madalamale. Näiteks kui välistemperatuur on sisetemperatuurist madalam, voolab soojus läbi hoone välistarindite ruumist välja. Vältimaks ruumitemperatuuri langemist, tuleb soojuse väljavoolu kompenseerida ruumitemperatuurist kõrgema temperatuuriga soojuse juurdevoolu abil. Soojusenergia voolu nimetatakse soojusvõimsuseks [7].

Soojusenergia ühik on džaul, J.

Soojusvõimsuse ühik on džauli sekundis, J/s, või vatt, W.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s.}$$

Töö kujul energia võib tagada liikumise ja valgustuse, mida soojus aga ei suuda. Hoonetes on töö kujul esineva energia vormiks elektrienergia.

Elektrienergia põhiühik on vattsekund, $1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$

Elektrivõimsuse põhiühik on vatt, $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

Nimetatud ühikud J, W ja Ws, on väga väikesed. Praktikas kasutatakse seetõttu nende kordseid.

Ühikud:

Võimsus:

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 1000 \text{ kW}$$

Energia:

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

$$1 \text{ MJ} = 1000 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ PJ} = 1 \times 10^{15} \text{ J} = 0,28 \text{ TWh}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ MWh} = 1000 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ TWh} = 1 \times 10^9 \text{ kWh} = 3,6 \text{ PJ}$$

Elektrienergiat saadakse jõujaamadest, mis kasutavad looduses töö kujul esinevat energiat, või soojuselektrijaamadest, kus toimub soojusenergia muundamine elektrienergiaks.

Looduses töö kujul esinevat energiat kasutavad hüdro- ja tuuleelektrijaamad ning päikeseelemendid otse. Seda liiki jõujaamade jooksvad kulud on madalad ja nende keskkonnamõju piiratud, aga rajamiskulud genereeritava elektrienergia ühiku kohta kõrged. Näiteks päikeseelemendid on endiselt nii kallid, et nende rakendamine praktikas on väga piiratud.

Soojuselektrijaamade kütuseks võivad olla kivisüsi, põlevkivi, nafta ja maagaas, tuumaelektrijaamades tuumakütus. Nende kapitalikulud on üldiselt madalamad, aga eksploatatsioonikulud kõrged. Põlemisprotsessi tõttu on neil ka kahjulik mõju keskkonnale. Siiski, elektrienergia tootmise seisukohalt on soojuselektrijaamad ülekaalus.

Käesolevas õppematerjalis ei käsitleta energia tootmist. On aga oluline meeles pidada, et võimsus ja energia on kaks eri asja ning soojus ja elekter on energia kaks eri liiki, mille vahel tuleb teha selget vahet.

Energiatõhusust ja päevavalgust reguleerivad õigusaktid Eestis

Päevavalguse kavandamine, mis suuresti tähendab aknaid, nende suuruse ja kvaliteedi suhet, paiknemist ilmakaarte suhtes ja kaitset otsese päikesekiirguse eest, mõjutab oluliselt nii päevavalguse kvaliteeti kui ka hoone tehnosüsteemide, kütte- ja jahutuskooormuse esmamaksumust ning hilisemat energiatarvet. Seega võib loomuliku valguse kavandamist pidada nii otseses kui ka kaudses mõttes üheks võtmelemendiks madala elukaaremaksumusega hoone kavandamisel. Paljudes riikides, sealhulgas Eestis, on riiklikul tasandil välja töötatud määrused (Eestis energiatõhususe miinimumnõuded nr 258), mille eesmärgiks on tagada hoone kõigi sisekliimakomponentide täitmine, seejuures mitte ületades etteantud energiatõhususe piirväärtusi. Sarnaselt on paljudes riikides energiatõhusust käsitlevas määruses juba olemas või sellega viitena seotud päevavalguse nõudeid käsitlevad määrused. Ka Eestis on päevavalguse tagamiseks väljastatud mitmeid määruseid ja standardeid, kuid paraku ei ole need seotud energiatõhususe miinimumväärtusega.

Järgnevalt on toodud Eesti tingimustes kindlaks määratud energiatõhususe miinimumväärtused ehk energiatõhususarvud, millest rohkem ei tohiks ehitatav hoone energiat tarbida. Samuti on toodud Eesti Vabariigis väljastatud päevavalgust puudutavad määrused ja standardid.

Energiatõhusust reguleeriv kohustuslik õigusakt Eestis

Alates 2009. aasta 1. juulist jõustus täies mahus ja ulatuses peamine, uute või oluliselt rekonstrueeritavate hoonete, energiatõhususe eesmärkide saavutamisele suunatud Vabariigi Valitsuse rakendusmäärus nr 258, 20.12.2007, "Energiatõhususe miinimumnõuded".

Ehitatavate hoonete energiatõhususarv ei tohi ületada alljärgnevat piirväärtust.

1. Väikeelamutes (sh paarismajad ja ridaelamud) 180 kWh/m² köetava pinna kohta aastas.
2. Kortereelamutes 150 kWh/m² köetava pinna kohta aastas.

3. Büroo- ja administratiivhoonetes 220 kWh/m² köetava pinna kohta aastas.
4. Ärihoonetes, hotellides, muudes majutus- ja toitlustushoonetes ning kaubandus- ja teenindushoonetes 300 kWh/m² köetava pinna kohta aastas.
- 4¹. Avalikes hoonetes ja meelelahutushoonetes 300 kWh/m² köetava pinna kohta aastas.
- 4² Haridus- ja teadushoonetes (välja arvatud õpilaste ühiselamutes, raamatukogudes ja kliinikutes) 300 kWh/m² köetava pinna kohta aastas.
5. Tervishoiuhoonetes 400 kWh/m² köetava pinna kohta aastas.
6. Siseujulates 800 kWh/m² köetava pinna kohta aastas.

Päevavalgusega varustamist reguleerivad kohustuslikud õigusaktid Eestis

- *Sotsiaalministri 25. oktoobri 1999. aasta määrus nr 64:*

8.2. Lasteasutuse ruumide päevvalgustegur (D) peab olema vähemalt 1,5%.

- *Sotsiaalministri 29. augusti 2003. aasta määrus nr 109:*

(1) Kooli õpperuumides, aulas, tervishoiuteenuse osutamise ruumides, taastusruumides ning õpilaskodu puhke-, magamis- ja õppimisruumides peab tagama aknast kõige kaugemal asuvas ruumipunktis päevvalgusteguri vähemalt 1,5%.

- *Sotsiaalministri 9. jaanuari 2001. aasta määrus nr 4:*

(1) Hoolekandetasutuse ruumide päevvalgustegur (D) peab olema vähemalt 1,5% ning nägemis- ja kuulmispuudega laste hoolekandetasutuses vähemalt 2,5%.

- *Sotsiaalministri 26. jaanuari 1999. aasta määrus nr 38:*

Eluruumi igal elu-, töö- ja magamistoal ning eraldi ruumis paikneval köögil peab olema vähemalt üks lahtikäiv aken, mis tagab nendes piisava loomuliku valgustuse.

- *Loomulik valgustus siseruumides. Standard 894:*

Elamud, koolieelsed lastetasutused, õppeasutused, hoolekandetasutused, haiglad – planeeringute koostamisel tuleb hoonete asukoht ja orientatsioon valida selliselt, et eluruumides oleks tagatud vähemalt 3-tunnine katkematu insolatsioon päevas ajavahemikul 22. aprillist 22. augustini.

Eestis hetkel kehtivate normide alusel on päevavalgusele esitatavad nõuded üheselt ja konkreetselt määratletud vaid õppe- ning hoolekandetasutustele. Elamutele ja büroohoonetele esitatavad nõuded on üsna üldsõnalised, jättes arhitektidele vabad käed päevavalgusega arvestades. Tihti tingib see omakorda olukorra, kus päevavalguse parameetreid ei jälgita ja tagajärjeks on ebapiisava hajuvalgusega ruum või valgusräigusega ruum, kus inimesed ennast hästi ei tunne.

Probleemi püstitus

Energiatõhususe miinimumnõuete määruse number 258 kohaselt on vaja uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususe miinimumnõuetele vastavust tõendada. Eelnimetatud sotsiaalministeeriumi määrustega kehtestatud parameetrite täitmist loomulikule valgusele määrus 258 ei täpsusta. Seega jahutuse ja loomuliku valgustuse seisukohast lähtudes on ette näha teatud

vastuolu – klaasidest tingitud jahutuskulude vähendamise positiivse efektiga kaasneb samaaegselt negatiivne efekt ehk sisekliima olulise komponendi – loomuliku valgustuse – vähenemine.

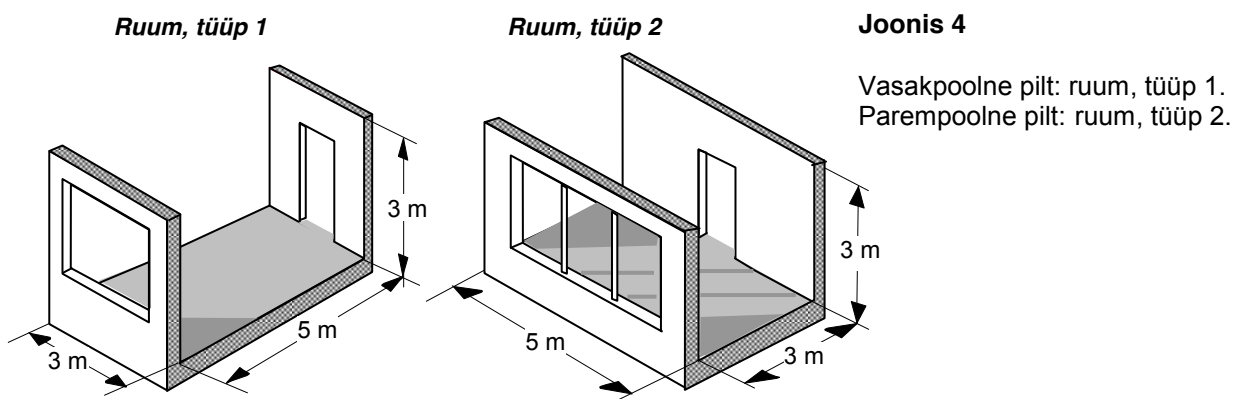
Tekkinud olukorras on äärmiselt suur tõenäosus, et esimese hooga soovitakse väljastada energiatõhususe miinimumnõuete määrusele 258 vastavuse tunnistus ning ehitusluba hoone projektile, mis tegelikult ei vasta mitmele ülal nimetatud sotsiaalministeeriumi määrusele.

Järgneva analüüsi eesmärgiks on seletada välja töötatud analüüsimetodid:

- kuidas on võimalik kavandada madala esmainvesteeringu/energiatarbega ja piisava loomuliku valgusega (ühiskondlikke)hooneid,
- millistest analüüsi meetoditest tuleks selle saavutamiseks lähtuda,
- millised on optimaalsed lahendused.

Energiasimulatsioonid ja otsese päikese kiirguse testid

Näidismaterjali teises osas esitatud tulemused baseeruvad kahte tüüpi ruumil, mis on illustreerivalt näidatud joonisel 4. Joonised annavad vastused eeskätt küsimustele, milliseid analüüsimetodeid kasutada, et oleks võimalik kavandada madala esmainvesteeringu ja energiatarbega ning piisava loomuliku valgusega hooneid, millistest kriteeriumidest tuleks selle saavutamiseks lähtuda ja millised oleksid optimaalsed lahendused. Järgnev osa esitab lugejale eeskätt põhimõtte, millest tuleks lähtuda hoone fassaadi ja ruumilahenduse kavandamisel.



		Ruum, tüüp 1		Ruum, tüüp 2	
Ruumi asukoht ja kasutusotstarve		Tallinn, kontor		Tallinn, kontor	
Kasutusprofiil		7.00–18.00		7.00–18.00	
Põranda- ja laepind	m ²	15		15	
Kõrgus	m	3		3	
Ruumala	m ³	45		45	
Fassaadi pind, kaasa arvatud aknad koos lengide ja raamidega	m ²	9		15	
Fassaadi sein U-arv	W/(m ² ·K)	0,27		0,27	
Aktsepteeritavad siseõhu temperatuurid, kõrgeim/madalaim	°C	25	20	25	20
Valgusvõimsus	W/m ²	10		10	
Inimesed	W/m ²	6		6	
Kontoriseadmed	W/m ²	10		10	

Ruumidele on esitatud jahutus- ja küttekoormus järgmiste parameetrite alusel:

- akna suhteline suurus, 0–100% fassaadi kohta;
- aknaklaasi kvaliteet vastavalt päikeseläbivustegurile g 0,2; 0,4 või 0,7;
- aknaklaasi soojusjuhtivus U , vastavalt 1,0 ja 1,6;
- ruumi suund ilmakaarte suhtes, kas põhi, ida, lõuna või lääts.

Sisuliselt näitab aknaklaasi päikeseläbivustegur, kui suur osa aknaklaasile langevast päikesekiirgusest siseneb ruumi ja kui suur osa sellest peegeldub aknaklaasilt tagasi. Mida väiksem on aknaklaasi päikeseläbivustegur, seda vähem päikesekiirgust ruumi siseneb. Näiteks kui aknaklaasi päikeseläbivustegur on 0,2, siis 20% aknaklaasile langevast päikesekiirgusest siseneb ruumi ja 80% peegeldub aknaklaasilt tagasi. Kui aga aknaklaasi päikeseläbivustegur on 0,8, siis 80% aknaklaasile langevast päikesekiirgusest siseneb ruumi ja 20% peegeldub aknaklaasilt tagasi.

Aknaklaasil on ka teine parameeter, aknaklaasi valgustegur, mis iseloomustab aknaklaasi valgusläbilaskvuse omadusi sarnaselt päikeseteguriga. Kui aknaklaasi valgustegur on 0,2, siis 20% aknaklaasile langevast valgusest siseneb ruumi ja 80% peegeldub aknaklaasilt tagasi.

