



**TAL
TECH**

SISEKLIIMA JA SELLE HINDAMINE

Martin Thalfeldt
Ehituse ja arhitektuuri instituut
Tallinna Tehnikaülikool

11.11.2022

MILLINE ON PARIM SISEKLIIMA?

- [PollEv.com/martinthalfe907](https://poll-ev.com/martinthalfe907)



MILLINE ON PARIM SISEKLIIMA?

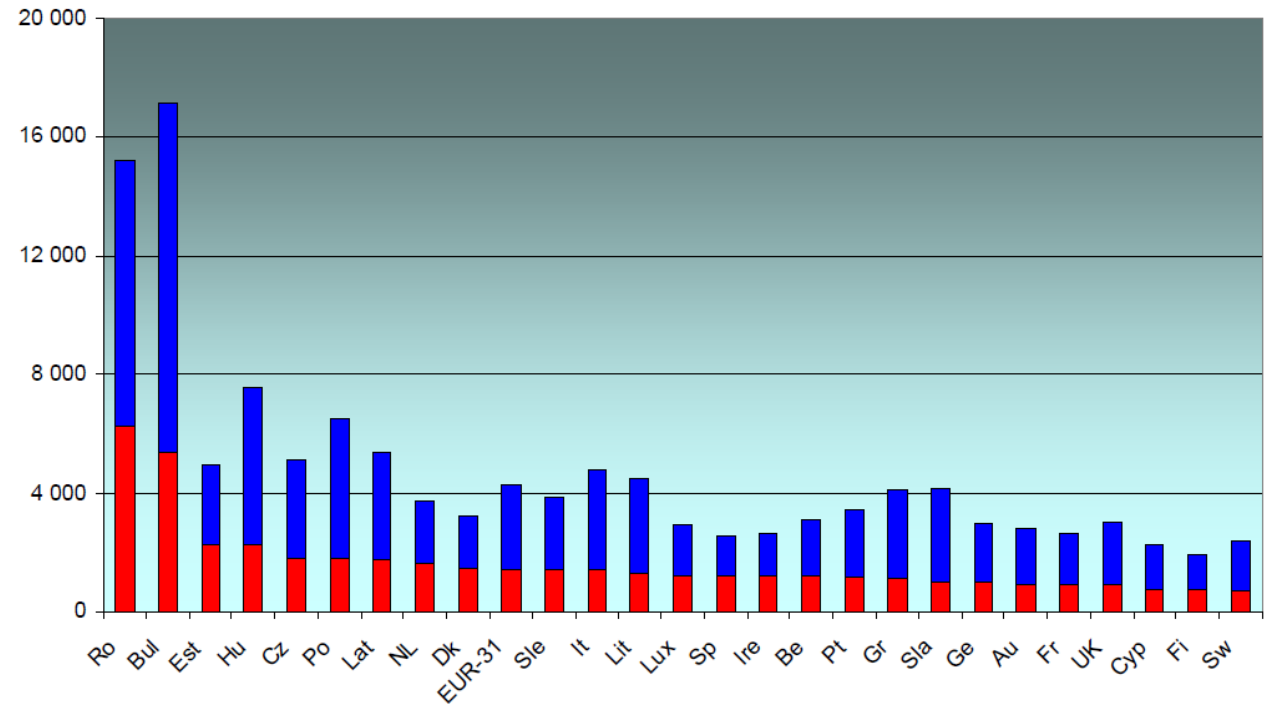
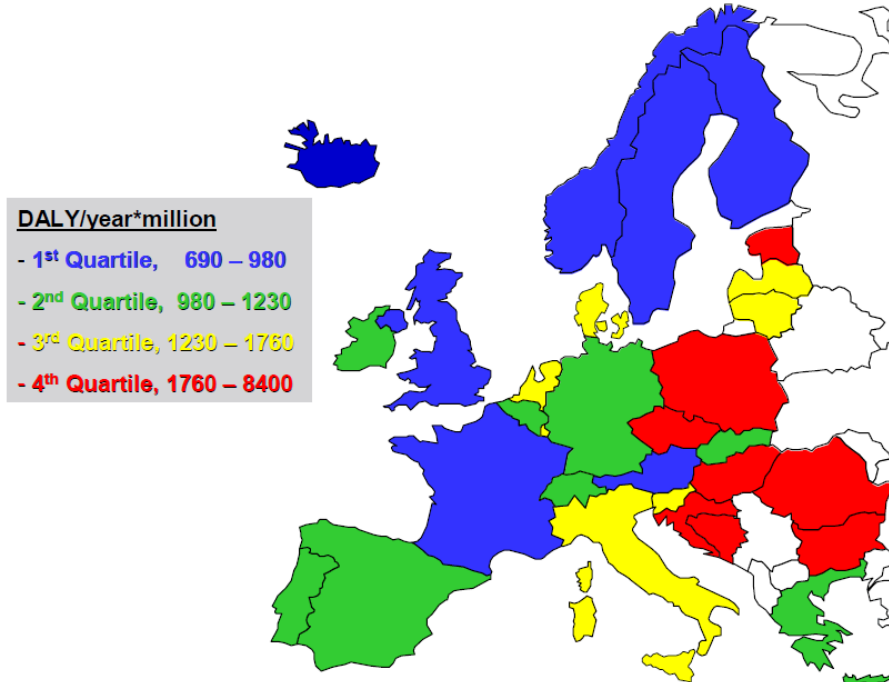
- Parim sisekliima on see, mida ei pane tähele

SISEKLIIMA

- Soojuslik mugavus
- Õhu kvaliteet
- Valgus
- Müra

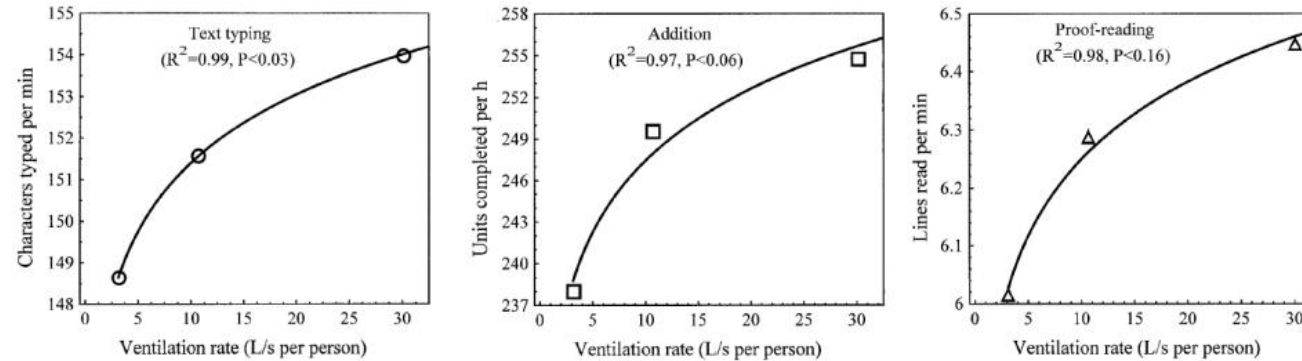
KEHVA SISEKLIIMA MÕJU RAHVATERVISELE JA MAJANDUSELE

- Puudulik sisekliima = 4900 DALY-t = **186 M€** riigile väljaminekut igal aastal

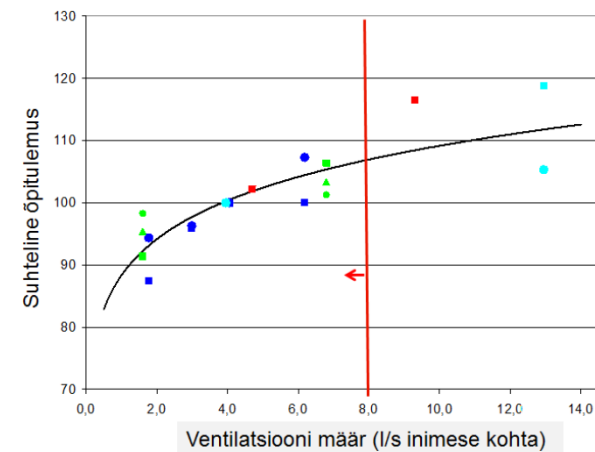
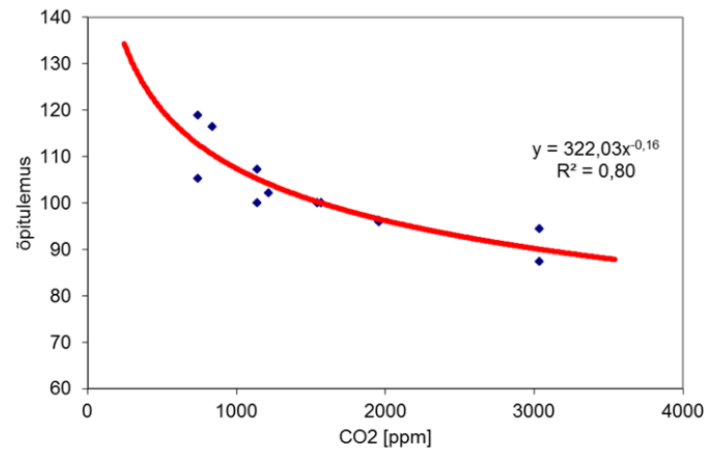


- DALY/aasta*miljon – disability adjusted lifeyear – tervelt elatud eluaastate kaotus. Sinine: välisõhu allikad, punane: siseõhu allikad. (IAIAQ, 2011)