Soojusjuhtivus, edaspidi tähistatud kui U -arv, näitab, kui suur soojusvool vattides läbib 1 m^2 suurust piiret, kui õhutemperatuuride erinevus piiride eri pooltel on üks kraad. Mida suurem on U -arv, seda rohkem soojust läbi piirdetarindi 1 m^2 suuruse pinna ruumist välja kandub. U -arvu 1,0 korral on soojusvool ruumist välja iga ruutmeetri välispiirde kohta 1 W, kui temperatuuride vahe ruumi sees ja väljas on üks kraad. Kui temperatuuride vahe on juba 10 kraadi, siis suureneb ka soojusvool 10 W-ni iga ruutmeetri kohta. U -arvu 0,25 puhul väheneb soojusvool 10-kraadise temperatuurierinevuse juures 4 korda e 2,5 W-ni iga ruutmeetri kohta. Seega mida väiksem on U -arv, seda väiksemad on soojuskaod.

Samuti sõltub hoone jahutuskoormus ning jahutus- ja kütteenergia, aga mitte küttekoormus, akna suunast ilmakaarte suhtes.

Hoone fassaadile langev kogukiirgus koosneb kolmest komponendist: pinnale langev otsene päikesekiirgus, hajuskiirgus ja peegeldunud kiirgus.

Otsese kiirguse intensiivsus sõltub päikese asendist ja suunast pinna suhtes. Hajutatud kiirguse intensiivsus on tavaliselt otsesest kiirgusest tunduvalt nõrgem, kuid siiski märkimisväärne. Pilvisuse tihenedes hajutatud kiirguse osatähtsus üldkiirguses suureneb. Hajutatud kiirguse intensiivsust mõjutab ka see, kui suurt osa taevast uuritavalt pinnalt näeb. Peegeldunud kiirgust mõjutab ümbruskonna (maapinna) peegeldussuhe ja see, millise nurga all uuritav pind „näeb” peegeldavat pinda [8].

Tallinna tingimustes on päikesekiirgus lõuna suunal kõrgeim, lääne ja ida suunal peaaegu võrdne, kuid veidi madalam kui lõuna suunal, ning põhja suunal, mis on otsesest päikesekiirgusest peaaegu puutumata, oluliselt madalam kui teistes ilmakaartes.

Ühiskondlike hoonete ratsionaalse koormuste ja energiatarbe kujundamisel on suure tähtsusega hoone fassaadide selline kujundamine, kus suvisel ajal on võimalik viia päikesest tingitud jahutuskooormus passiivseid jahutusmeetodeid kasutades minimaalseks. Eriti edukalt oleks võimalik selliseid lahendusi kasutades vähendada jahutuskooormust hoone lõunapoolsetes ruumides. Sellest johtuvalt testitakse lisaks nn traditsioonilistele fassaadilahendusele (tavalised aknad) ka passiivse arhitektuurilise jahutuselemendi (välissirmi tüübi päevavalgusakna) mõju hoone jahutuskooormusele. Küttekooormusele päevavalgusaken mõju ei avalda.

Järgides loomuliku valguse standardi EVS 894 nõudeid, testitakse ehitatud makette TTÜ energia ja sisekliima labori loomuliku valguse testkambris, mis võimaldab analüüsida päevavalgustegurit. Testides kasutatakse täpselt samu fassaadilahendusi ja põhimõtteid (tavalised aknad ja varjestus), mida kasutati ruumi jahutus- ja küttekooormuste leidmisel.

Jahutuskooormuse simulatsioonid

Jahutuskooormuse simulatsioonide tulemused, sõltuvalt akna suhtelisest suurusest, aknaklaasi kvaliteedist ehk päikeseläbivustegurist ja orientatsioonist ilmakaarte suhtes [9]. Järgnevad pildid joonisel 5 illustreerivad fassaadi visuaalset väljanägemist erinevate aknasuuruste 30, 50 või 80% korral.



Joonis 5

Ruumi nr 1 ja 2 fassaadi visuaalne väljanägemine erinevate aknasuuruste 30, 50 või 80% korral

Simulatsioonideks kasutati tarkvara TeknoSim. Arvutustulemused on esitatud jahutuskooormuseni kuni 100 W/m^2 . Üldiselt peetakse soovituslikuks mitte kavandada Põhja-Euroopa kontorihooneid selliselt, et nende jahutuskooormus ületaks 100 W ruumi põrandapinna kohta. See on ka peamine põhjus, miks graafikute maksimaalseks jahutuskooormuseks on võetud kuni 100 W/m^2 ja mitte üle selle.

Joonis 6 näitab maksimaalset võimalikku aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsiooni ruumile nr 1 ning joonis 7

ruumile nr 2, et mitte ületada alternatiivseid jahutuskoormusi 50, 75 ja/või 100 W/m².

Jämedad jooned joonistel näitavad maksimaalset aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsiooni, mille korral jahutuskoormus oleks vastavalt kas 50, 75 ja/või 100 W/m². See tähendab, et ruumil, mille aknaklaasi osakaal on 60% ja päikeseläbivustegur 0,4, on jahutuskoormus sama kui ruumil, mille aknaklaasi osakaal on 40% ja päikeseläbivustegur 0,6, kuna nende korrutis 0,24 on võrdne mõlemal juhul.

Et mitte ületada jahutuskoormust 50 W/m², peaks lõunasuunalise aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioon olema esimesel ruumil 0,12 ja teisel 0,09. Piltlikult öeldes, kasutada tuleks kas väga väikeseid aknasuursi või väga efektiivseid päikesekaitseklasse.

Juhul kui lõuna suunal kasutatakse päevavalgusakna konstruktsiooni, võivad korrutise väärtused olla suuremad, antud näite puhul vastavalt 0,15 ruumil nr 1 ja 0,12 ruumil nr 2.

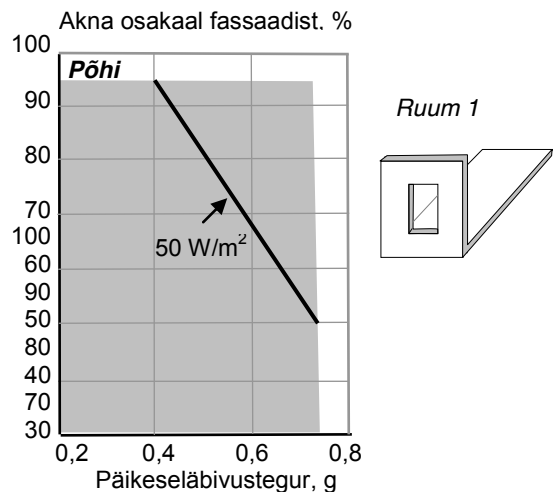
Samade projekteerimise lähteandmete korral võib põhja suunal maksimaalne võimalik aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioon ruumidel olla peaaegu kolm korda suurem kui lõuna suunal, et mitte ületada vastavaid jahutuskoormuste väärtusi.

Maksimaalne aktsepteeritav aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioon ida ja lääne suunal, et mitte ületada antud jahutuskoormuste väärtuseid 50, 75 ja/või 100 W/m², on lõuna ja põhja suuna vahepeal.

Kokkuvõtlikult näitasid jahutuskoormuse simulatsioonid, kuivõrd suurt mõju avaldab jahutuskoormusele suurenev aknaklaasi osakaal või vilets aknaklaasi päikesetegur või mõlema kooseksisteerimine.

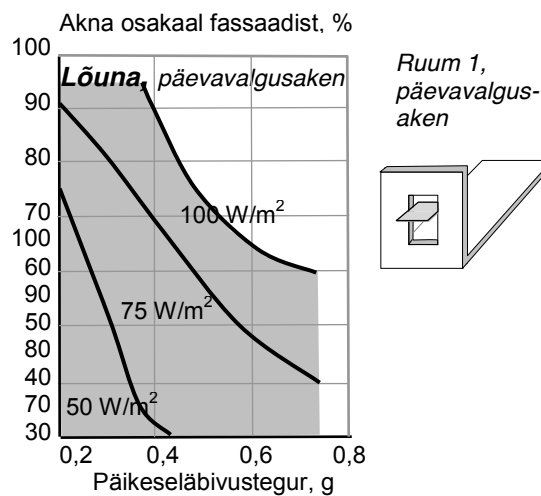
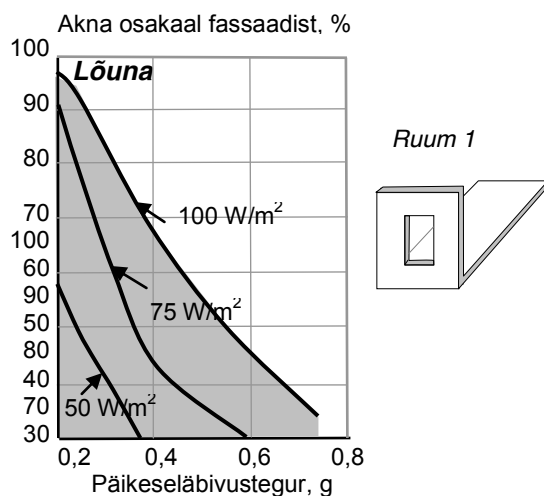
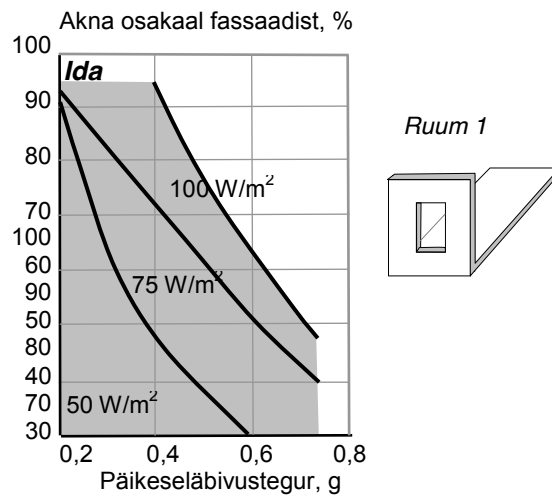
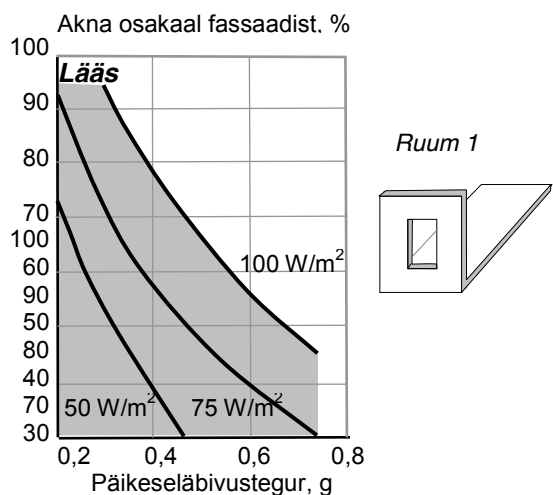
Tulemused näitavad, et Põhja-Euroopa tingimustes võrdsete projekteerimise lähteandmete korral on suurim jahutuskoormuse vajadus lõunapoolsetel tubadel ja madalaim põhjapoolsetel tubadel. Kuigi otsene päikesekiirgus W/m² ja Wh/m² on lääne ja ida suunal peaaegu võrdne, on lääneküljel märkimisväärselt kõrgem jahutuskoormus kui ida pool. See on seletatav sellega, et ajaks, mil otsene päikesekiirgus hakkab mõjutama läänefassaadi, on hoone konstruktsioon juba vabasoojuse ja päikese hajukiirguse tõttu üles soojenenud. Sellest johtuvalt on läänesuunal ida omast kõrgem jahutuskoormuse vajadus.

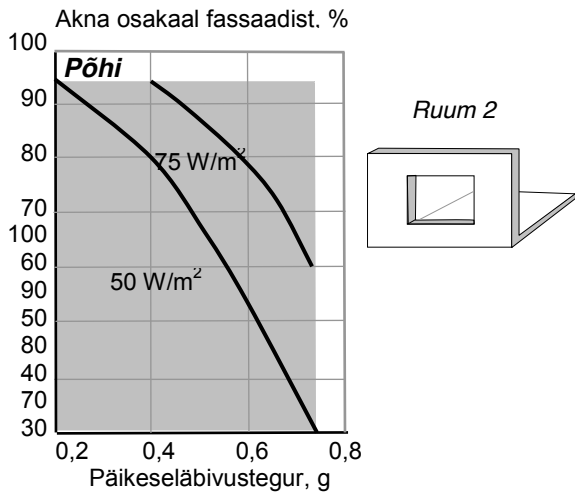
Simulatsioonid näitasid kaunis piiratud võimalusi jahutuskoormuse kavandamiseks alla 100 W/m² eeskätt lõuna- ja lääne-, aga ka idafassaadile.