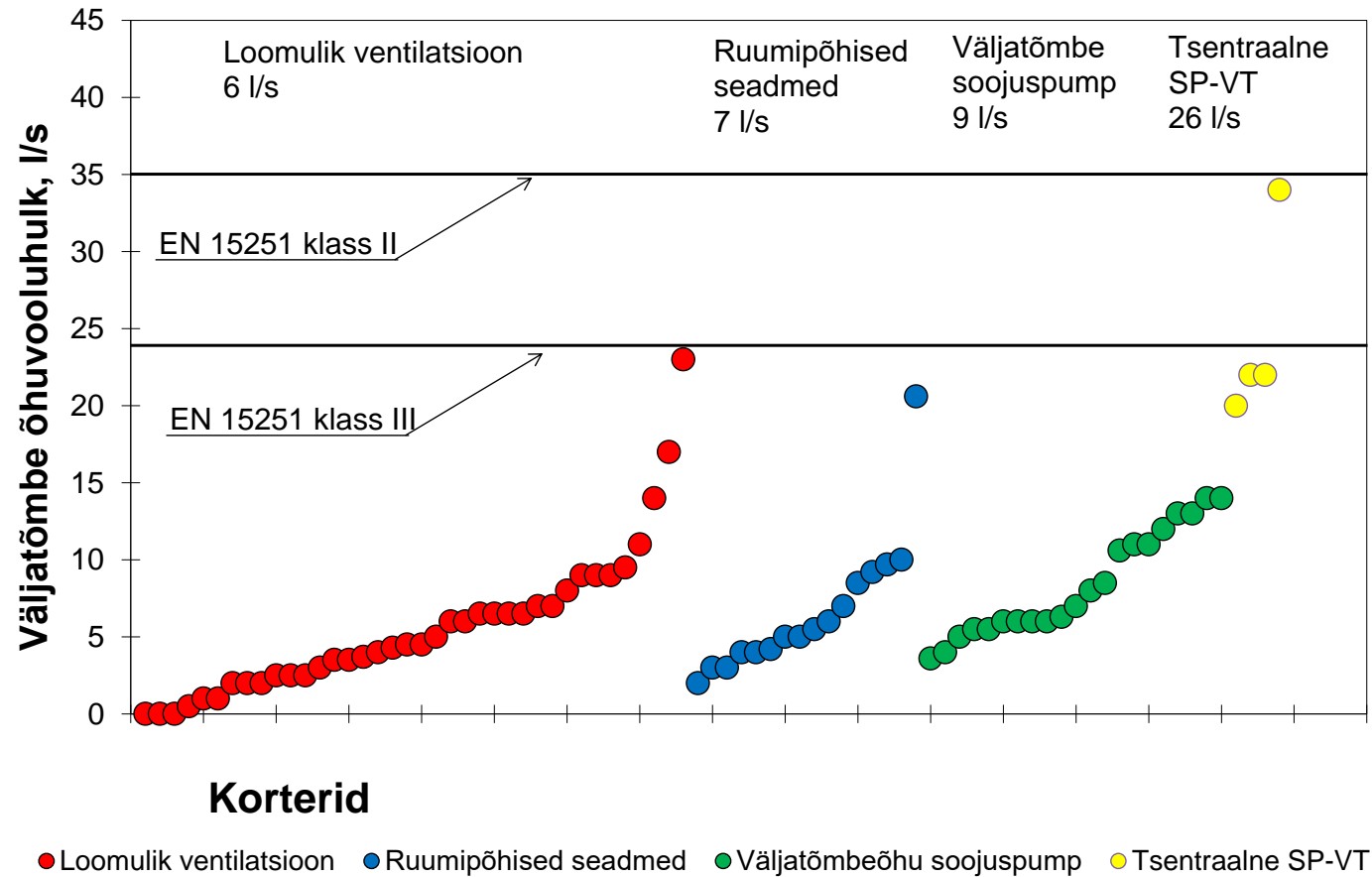
ÕHU KVALITEEDI MÕJU TOOTLIKKUSELE JA ÕPITULEMUSTELE



Joonis 9. Ümberkirjutamise, liitmise ja korrektuurilugemise produktiivsuse seos ventilatsiooniga

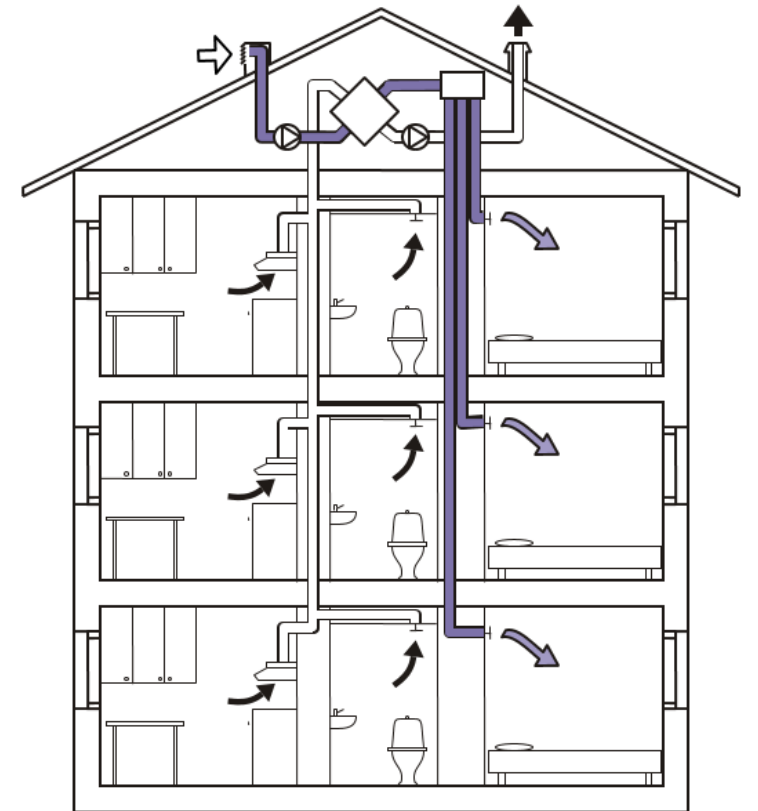
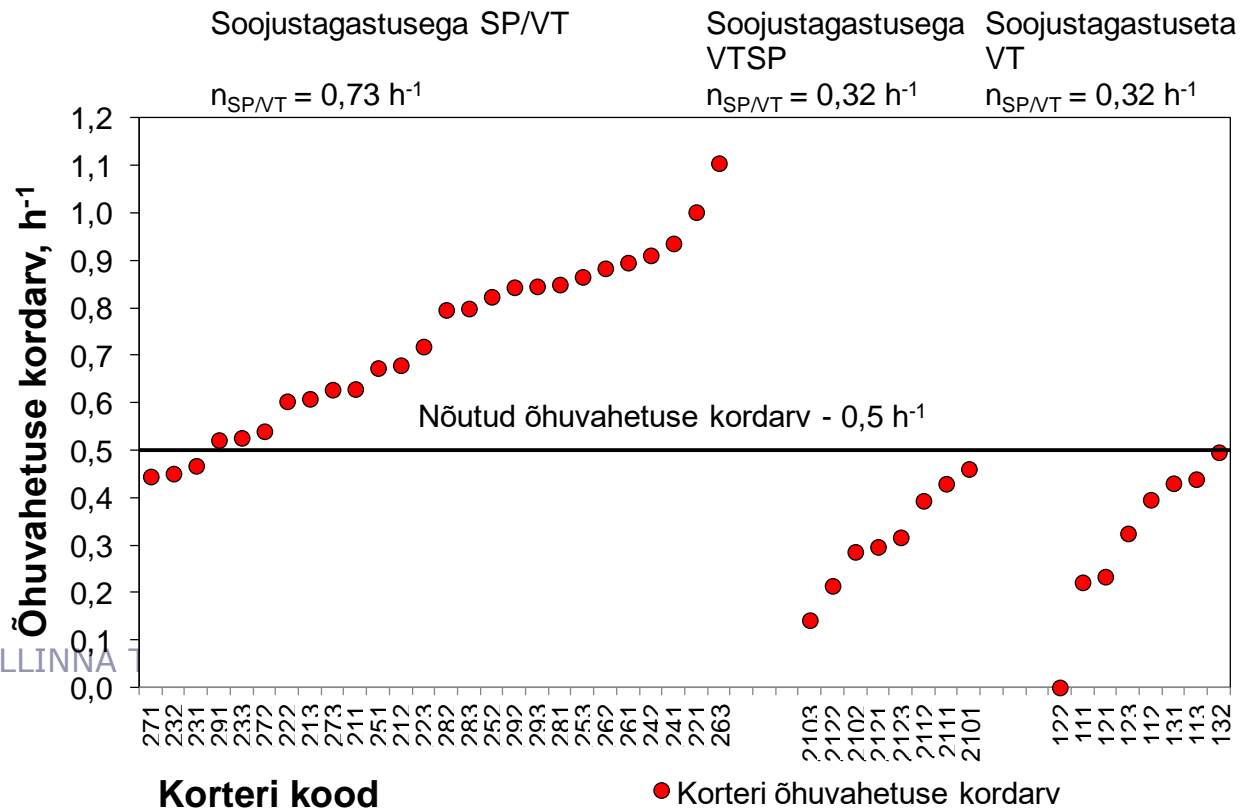