Joonis 6

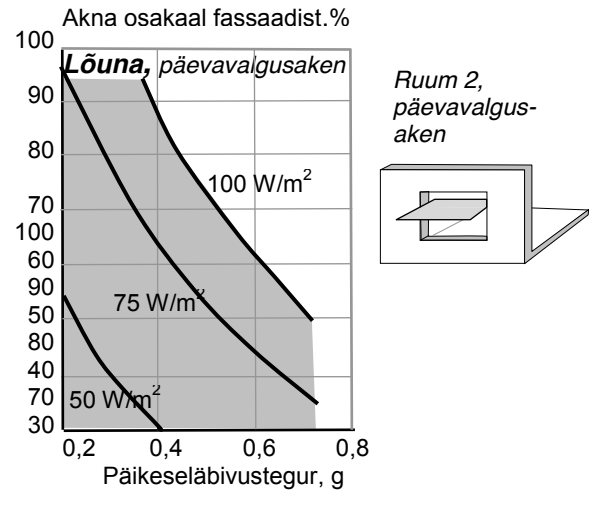
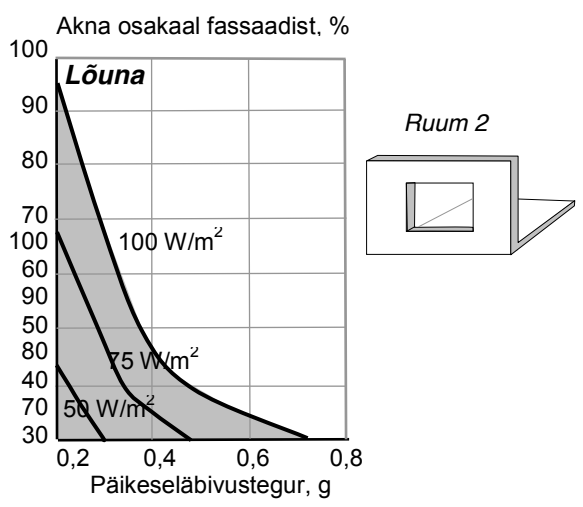
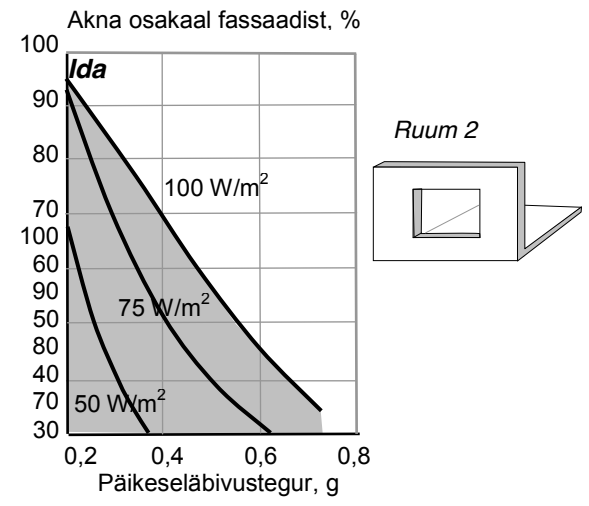
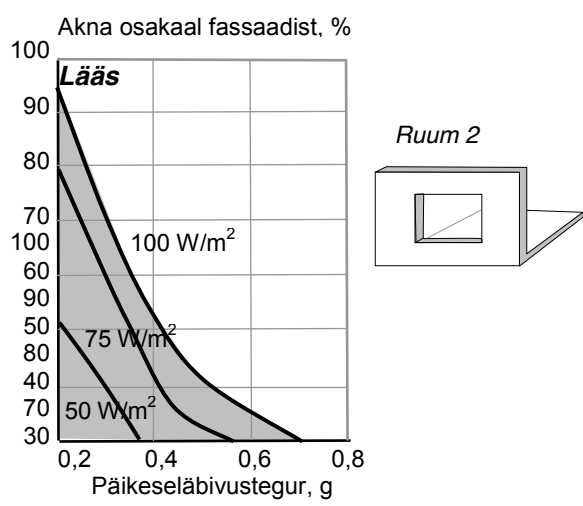
Maksimaalne võimalik aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioon ruumil nr 1, et mitte ületada jahutuskooormusi 50, 75 ja/või 100 W/m².





Joonis 7

Maksimaalne võimalik aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioon ruumil nr 2, et mitte ületada jahutuskoormusi 50, 75 ja/või 100 W/m².



Küttekoormuse simulatsioonid

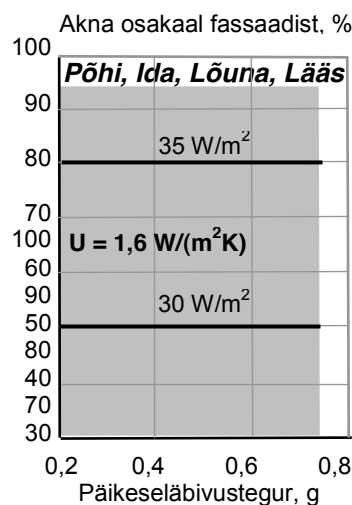
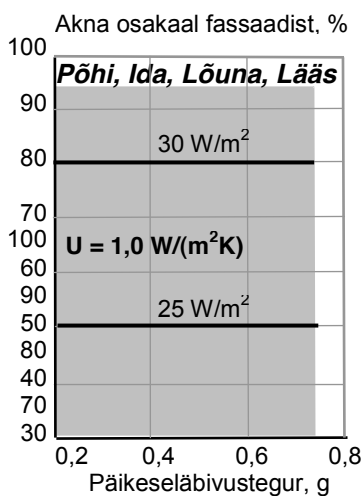
Küttekoormuse simulatsioonide tulemused sõltuvalt akna suhtelisest suuruselt ja aknaklaasi kvaliteedist ehk aknaklaasi soojusjuhtivusest. Erinevalt jahutuskoormuse tulemustest aga ei sõltu küttekoormus orientatsioonist ilmakaarte suhtes. Selle põhjuseks on asjaolu, et maksimaalne küttekoormus esineb öösel, ajal, mil päikesekiirgus hoonet energeetiliselt ei mõjuta.

Simulatsioonideks kasutati tarkvara TeknoSim. Arvutustulemused on esitatud küttekoormuseni kuni 50 W/m^2 . Joonis 8 näitab maksimaalset võimalikku aknaklaasi osakaalu ruumile nr 1 ja joonis 9 ruumile nr 2, et mitte ületada alternatiivseid küttekoormusi $30, 35$ ja/või 50 W/m^2 . Jämedad jooned joonistel näitavad maksimaalset aknaklaasi osakaalu, mille korral küttekoormus oleks vastavalt kas $30, 35$ ja/või 50 W/m^2 . Tulemused on näidatud nii ruumile nr 1 kui ruumile nr 2, kasutades vastavalt aknaklaasi soojusjuhtivust $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ vasakpoolsetel joonistel või $1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ parempoolsetel.

Jooniselt nr 8 on näha, et kasutades aknaklaasi soojusjuhtivusteguriga $1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ja soovides mitte ületada ruumi küttekoormust 30 W/m^2 kohta, on võimalik ruumile nr 1 kavandada aken suurusega kuni 50% fassaadist. Kasutades aknaklaasi soojusjuhtivusteguriga $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, on võimalik samale ruumile samade küttekoormuse nõuete korral kavandada aken suurusega 80% fassaadist.

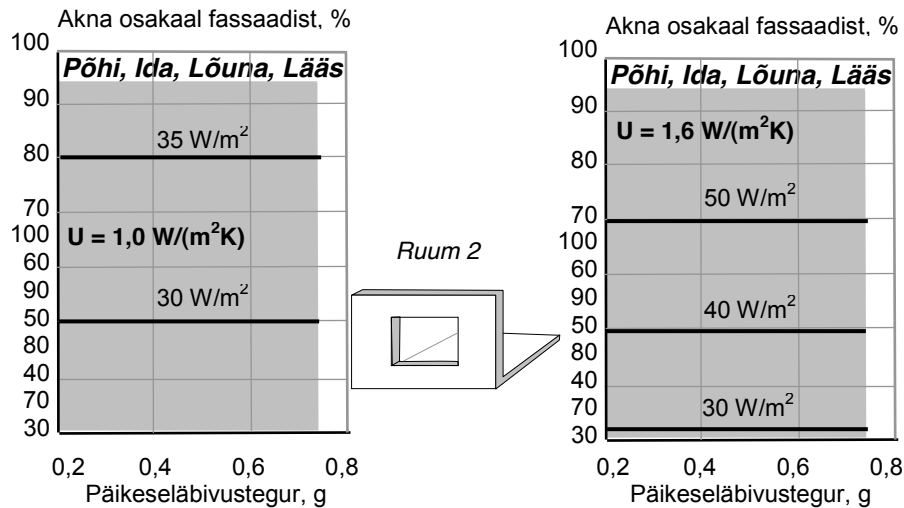
Jooniselt nr 9 on näha, et kasutades aknaklaasi soojusjuhtivusteguriga $1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ja soovides mitte ületada ruumi küttekoormust 30 W/m^2 kohta, on võimalik ruumile nr 2 kavandada aken suurusega kuni 35% fassaadist. Kasutades aknaklaasi soojusjuhtivusteguriga $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, on võimalik samale ruumile samade küttekoormuse nõuete korral kavandada aken suurusega 50% fassaadist.

Kui aga aluseks võtta küttekoormus 50 W/m^2 , siis ruumis nr 1 ei ületatagi küttekoormust 50 W/m^2 kohta. Ruumi nr 2 aknaklaasi soojusjuhtivusteguriga $1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ on võimalik kavandada aknasuurus kuni 70% fassaadist, et mitte ületada küttekoormust 50 W/m^2 kohta.



Joonis 8

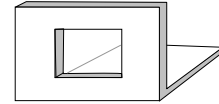
Maksimaalne võimalik aknaklaasi osakaal, et mitte ületada küttekoormusi $30, 35$ ja/või 50 W/m^2 .



Joonis 9

Maksimaalne võimalik aknaklaasi osakaal, et mitte ületada küttekoormusi 30, 35 ja/või 50 W/m².

Ruum 2

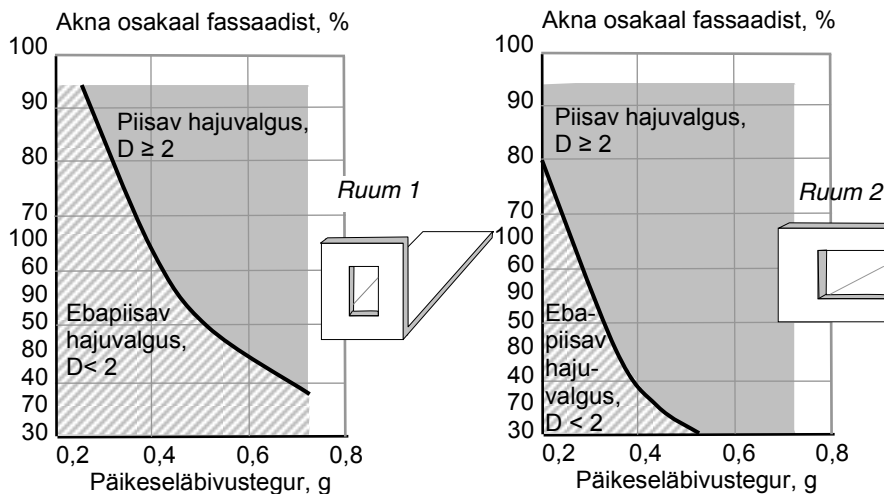


Päevavalgusakna konstruktsioon üldjuhul ei tohiks mõjutada küttekoormuse kujunemist.

Hajuvalguse testid

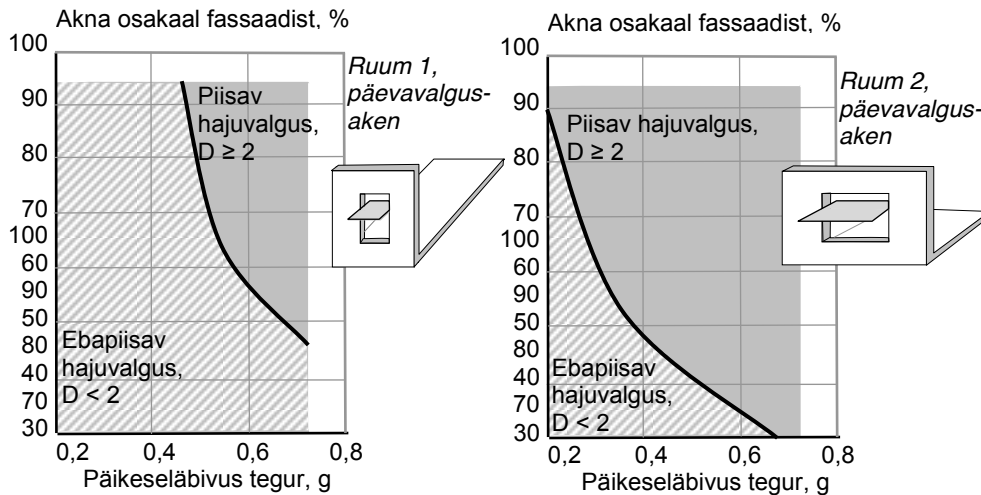
Joonised 10 ja 11 näitavad hajuvalguse testide tulemusi mõlema ruumitüübi puhul ja illustreerivad, milliste aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioonide korral on tagatud olukord, et ruumi töösooni madalaim päevvalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$).

Kontoripindu, mille töösoonis on selline olukord tagatud, loetakse piisava loomuliku valgusega pindadeks. Seega, kui nimetatud tingimus on täidetud, peaks aknaklaasi osakaal ja päikeseläbivusteguri kombinatsioon asuma joonisel märgitud hallis piirkonnas. Kaldjoontega viirutatud ala näitab olukorda, mille puhul aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri kombinatsioon ei taga ruumi töösoonis päevvalgusteguri väärtust 2 või üle selle. Kontoripinnad, kus esineb selline olukord, liigitatakse ebapiisava loomuliku valgusega ruumideks. Sellist olukorda tuleks ruumide kavandamisel vältida. Päevvalgusteguri väärtused on identsed kõigile ilmakaartele, kuna mõõtmiste eelduseks on standardse pilvkattega taeva tingimused.



Joonis 10

Minimaalne võimalik aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri kombinatsioon tavalise akna korral, et tagada olukord, kus $D \geq 2$. Ruum 1 vasakul ja ruum 2 paremal. Tulemused kehtivad kõigile ilmakaartele.



Joonis 11

Minimaalne võimalik aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri kombinatsioon päevavalgusakna korral, et tagada olukord, kus $D \geq 2$. Ruum 1 vasakul ja ruum 2 paremal. Tulemused kehtivad kõigile ilmakaartele. Joonisel on eeldatud, et valgusakna päikeseläbivustegur on konstantselt 0,2, erinevad päikeseläbivustegurid 0,2; 0,4; 0,6 ja 0,8 on näidatud päevavalgusakna vaateakna kohta.

Jämedam joon joonistel 10 ja 11, mis eraldab piisava ja ebapiisava hajuvälgusega ala, näitab minimaalset võimalikku aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsiooni, et tagada ruumis loomuliku valguse nõuded.