ÕHUVAHETUS ELAMUTES ERINEVATE VENTILATSIOONISÜSTEEMIDEGA



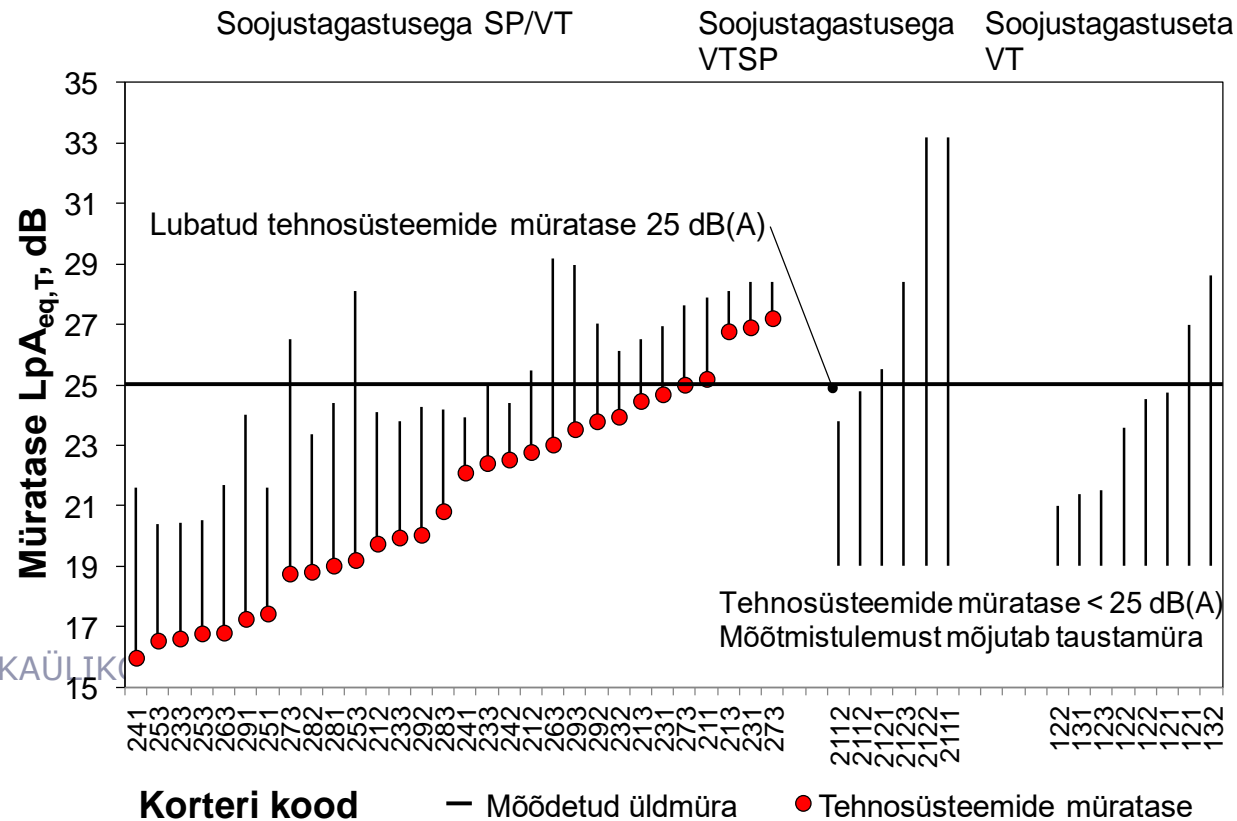
ÕHUVAHETUS VIIMATI RENOVEERITUD KORTERELAMUTES

- Vastavalt moodsustusprotokollidele on kõigis korterites projektikohane õhuvahetus tagatud
- Õhuvoolumulgad on moodsustatud kasutusaegses olukorras
- Kõikide korterite keskmine õhuvahetuse kordarv on $0,57 \text{ h}^{-1}$