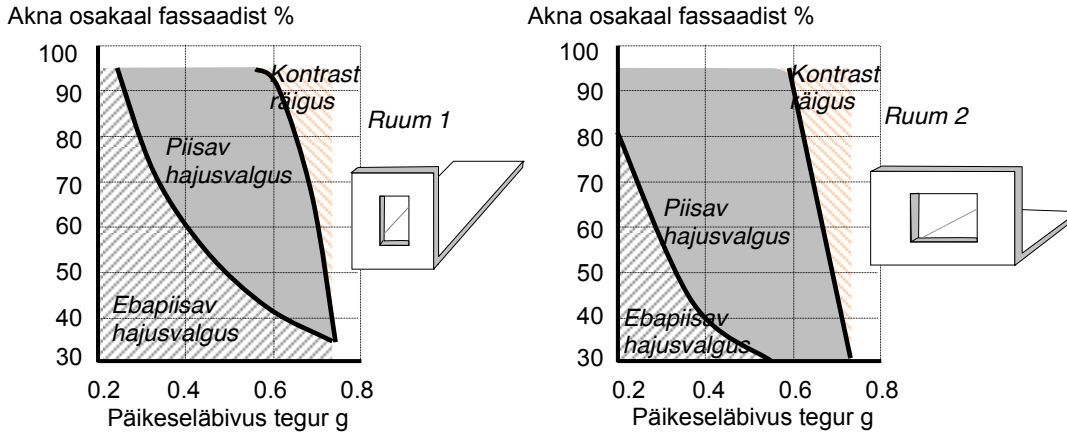
Et tagada nimetatud nõuet ruumile nr 1, peaks aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutis olema $\geq 0,24$, ruumi nr 2 korral $\geq 0,16$. Et tagada nimetatud nõuet päevavalgusaknaga ruumile nr 2, peaks aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutis olema $\geq 0,4$, ruumi nr 2 korral $\geq 0,2$.

Kui võrrelda tavalist ja päevavalgusakent, jaotab päevavalgusaken valgust ruumis ühtlasemalt. Kõrgeima ja madalaima päevavalgusteguri erinevus ruumis on tunduvalt väiksem kui tavalise akna puhul. Samas tuleb märkida, et kuigi päevavalgusakna konstruktsioon jaotab hajuvälguse ruumis ühtlaselt, laseb see vähem hajuvälgust ruumi.

Mida väiksema sügavuse ja suurema fassaadipinnaga ruum on (näiteks ruum 2), seda otstarbekam on kasutada päevavalgusakent. Päevavalgusakna kasuks räägib veel täiendav päevavalguse analüüs. Nimelt kui maksimaalse ja minimaalse päevavalgusteguri erinevus ruumis on suurem kui 20, nimetatakse tekkinud olukorda ruumis kontrasträiguseks ja sellist olukorda soovitatakse ruumide kavandamisel vältida. Põhimõtteliselt tähendab tekkinud olukord seda, et kuigi akna perimeetri lähedal on ruum piisavalt hajuvälgusega valgustatud, on ruumi tagaosa ebapiisavalt hajuvälgustatud. Inimesed, kelle töökoht asub aknaperimeetrist eemal, tunnevad ennast sellises olukorras ebamugavalt ning valgusolukorra parandamiseks suletakse tihti kardinaid ja lülitatakse sisse tehisvalgus.

Ruumi nr 1 ja ruumi nr 2 kontrasträigust on analüüsitud ja tulemused on esitatud joonisel 12. Nagu jooniselt näha, esineb kontrasträigus eeskätt just suurte aknapindade ja madala päikeseläbivusteguri korral, kuna sellisel juhul on päevavalgusteguri väärtused akna ligiduses väga kõrged. Seega juba ainuüksi korrektse kontrasträiguse analüüsiga on võimalik ennetada ekstreemselt suuri aknapinna osakaalusid fassaadidel.

Joonis 12



Minimaalne ja maksimaalne võimalik aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri kombinatsioon tavalise akna korral, et tagada olukord, kus $D \geq 2$ ning maksimaalse ja minimaalse päevavalgusteguri erinevus oleks alla 20. Ruum 1 vasakul ja ruum 2 paremal. Tulemused kehtivad kõigile ilmakaartele.

Foto 18 näitab inimese poolt tajutavat hajuvalguse kvaliteeti ruumis 1. Aknasuuruste 15 ja 30% korral, isegi kui aknaklaasi poleks ruumile paigaldatud (vähendab valguse sisenemist ruumi), on ruumi töötsoonis madalaim päevavalgustegur alla 2, mis tähendab, et ruum vajab tehisvalgust isegi suvepäevadel. Juhul kui ruum nr 1 planeeritakse aknaklaasi osakaaluga 50%, tuleks kasutada aknaklaasi päikesetegurit 0,5 või alla selle (kõrgem päikesetegur), et ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur oleks 2 või üle selle. Ruumis 1 aknaosakaaluga 80% tuleks kasutada aknaklaasi päikeseteguriga 0,3–0,65, et tagada ruumis piisav hajuvalguse kvaliteet. Aknaklaas päikeseteguriga alla 0,3 tähendaks, et ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur oleks alla 2, päikesetegur üle 0,65 aga, et ruumis võib esineda kontrasträigus.

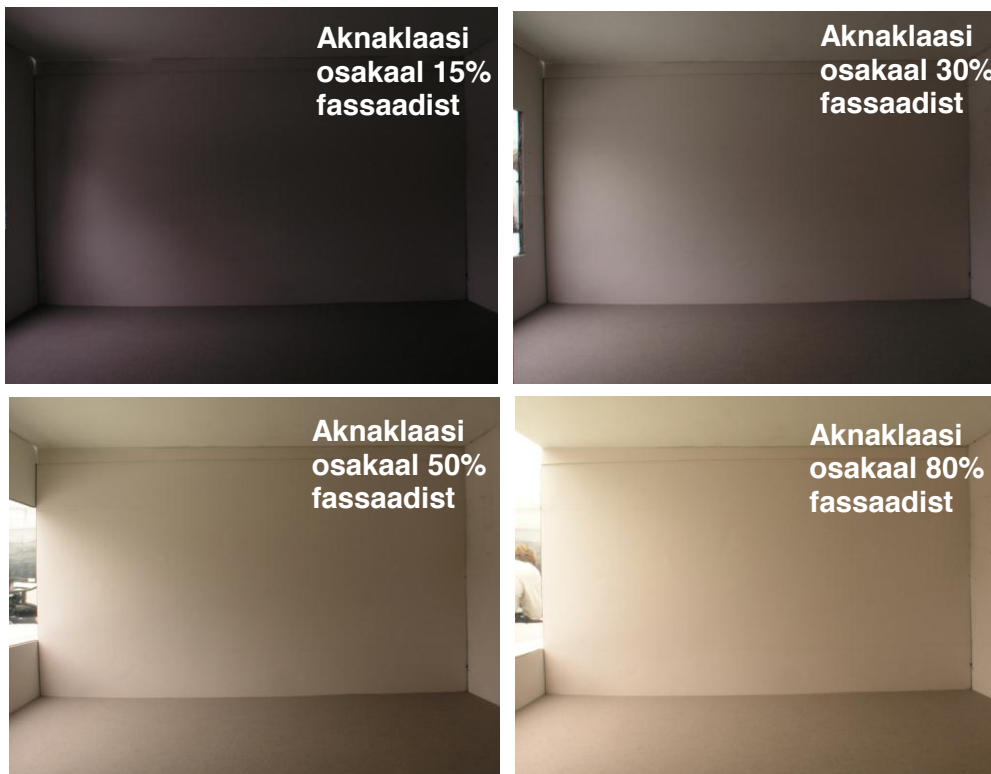


Foto 18

Tajutav hajuvalguse kvaliteet ruumis 1 aknaklaasi osakaaluga 15, 30, 50 ja 80%. Aknaklaasi päikesetegur on 1 (ilma klaasita).

Foto 19 näitab tajutavat hajuvalguse kvaliteeti ruumis 2. Kui selle ruumitüübi korral kasutada aknaosakaalu 15% fassaadist, siis vajaks ruum aastaringselt tehisvalgustuse sisselülitamist ($PT < 2$). Akna osakaalu 30–50% korral tuleks päevavalgusteguri 2 saavutamiseks paigaldada aknaklaas päikeseteguriga 0,35–0,7.

Juhul kui ruum 2 kavandatakse akna osakaaluga 80% fassaadist, siis isegi nii madal aknaklaasi päikesetegur kui 0,2 tagab piisava hajuvalguse kvaliteedi. Aknaklaasi päikesetegur tuleks aga valida nii, et see jääb vahemikku 0,2–0,6. Päikesetegur üle 0,6 ei ole enam soovitatav, et vältida liigset valguskontrasti.



Foto 19

Tajutav hajuvalguse kvaliteet ruumis 2 aknaklaasi osakaaluga 15, 30, 50 ja 80%. Aknaklaasi päikesetegur on 1 (ilma klaasita).

Päevavalgusaken ühtlustab hajuvalguse jagunemist ruumis. Seega päevavalguse seisukohalt ja eeskätt valguse ühtlase jagunemise seisukohalt vähendab päevavalgusakna konstruktsioon kontrastriiguse esinemist.

Jahutuskoormus ja päevvalgustegur

Joonis 13 näitab tulemusi ruumile nr 1 ja joonis 14 ruumile nr 2 nii tavalise akna kui ka päevavalgusakna korral erinevates ilmakaartes ja illustreerib, milliste aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioonide korral on tagatud olukord, et ruumi töötsooni madalaim päevvalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ja ruumi jahutuskoormus on 100 W/m^2 või alla selle. Kui ruumis soovitakse tagada mõlemad mainitud tulemused, peaks aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioon jääma joonisel mainitud helehalli ala piiridesse. Viirutatud piirkond halli ala all tähendab, et ruumi töötsooni madalaim päevvalgustegur on alla 2 ja piirkond halli piirkonna peal tähendab, et ruumi jahutuskoormus ületab 100 W/m^2 .

Siintoodud joonistele ei ole kantud kontrasträiguse piirkonda. Samas tasub jooniseid analüüsides meeles pidada, et teatud juhtudel võib suurte aknapinna osakaalu või madala päikeseläbivusteguri juures siiski kontrasträigus esineda.

Nagu joonistelt 13 ja 14 näha, on põhjasuunda kavandatud ruumidel väga suur valikuvõimalus aknasuuruse ja -klaasi päikeseläbivusteguri valikul. Kuna otsene päikesekiirgus põhjasuunda ei mõjuta, pole eriti suurt riski, et jahutuskoormus ületaks seal 100 W/m^2 . Samas võib liiga väike aknaklaasi suurus või liiga madal päikeseläbivustegur või mõlema kombinatsioon tähendada seda, et ruumi töötsooni päevvalgustegur on alla 2.

Tagamaks nii mainitud päevvalguse kui ka jahutusvajaduse nõudeid, saaks lõunasuuna korral ruumis 1 kasutada 35–95% suurusi tavalisi aknaid ja 50–65% suurusi päevavalgusaknaid. Ruumis 2 võivad tavalised aknad moodustada 15–95% ja päevavalgusaknad 25–95% fassaadi pinnast.

Järgnevalt on näidatud võimalikke aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioone, et saavutada olukord, kus ruumi töötsooni madalaim päevvalgustegur ei ole alla 2 ja ruumi jahutuskoormus oleks vastavalt kas 50, 75 või 100 W/m^2 .

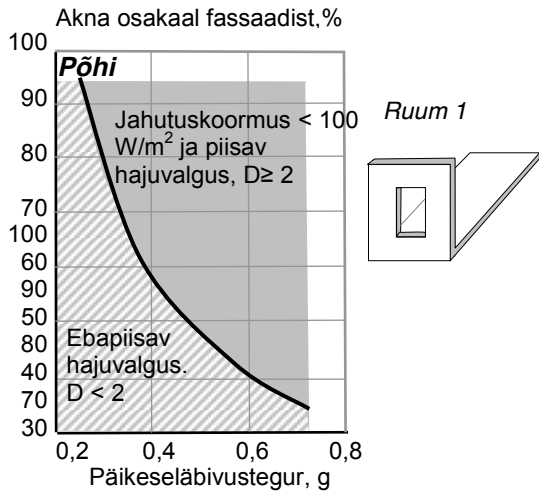
Arvutuslik jahutuskoormus	Ida Ruum 1	Ida Ruum 2	Lõuna Ruum 1	Lõuna Ruum 2	Lääs Ruum 1	Lääs Ruum 2	Põhi Ruum 1	Põhi Ruum 2
$D \geq 2$ 100 W/m^2	0,24–0,38	0,16–0,28	0,24–0,28	0,16–0,19	0,24–0,33	0,16–0,25	0,24–0,7	0,16–0,66
$D \geq 2$ 75 W/m^2	0,24–0,3	0,16–0,2	–	–	0,24–0,25	0,16	0,24–0,7	0,16–0,66
$D \geq 2$ 50 W/m^2	–	–	–	–	–	–	0,24–0,7	0,16–0,66

Juhul kui ruumis nr 2 soovitakse lõunasuunal täita päevavalgustingimusi ja samal ajal tagada ruumi jahutuskooormus mitte üle 75 W/m^2 , oleks ainuke võimalus kavandada ruum nr 2 päevavalgusaknaga.