VENTILATSIOONI MÜRA ON ÜLIOLULINE

- Tehnosüsteemide lubatud müratase (<25 dB(A)) oli tagatud 83 % mõõdetud elu- või magamistubadest
- Mürataseme piirväärtuse täitmine on teostatav
- Projekteerimisel tuleb müraarvutused teostada

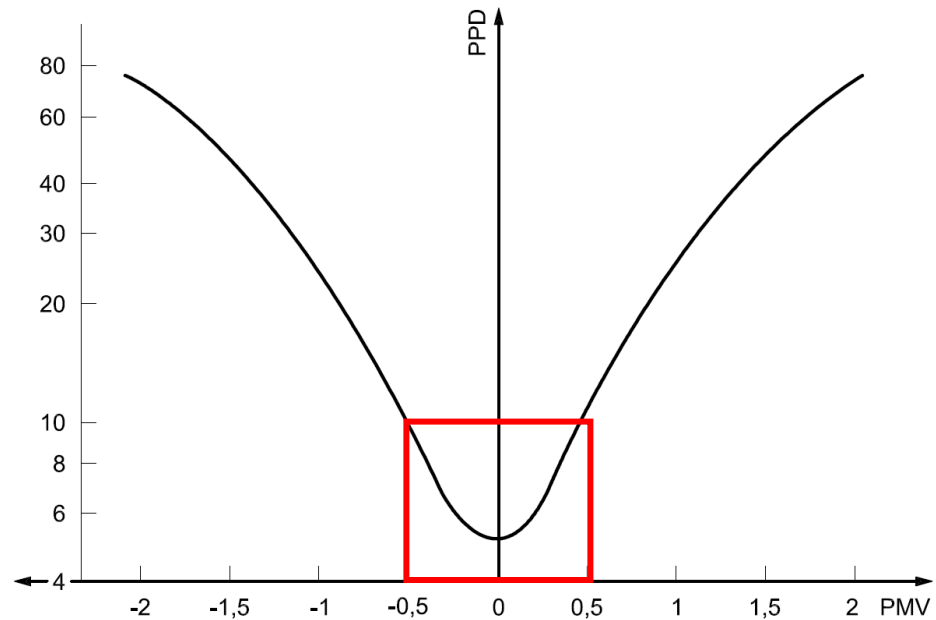


SISEKLIIMA KLASSIDE KIRJELDUS

Sisekliima klass	Selgitus
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitatav ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, nagu puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed
II	Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritavates hoonetes
III	Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes
IV	Sisekliima kvaliteedi väärtused, mis jäävad väljapoole eelmainitud klasse. Antud klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajal aastast

MILLINE ON PARIM SISEKLIIMA?

- Minimaalselt 5% inimestest on rahulolematud
- Projekteerimise tavapraktika tagab rahulolematute osakaal 5-15%