<i>Jahutus- vajadus,</i>	<i>Lõuna</i> <i>Ruum 1</i>		<i>Lõuna</i> <i>Ruum 2</i>	
	<i>Tavaline aken</i>	<i>Päevavalgus- aken</i>	<i>Tavaline aken</i>	<i>Päevavalgus- aken</i>
<i>D ≥ 2; 100 W/m²</i>	0,24–0,28	0,4–0,42	0,16–0,19	0,19–0,36
<i>D ≥ 2; 75 W/m²</i>	–	–	–	0,19–0,29
<i>D ≥ 2; 50 W/m²</i>	–	–	–	–

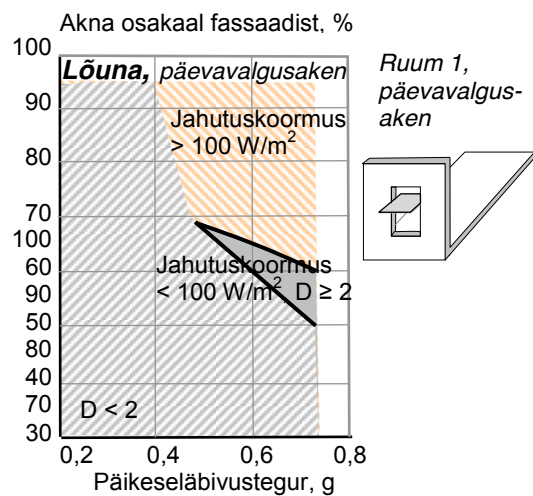
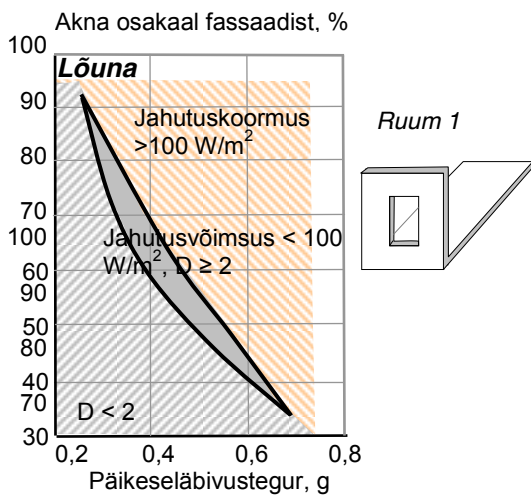
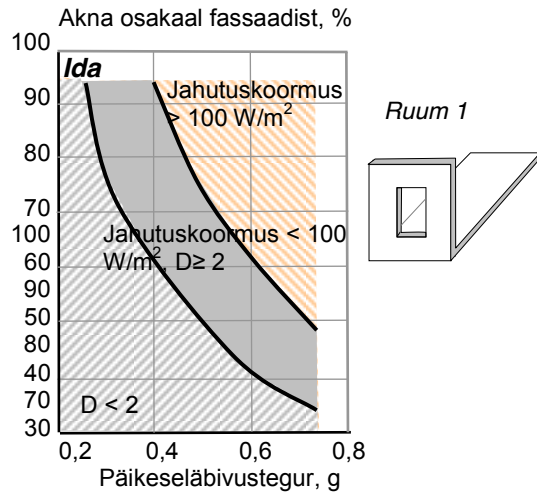
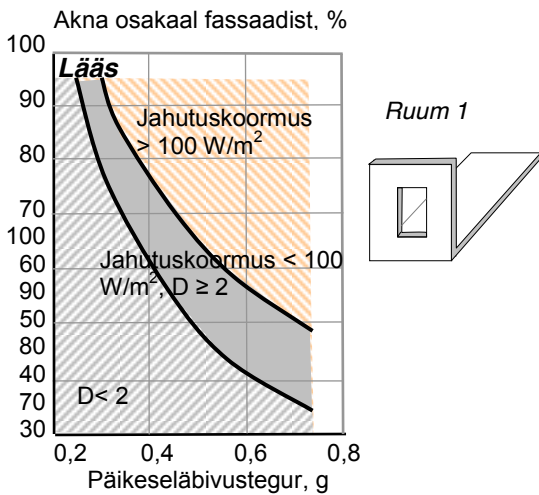
Olukorras, kui ruumi lubatud maksimaalne küttekooormus võib ületada 50 W/m^2 kohta ja eeldades, et kasutatakse aknaklaasi soojusjuhtivusteguriga $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ kohta, tulekski põhimõtteliselt fassaadi kavandamisel otsuste langetamisel lähtuda joonistest 13 ja/või 14. Seda sellepärast, et isegi väga suur aknaklaasi osakaal ei tingi kõrgemat küttekooormust kui 50 W/m^2 .

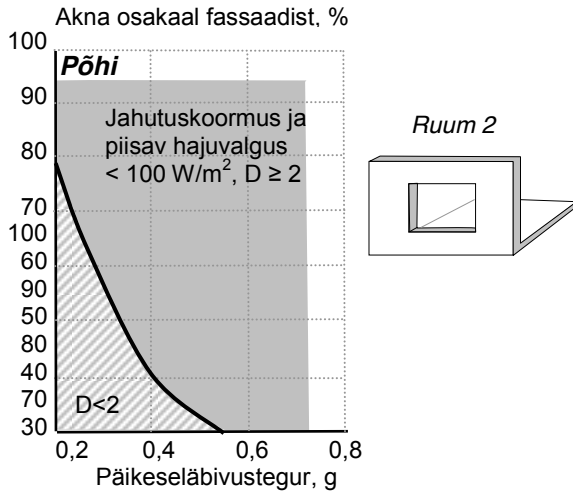
Kui aga lubatud maksimaalne küttekooormus ei tohi ületada näiteks 50 W/m^2 , tuleks fassaadi kavandamisel arvesse võtta ka küttekooormuse kujunemise eripära. Küttekooormuse seost hajuvalguse ja jahutuskooormustega on käsitletud järgnevatel peatükkides.



Joonis 13

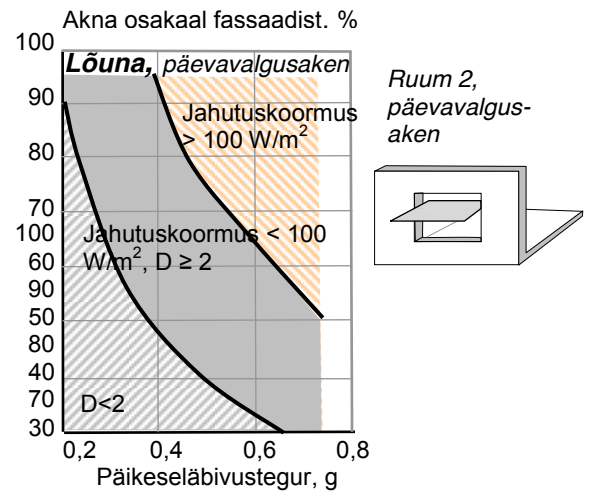
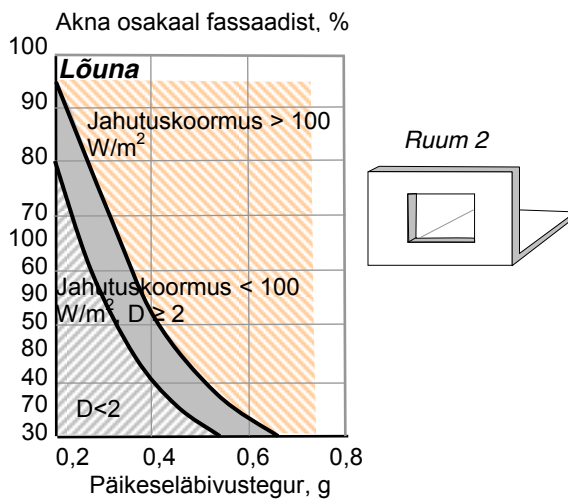
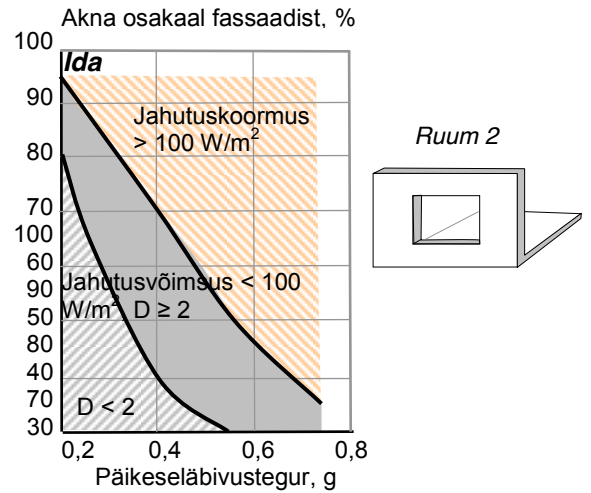
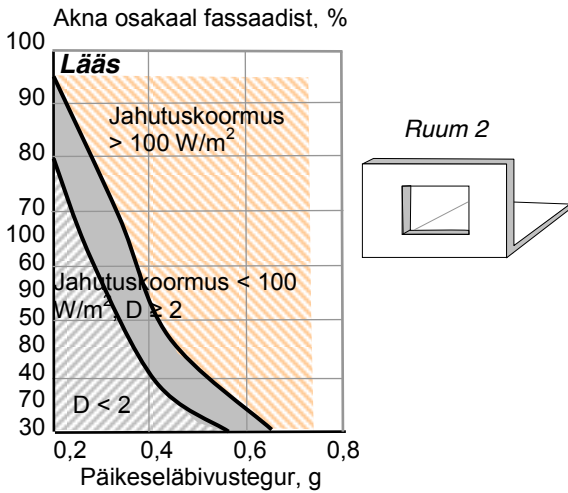
Võimalikud aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioonid ruumile nr 1, mille korral on tagatud olukord, kus ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ja ruumi jahutuskoormus on 100 W/m^2 või alla selle.





Joonis 14

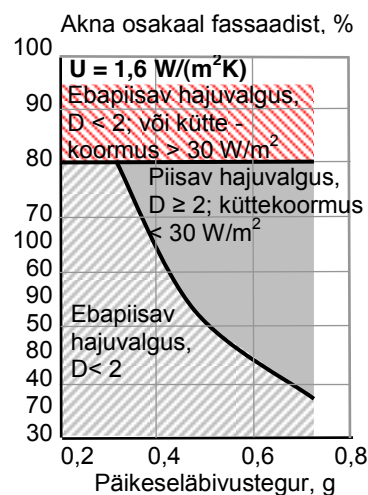
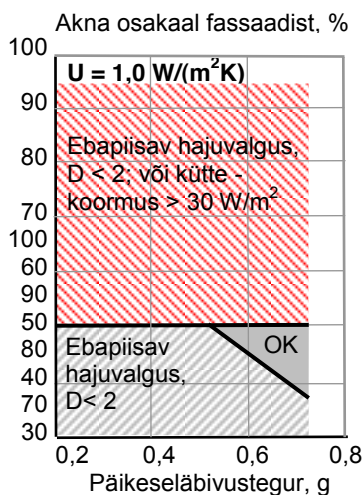
Võimalikud aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioonid ruumile nr 2, mille korral on tagatud olukord, kus ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ja ruumi jahutuskoormus on 100 W/m^2 või alla selle.



Küttekoormus ja päevavalgustegur

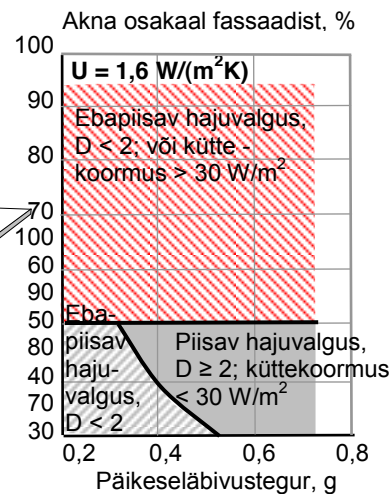
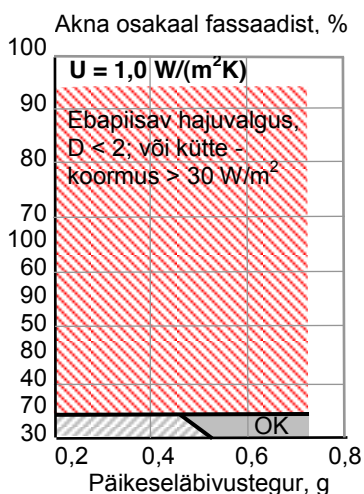
Joonis 15 näitab tulemusi ruumile nr 1 ja joonis 16 ruumile nr 2 ning illustreerib, milliste aknaklaasi osakaalude korral on tagatud olukord, et ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle. Joonistel on kujutatud kaks alternatiivset aknaklaasi soojusjuhtivustegurit, vastavalt $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ vasakpoolsetel joonistel ja $1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ parempoolsetel. Kui ruumis soovitakse tagada mõlemad mainitud tulemused, peaks aknaklaasi osakaal jääma joonisel näidatud halli ala piiridesse. Viirutatud piirkond halli ala all tähendab, et ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on alla 2 ja piirkond halli piirkonna peal tähendab, et ruumi küttekoormus ületab 30 W/m^2 .

Tagamaks nii mainitud päevavalguse kui ka küttekoormuse nõudeid aknaklaasi soojusjuhtivuse $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ korral, saaks ruumis 1 kasutada maksimaalselt kuni 80% suurusi aknaid fassaadi pindalast ja ruumi nr 2 korral 50% suurusi aknaid fassaadi pindalast. Soojusjuhtivuse $1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ korral saaks ruumis 1 kasutada maksimaalselt kuni 50% suurusi aknaid fassaadi pindalast ja ruumi nr 2 korral 35% suurusi aknaid fassaadi pindalast.



Joonis 15

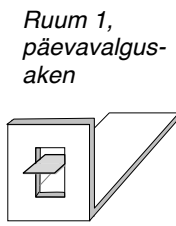
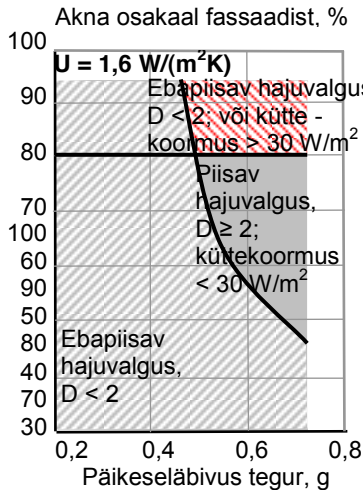
Võimalikud aknaklaasi osakaalu korral tagatud olukorrad, kus ruumi 1 töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle.



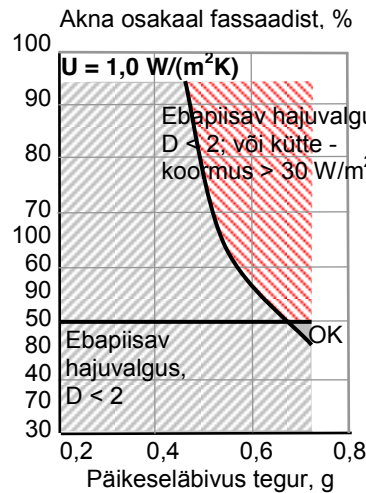
Joonis 16

Võimalikud aknaklaasi osakaalu korral tagatud olukorrad, kus ruumi 2 töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle.

Järgnevad joonised näitavad tulemusi olukorras, mil kasutatakse päevavalgusaknaid. Joonis 17 näitab tulemusi ruumile nr 1 ja joonis 18 ruumile nr 2 ning illustreerib, milliste aknaklaasi osakaalude korral on tagatud olukord, et ruumi töötsooni madalaim päevvalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle.