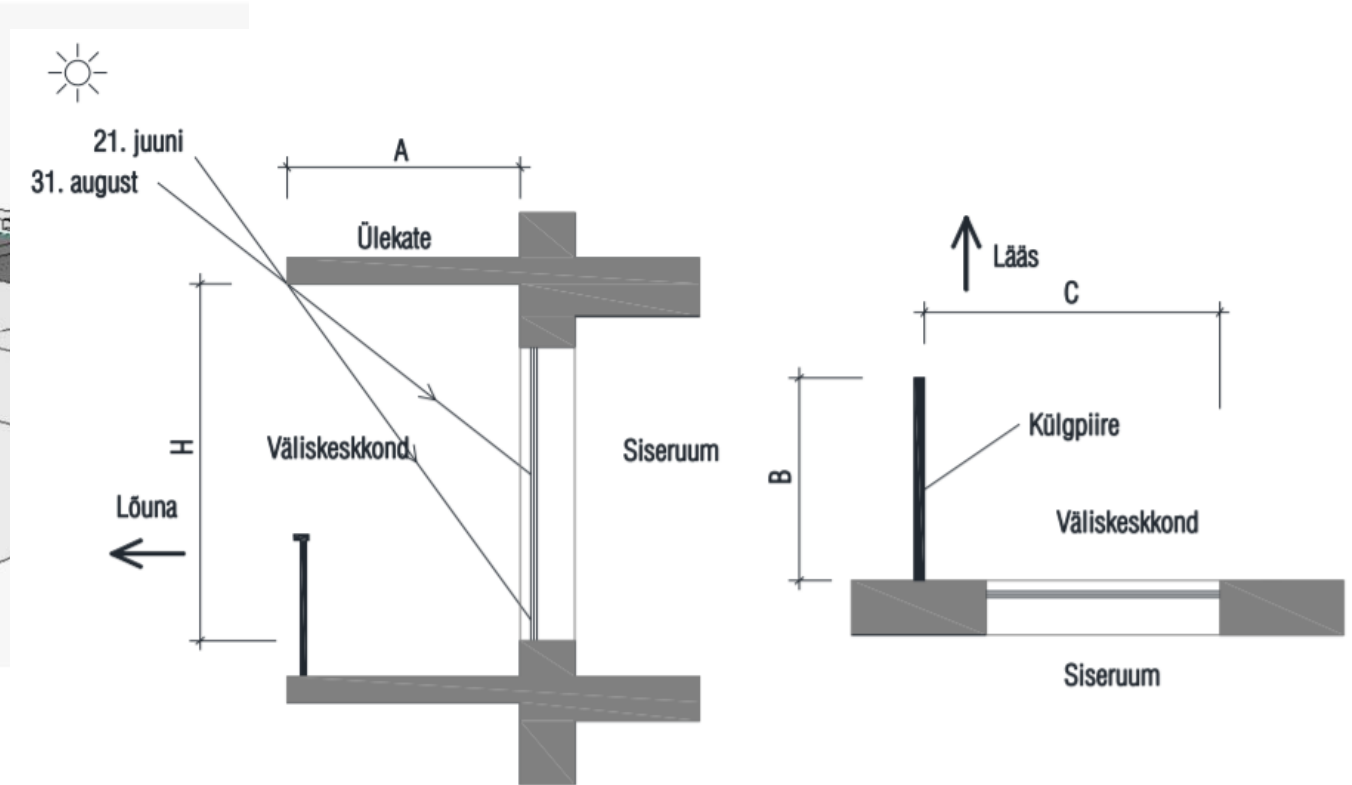
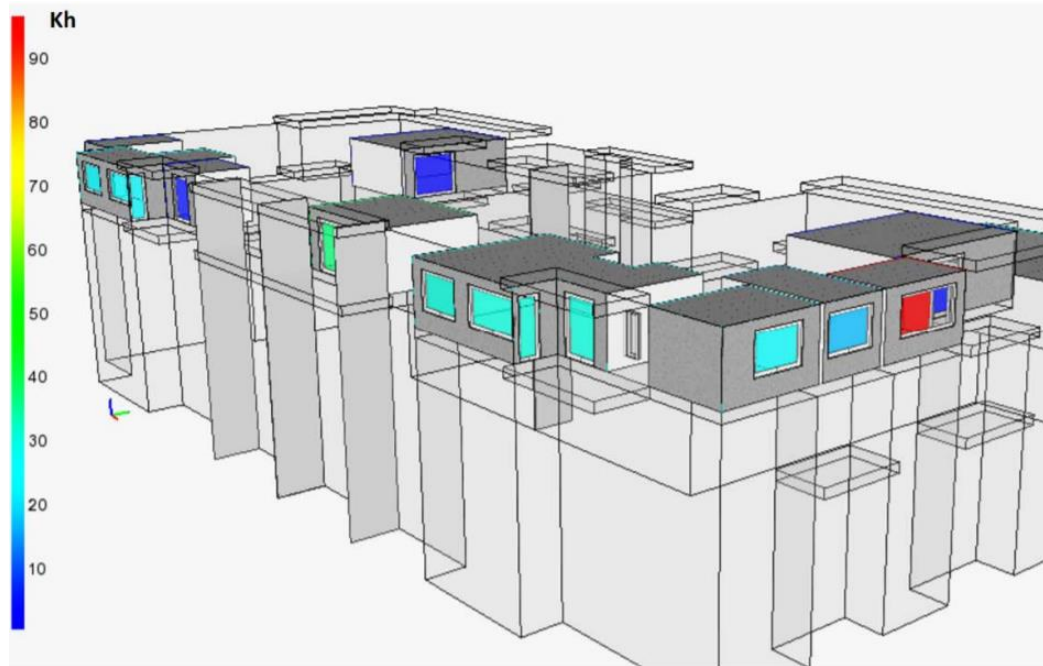


+ 3	Hot
+ 2	Warm
+ 1	Slightly warm
0	Neutral
- 1	Slightly cool
- 2	Cool
- 3	Cold

Key
PMV predicted mean vote
PPD predicted percentage dissatisfied, %

KUIDAS SISEKLIIMAT HINNATAKSE?