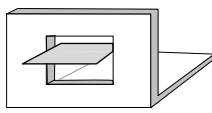
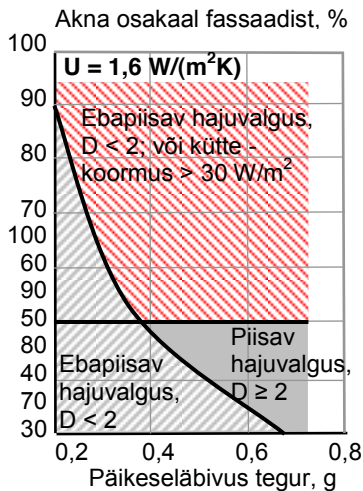


Ruum 1, päevavalgusaken

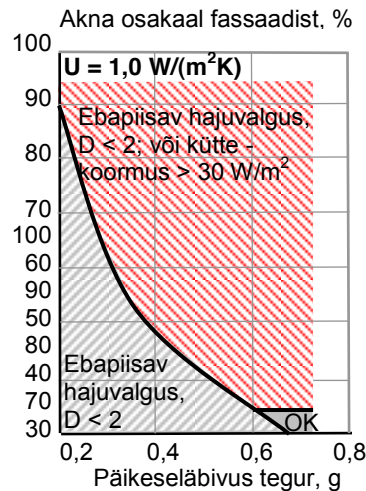


Joonis 17

Võimalikud aknaklaasi osakaalu korral tagatud olukorrad, kus päevavalgusaknaga ruumi 1 töötsooni madalaim päevvalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle.



Ruum 2, päevavalgusaken



Joonis 18

Võimalikud aknaklaasi osakaalu korral tagatud olukorrad, kus päevavalgusaknaga ruumi 2 töötsooni madalaim päevvalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle.

Olgu siinkohal veelkord lisatud, et päevavalgusakna konstruktsioon üldjuhul ei tohiks mõjutada küttekoormuse kujunemist.

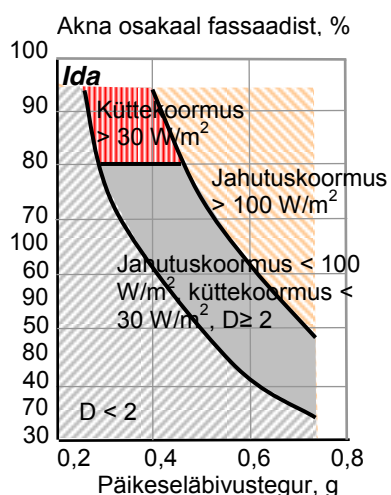
Kütte- ja jahutuskoormus ning päevvalgustegur

Joonised 20 ja 21 näitavad tulemusi ruumile nr 1 ja joonised 22 ja 23 ruumile nr 2 nii tavalise akna kui ka päevavalgusakna korral erinevates ilmakaartes ning illustreerib, milliste aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri kombinatsioonide korral on tagatud olukord, et ruumi töötsooni madalaim päevvalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$), ruumi jahutuskoormus on 100 W/m^2 või alla selle ja ruumi küttekoormus 30 W/m^2 või alla selle. Kui ruumis soovitakse tagada kõik mainitud tulemused, peaks aknaklaasi osakaalu ja

päikeseläbivusteguri kombinatsioon jääma joonisel mainitud helehalli ala piiridesse.

Joonis 19 seletab jooniste 20–23 erinevate piirkondade tähendust. Viirutatud piirkond hallist alast vasakul tähendab, et ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on alla 2, piirkond hallist piirkonnast paremal tähendab, et ruumi jahutuskooormus ületab 100 W/m^2 ja viirutatud piirkond halli ala peal tähendab, et ruumi küttekooormus ületab 30 W/m^2 . Kontrasträiguse piirkonda joonistele kantud ei ole. Samas tasub fassaadi kavandamisel teatud tingimuste korral arvestada ka kontrasträigusega.

Joonistel 20–23 on helehallile piirkonnale kirjutatud tähekoombinatsioon „OK”, mis tähendab, et see piirkond võiks olla fassaadi kavandamisel eesmärk. Joonistel 20–23 ei ole erinevate piirkondade tekste pikalt välja kirjutatud, kuna need muudaksid joonised raskemini loetavamaks.

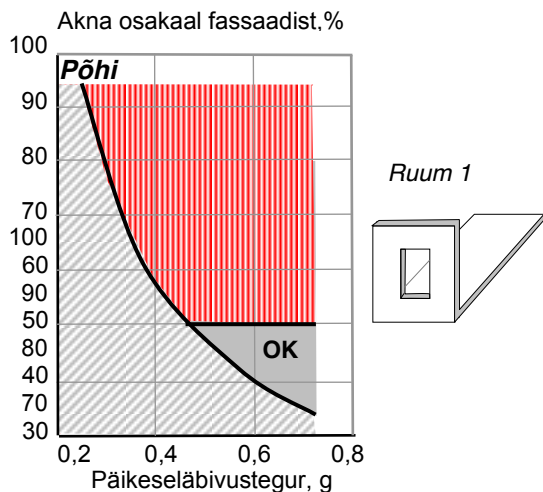


Joonis 19

Võimalikud aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioonid, mille korral on tagatud olukorrad, kus ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$); ruumi jahutuskooormus on 100 W/m^2 või alla selle ja ruumi küttekooormus on 30 W/m^2 või alla selle.

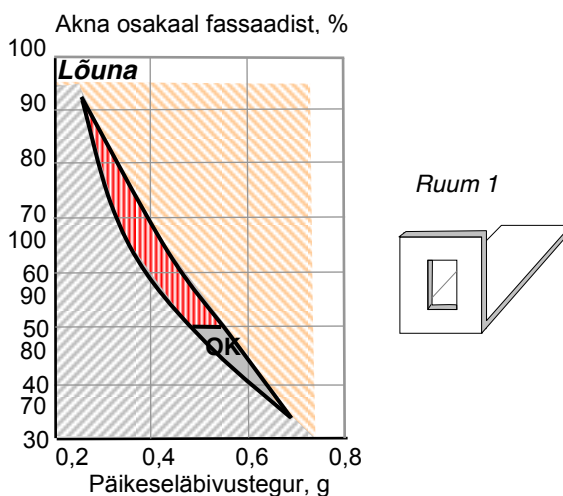
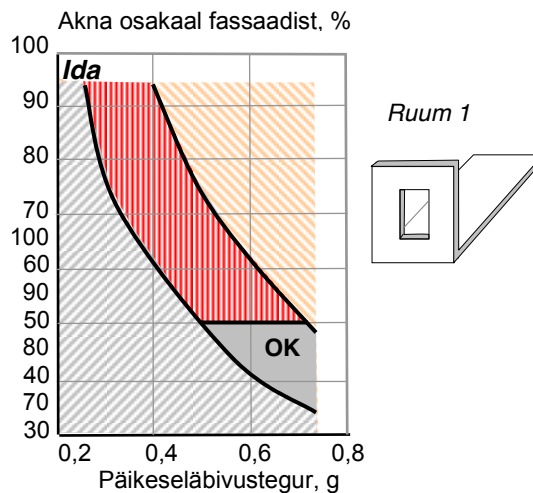
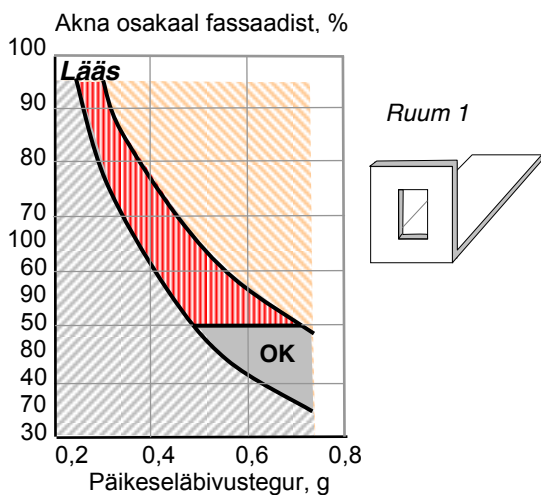
Joonistel 20 ja 22 on esitatud tulemused, kasutades aknaklaasi soojusjuhtivust $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, ja joonistel 21 ja 23 aknaklaasi soojusjuhtivust $1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

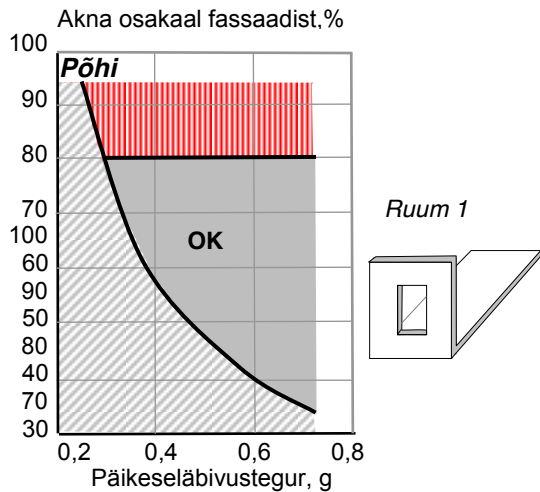
Joonised annavad hea ülevaate, kuidas madala esmainvesteeringu ja piisava loomuliku valgusega (ühiskondlike) hoonete kavandamisel tuleks parima lõpplahenduse saamiseks igat tüüpruumi eraldi analüüsida. Antud näites on komplekselt analüüsitud kriteeriume nagu päevavalgus, küttekooormus ja jahutuskooormus.



Joonis 20

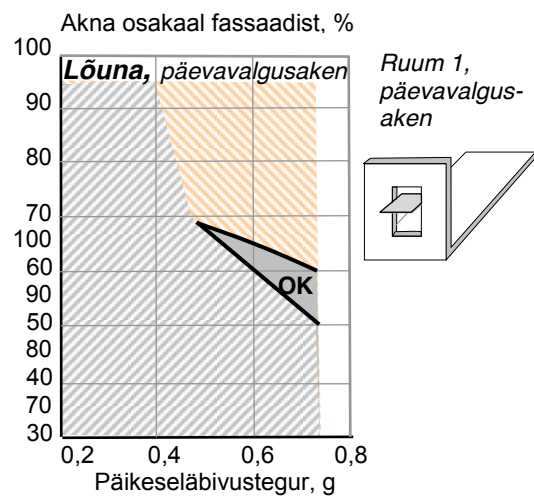
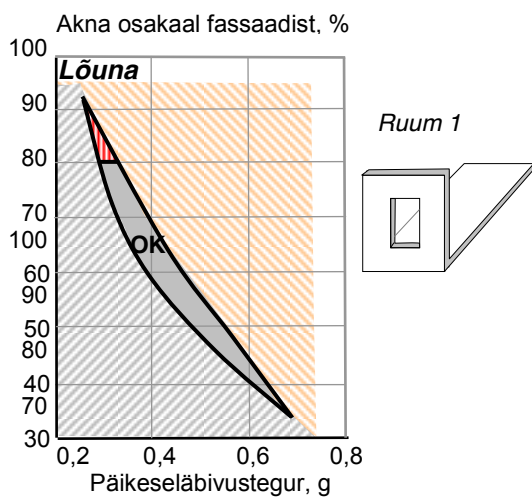
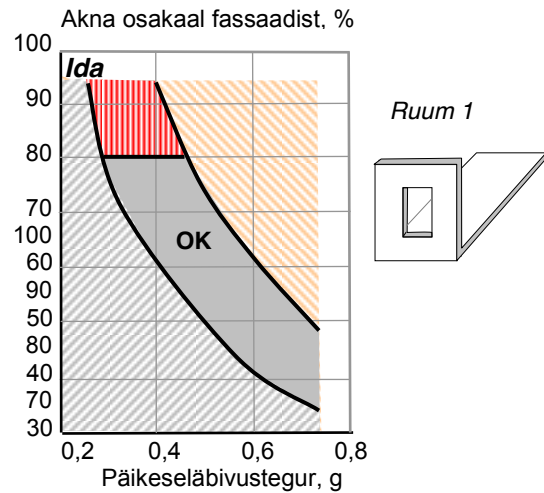
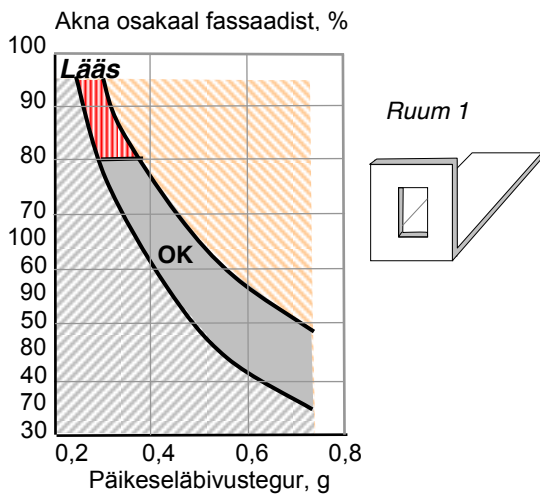
Võimalikud akn klaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioonid ruumile nr 2, mille korral on tagatud olukord, kus ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ruumi jahutuskoormus on 100 W/m^2 või alla selle ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle. $U\text{-arv} = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

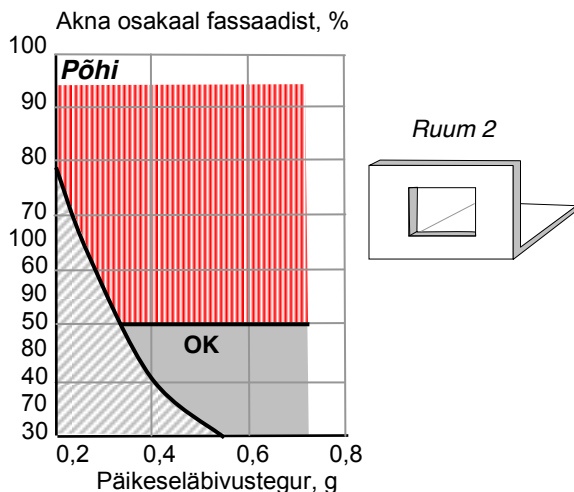




Joonis 21

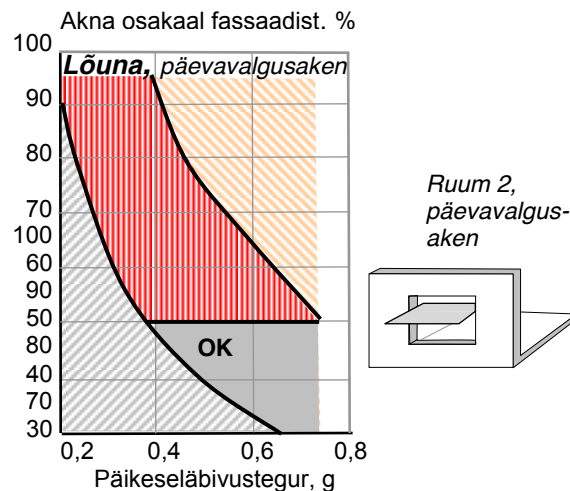
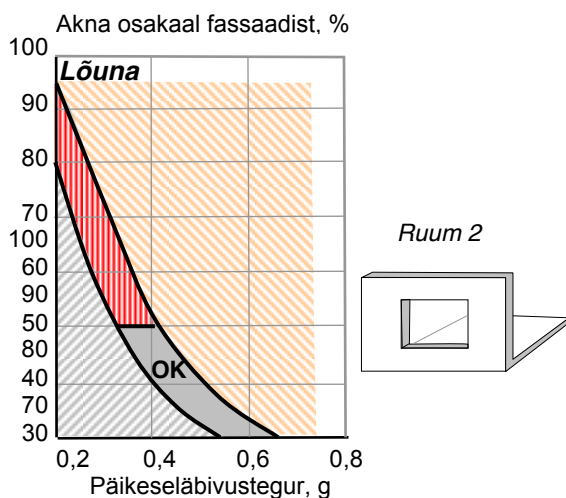
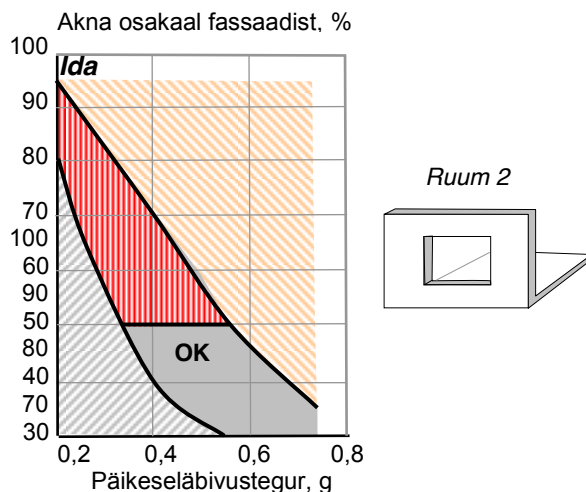
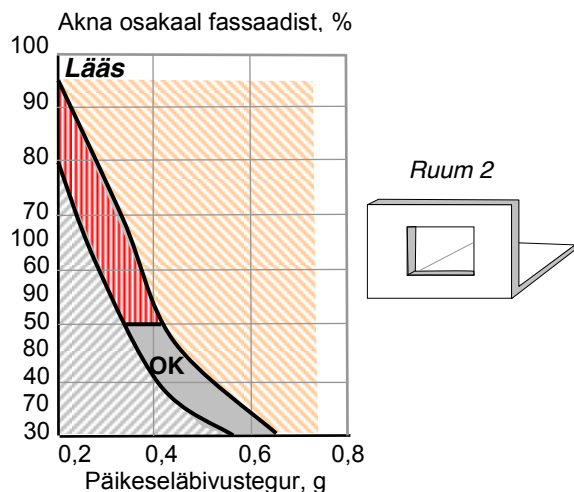
Võimalikud akn klaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioonid ruumile nr 2, mille korral on tagatud olukord, kus ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ruumi jahutuskoormus on 100 W/m^2 või alla selle ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle. $U\text{-arv} = 1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

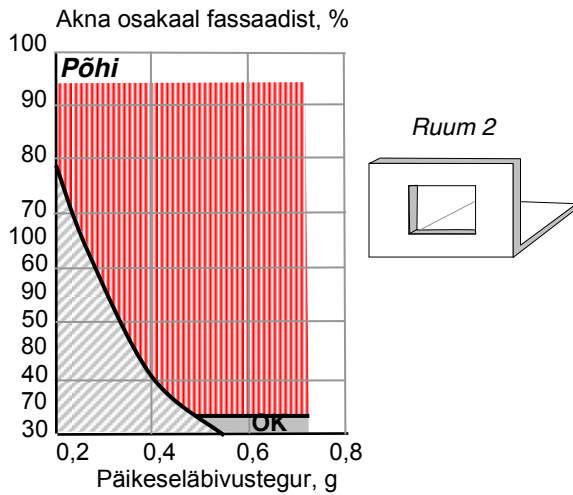




Joonis 22

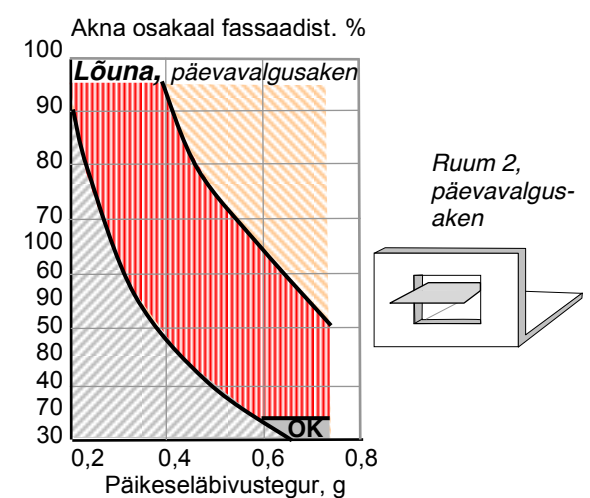
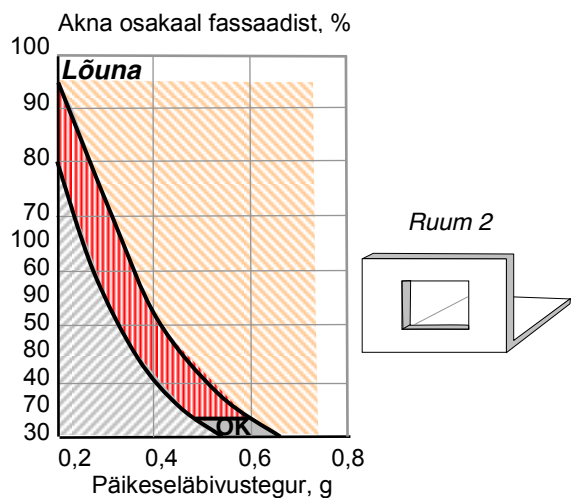
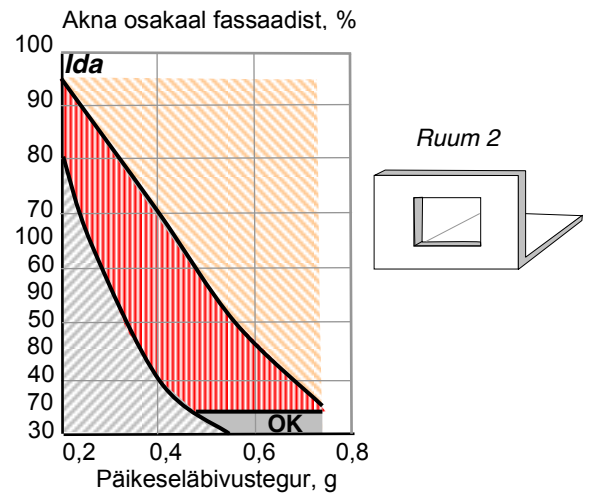
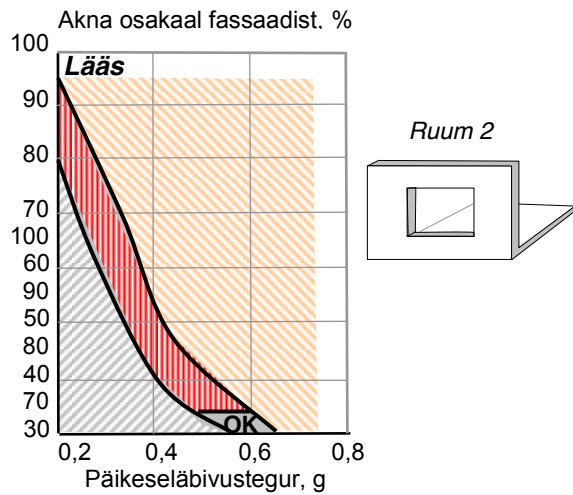
Võimalikud akn klaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioonid ruumile nr 2, mille korral on tagatud olukord, kus ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ruumi jahutuskoormus on 100 W/m^2 või alla selle ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle. $U\text{-arv} = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.





Joonis 23

Võimalikud aknaklaasi osakaalu ja päikeseläbivusteguri korrutise kombinatsioonid ruumile nr 2, mille korral on tagatud olukord, kus ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) ruumi jahutuskoormus on 100 W/m^2 või alla selle ja ruumi küttekoormus on 30 W/m^2 või alla selle. $U\text{-arv} = 1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.



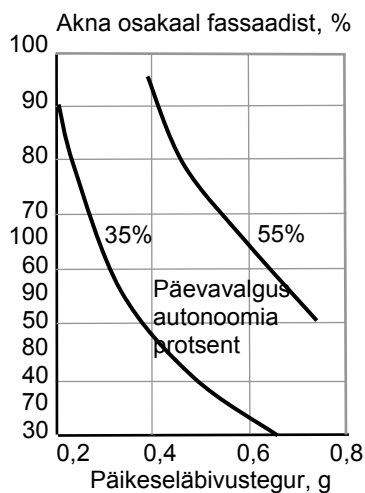
Päevavalgusautonoomia analüüs

Järgnevalt on analüüsitud ruumide 1 ja 2 päevavalgusautonoomiat ehk kuivõrd suure aja tööajast on ruumi tööpinnal valgustihedus 300 lx ja kõrgem, ent alla 2000 lx – st olukord, mil piisab hajuvalgusest ja tehisvalgust tarvis ei ole.

Erinevad piirkonnad joonisel on samad, mida kasutati varasematel joonistel. Need indikeerivad päevavalguspiirkonda, kaasa arvatud kontrasträigust, kütte- ja jahutuskoormuseid. Tulemused on esitatud aknaklaasi soojusjuhtivusele 1,0 W/(m²K) kohta.

Päevavalgusautonoomia on antud 0% kontrasträigust eraldavale alale, sest on eeldatud, et kontrasträiguse korral inimesed sulgevad kardinad ja ruumi valgustab tehisvalgus.

Joonis nr 24 seletab päevavalgusautonoomia tulemuste jooniseid.

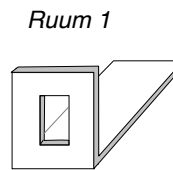
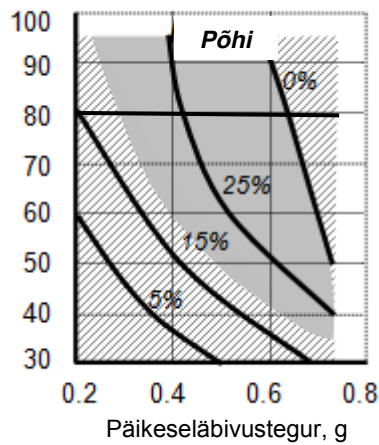


Joonis 24

Päevavalgusautonoomia analüüsi näitejoonis

Päevavalgusautonoomia tulemusi kasutatakse ka järgnevas energiatarbe arvutamise peatükis. Tehisvalguse väljalülitamine või automaatne väljalülitamine olukorras, kui ruumi kasutajad seda ei vaja, võib tuua hoone koguenergiatarbimises märkimisväärset säästu.

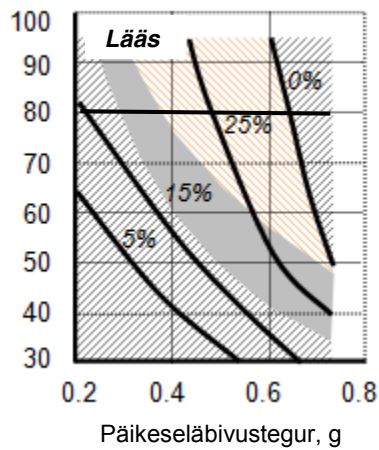
Akna osakaal fassaadist, %



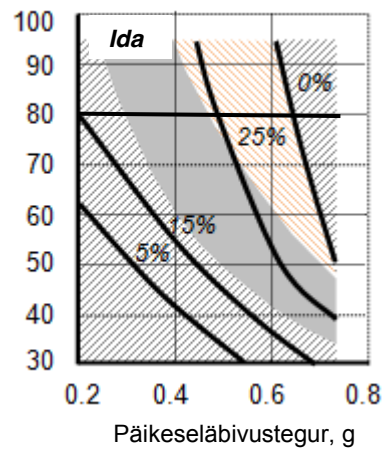
Joonis 25

Päevavalgusautonoomia analüüs ruum 1

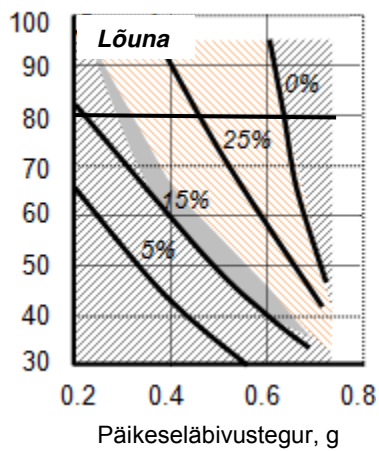
Akna osakaal fassaadist, %



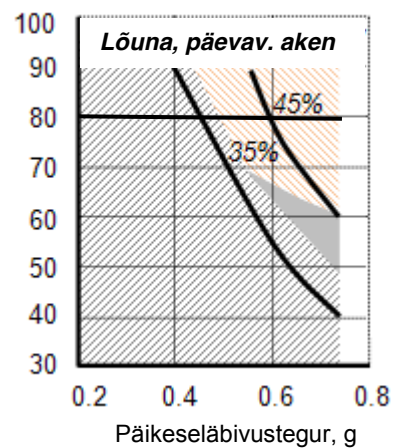
Akna osakaal fassaadist, %



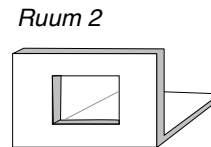
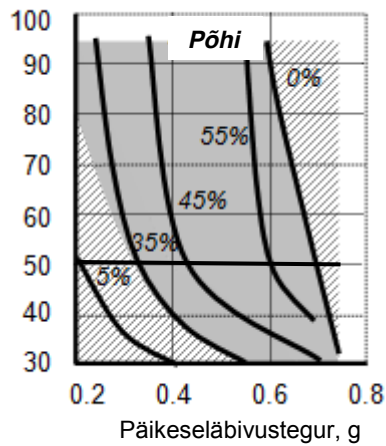
Akna osakaal fassaadist, %