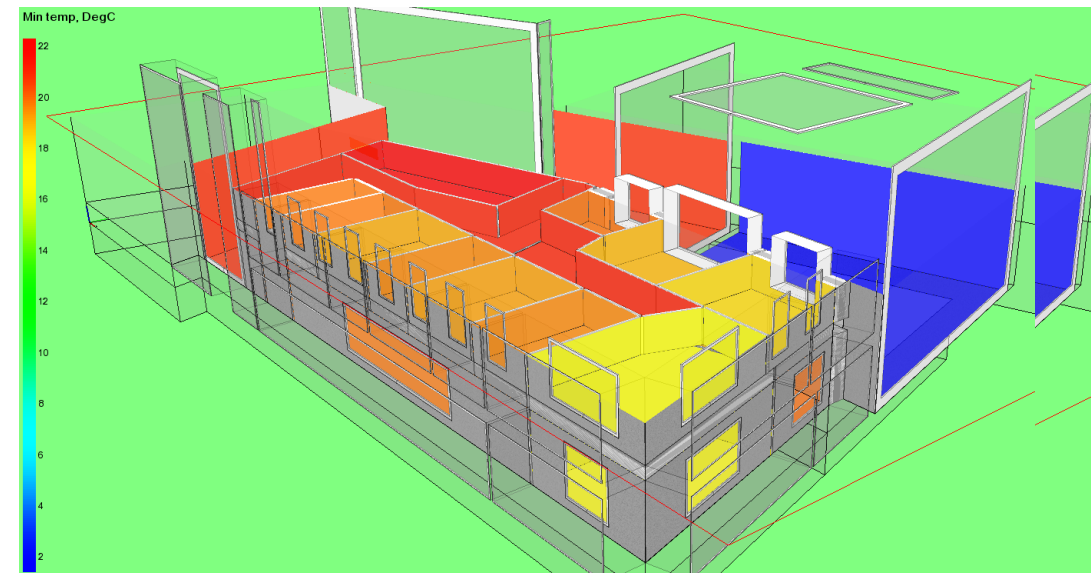
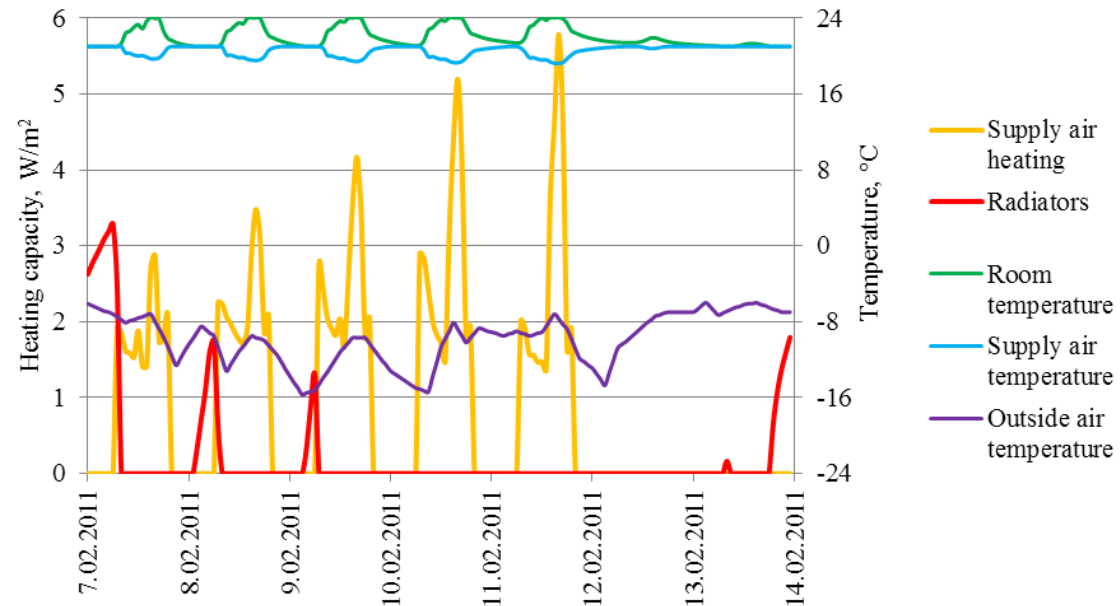
- Projekteeritavad hooned – arvutused ja simulatsioonid



Viide: Juhendmaterjal “Liginullenergia eluhooned. Suvise ruumitemperatuuri kontrollarvutuse juhend.”

SOOJUSTUSE MÕJU

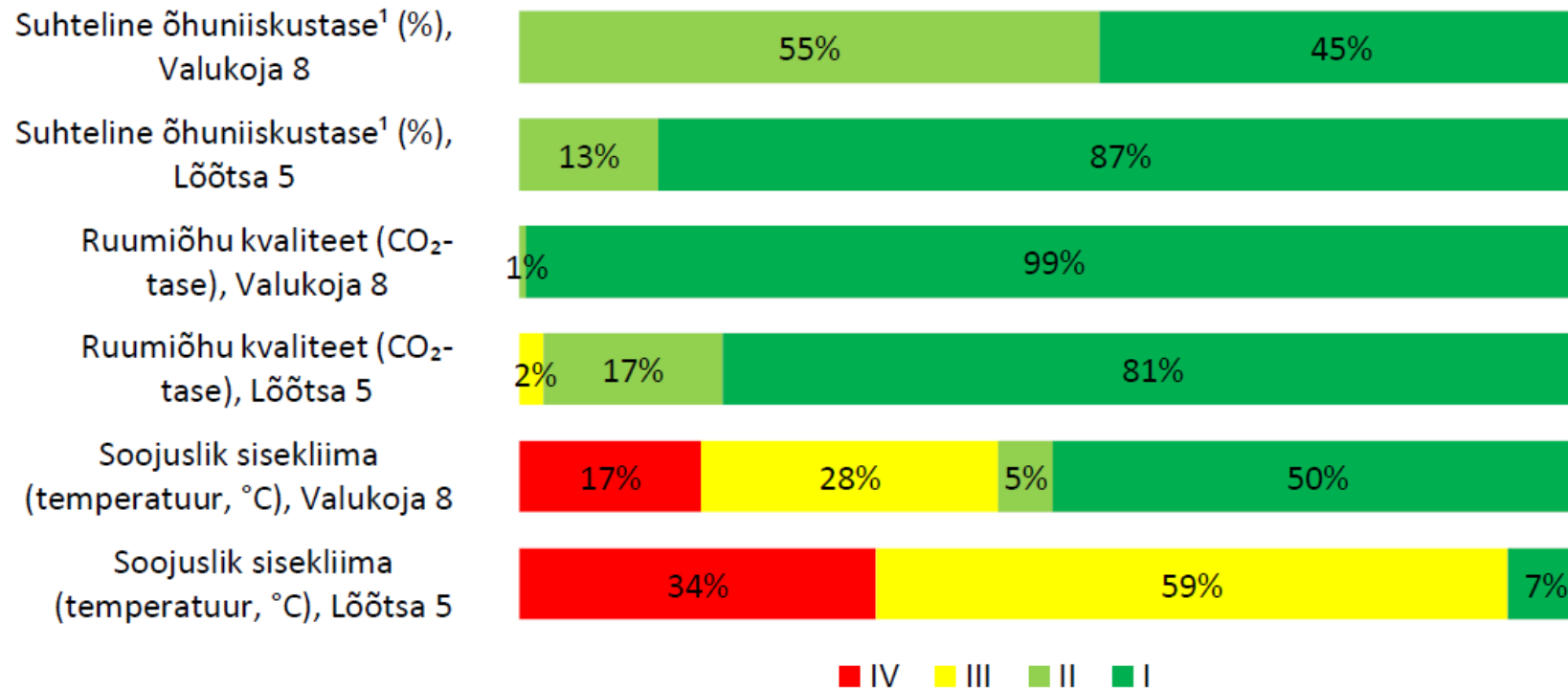
- Küttesüsteem on soojuste väljastajast muutunud temperatuuri hoidjaks