Akna osakaal fassaadist, %



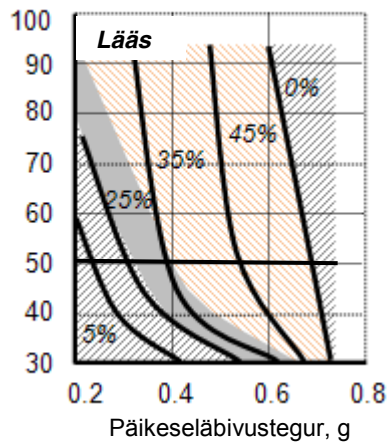
Akna osakaal fassaadist, %



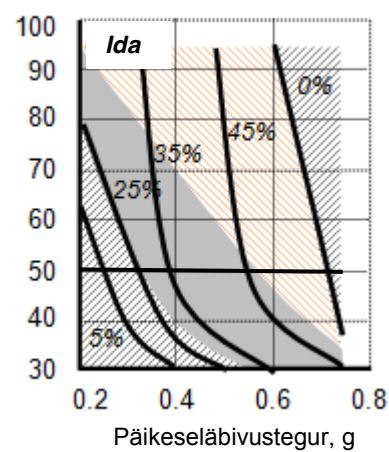
Joonis 26

Päevavalgusautonoomia analüüs ruum 2

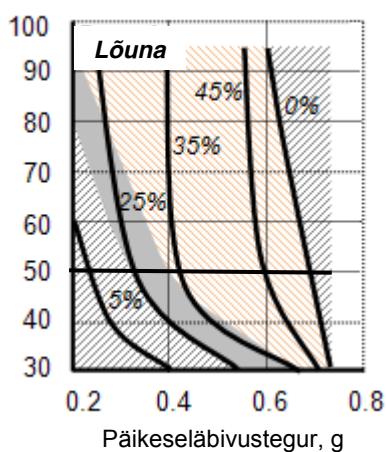
Akna osakaal fassaadist, %



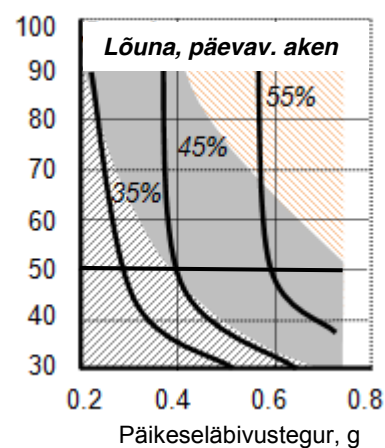
Akna osakaal fassaadist, %



Akna osakaal fassaadist, %



Akna osakaal fassaadist, %



Energiatarbe analüüs

Selles peatükis esitatud energiatarbe analüüsi näide toetub samadele lähteandmetele, millega tehti kütte ja jahutuse koormusarvutused. Energiaarvutusteks kasutati energiasimulatsiooniprogrammi IDAice. Arvutuste abil võrreldi lahendusi, mille korral on tagatud olukord, kus ruumi tõesooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$) olukorraga, mil päevavalguse tingimused ei ole täidetud. Võrdlusarvutus tehakse nii ruumile 1 kui ka ruumile 2. Aluseks võetakse mõlemal juhul ruum aknasuurusega 50% fassaadist aga erinevate päikeseläbivus teguritega. Aknaklaasi soojusjuhtivuseks on võetud $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kohta.

Tabel nr 2 näitab valitud päikeseläbivusteguri väärtused erinevatele klaasidele. Variant nr 1 kirjeldab niinimetatult päevavalguse nõuetele mittevastavat olukorda ja variant nr 2 olukorda, kus ruumi tõesooni madalaim päevavalgustegur on 2 või üle selle ($D \geq 2$).

Tabel 2 Energiaarvutuse variantides kasutatud päikeseläbivusteguri väärtused

Suund	Põhi	Ida	Lõuna	Lääs
Ruum 1				
Variant 1, „pime”	0.20	0.20	0.20	0.20
Variant 2, „piisavalt hajuvalgustatud”	0.65	0.60	0.55	0.50
Ruum 2				
Variant 1, „pime”	0.20	0.20	0.20	0.20
Variant 2, {piisavalt hajuvalgustatud”	0.35	0.35	0.35	0.35

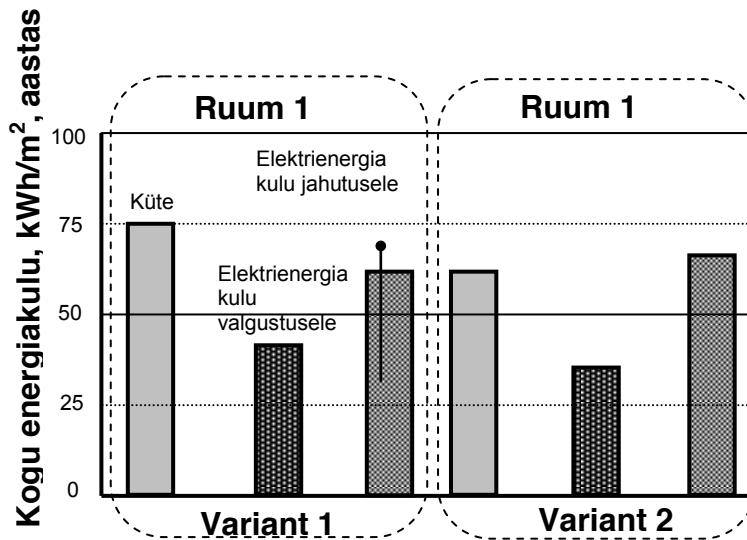
Elektrivalgustuse kasutusaja sisestamisel on lähtutud päevavalgusautonoomia joonistest.

Joonised 27 ja 28 näitavad energiaarvutuse tulemusi. Joonistel on kujutatud eraldi energiakulu küttele, jahutusele ja elektrivalgusele. Joonis 27 näitab tulemusi ruumile 1 ja joonis 28 ruumile 2.

Tulemused ruumile 1 näitavad, et variandis 2 on energiatarbimine küttele $10 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ja elektrivalgusele $6 \text{ kWh}/\text{m}^2$ väiksem, aga samal ajal $6 \text{ kWh}/\text{m}^2$ suurem jahutussüsteemile. Kokkuvõtlikult on aga variant nr 2, mis vastab piisava hajuvalgusega variandile, madalama energiatarbega kui variant nr 1. Seega on analüüsi käigus leitud piisava hajuvalguse piirkond hilisema energiatarbe seisukohalt parem kui eeldatavalt madalama energiatarbega variant ehk nn ebapiisava hajuvalgusega ruum.

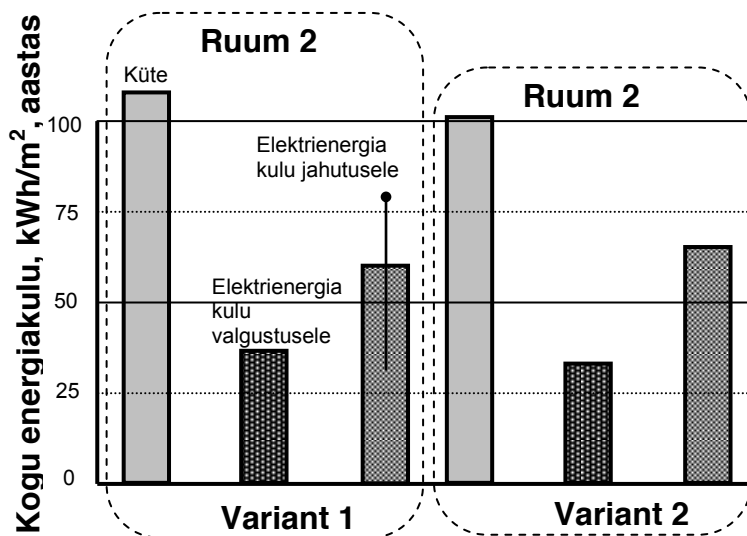
Tulemused ruumile 2 näitavad, et variandis nr 2 on energiatarbimine küttele $7 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ja elektrivalgusele $6 \text{ kWh}/\text{m}^2$ väiksem, aga samal ajal $3 \text{ kWh}/\text{m}^2$ suurem jahutussüsteemile. Kokkuvõtlikult on aga variant nr 2, mis vastab piisava hajuvalgusega variandile, madalama energiatarbega kui variant nr 1.

Seega sarnaselt ruumiga 1 on analüüsi käigus leitud piisava hajuvalguse piirkond hilisema energiatarbe seisukohalt parem kui eeldatavalt madalama energiatarbega variant, ehk nn ebapiisava hajuvalgusega ruum.



Joonis 27

Aastane energiatarbe küttele, jahutusele ja elektrivalgusele, ruum 1



Joonis 28

Aastane energiatarbe küttele, jahutusele ja elektrivalgusele, ruum 2

Kokkuvõte

Käesolevas töös sai näidatud, et normidekohane hajuvalguse hulk ruumis ei tähenda ilmingimata akna osakaalu 100% fassaadist, vaid teatud tingimustel piisab ka aknast, mille suurus on 30–40% fassaadist.

Hajuvalguse nõue, et ruumi töötsooni madalaim päevavalgustegur oleks 2 või kõrgem annab alumise aknaklaasi osakaalu ja päikeseteguri korrutise väärtuse. Selles töös oli see minimaalne otstarbeka korrutise kombinatsioon $\geq 0,24$ ruumitüübile 1 ja $\geq 0,16$ ruumitüübile 2. Korrutise kombinatsiooni kõrgeima väärtuse suurus oleneb tavaliselt jahutusvõimsuse nõudest. Antud näidete

puhul, kus lubatud küttekoormus võis olla alla 30 W/m^2 kohta, tuli aknasuuruse arvestamisel arvestada ka küttekoormusega. Teatud tingimustel, kui madalaima ja kõrgeima päevavalgusteguri erinevus ei ületa 20, võib korrutise kõrgeim kombinatsioon olla tingitud ka kontrasträigusest. Üldjuhul võib kontrasträigus olla probleem vaid põhjasuunal, kus see võib esineda juba väga madala jahutusvõimsuse korral. Kontrasträigust võib esineda ka teistes ilmakaartes, ent seda jahutusvõimsuse tingimustes $> 100 \text{ W/m}^2$ ehk olukorras, mida tuleks hoonete kavandamisel nahunii vältida.

Kuna otsene päikesekiirgus põhjasuunda ei mõjuta, saab hajuvalguse tingimused ruumis tagada sellisel viisil, et ruumi jahutusvõimsus oleks $\geq 30 \text{ W/m}^2$. Põhjasuunal kontrasträiguse ennetamiseks ei tohiks aknaklaasi osakaalu ja päikeseteguri korrutise väärtus olla $\geq 0,33$.

Hajuvalguse tingimuste täitmise korral lõunapoolses ruumis oleks jahutusvõimsus 80 W/m^2 või üle selle. Ruumis 2 lõunasuunal võiks kindlasti kaaluda päevavalgusakna või mõne muu varjestuselemendi kasutamist. Eesti laiuskraadil suudab lõunakülje välisvarjestus edukalt blokeerida otsest päikesekiirgust. Blokeeritud päikesekiirgus suvekuudel tähendab aga üldjuhul madalamat jahutusvõimsuse vajadust ja energiakulu jahutusele.

Uurimustöös tehtud testid näitavad, et võrreldes tavalise aknaga jaotab päevavalgusaken valguse ruumis ühtlasemalt. Kõrgeima ja madalaima päevavalgusteguri erinevus ruumis on tunduvalt väiksem kui tavalise akna puhul. Samas tuleb märkida, et kuigi päevavalgusakna konstruktsioon jaotab hajuvalguse ruumis ühtlaselt, laseb ta seda ruumi vähem. Mida väiksema sügavusega ja suurema fassaadipinnaga ruum on (näiteks testruum 2), seda otstarbekam on kasutada päevavalgusakent. Küttekoormust päevavalgusaken üldjuhul ei mõjuta.

Ida suunal oleks minimaalne jahutusvõimsuse vajadus, et täita hajuvalguse tingimusi, 55 W/m^2 või üle selle, lääne suunal umbes 60 W/m^2 või üle selle.

Ka lääneküljele võiks teatud tingimustes kavandada välisvarjestuse, seda eeskätt olukorras, kus läänepoolseid ruume ei kasutata pärast kella 16.00. Ida suund on Eesti tingimustes kõige problemaatilisem ja absoluutselt efektiivne päikesevarjestus selle külje päikesekiirguse blokeerimiseks puudub.

Energiatarbe analüüsi käigus demonstreeriti, et „piisava hajuvalgusega” kavandatud ruum on hilisema energiatarbe seisukohalt parem valik kui „ebapiisava hajuvalgusega” ruum.

Viited

- [1] Galasiu, A., Veitch, J., (2006) *Occupant Preferences and Satisfaction with the Luminous Environment and Control Systems in Daylit Offices: a Literature Review*. Energy and Buildings.
- [2] EVS – EN 12464 – 1:2003; *Valgus ja valgustus*.
- [3] EVS 894: *Loomulik valgustus siseruumides*.
- [4] Brown, C. (2001). *Sun, Wind and Light Architectural Design Strategies*. John Wiley and sons, inc.
- [5] Nabil, A., Mardaljevic, J., (2006) *Useful daylight illuminances*: Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University, The Gateway, Leicester LE1 9BH, UK
- [6] Vaher, K. (2010). *Tallink büroohoone päevavalguse, Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond*. Tallinn, TTÜ
- [7] Risthein, E. (2007). *Sissejuhatus energiatehnikasse*, Tallinna Tehnikaülikool Elektrienergia ja jõuelektroonika instituut.
- [8] Olli Seppänen, Matti Seppänen: *Hoone sisekliima kujundamine*. Tallinn 1998.