KUIDAS SISEKLIIMAT HINNATAKSE?

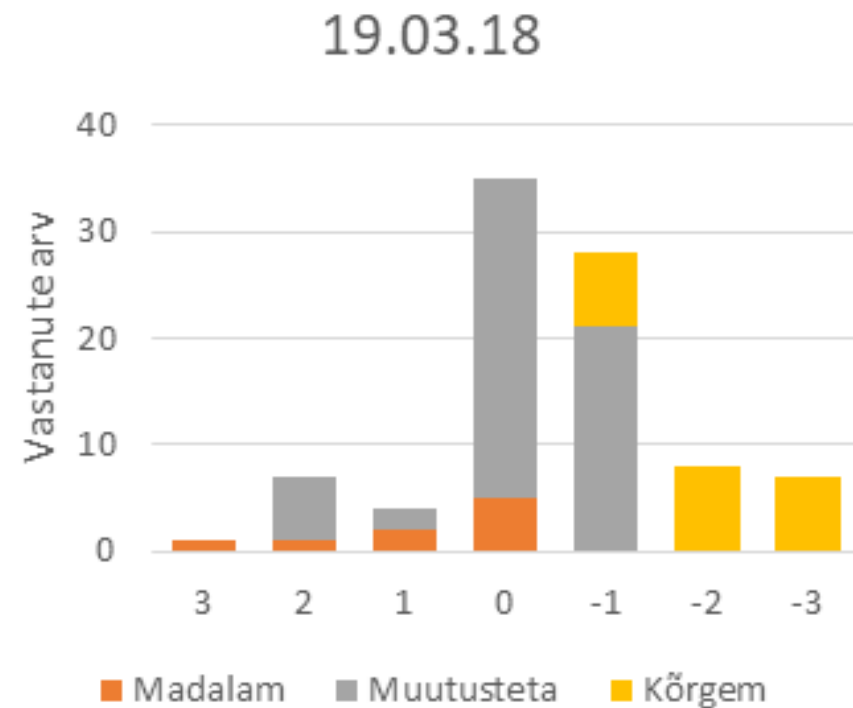
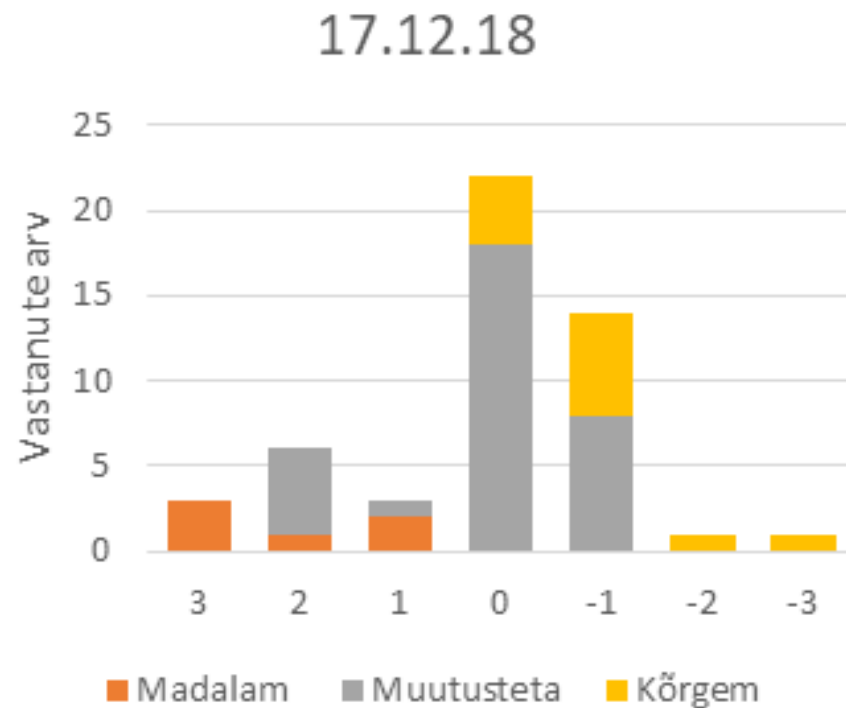
- Olemasolevad hooned – mõõtmised

Sisekliima klassidesse (I-IV) ajaliselt jaotumine (temperatuur, CO₂-tase)



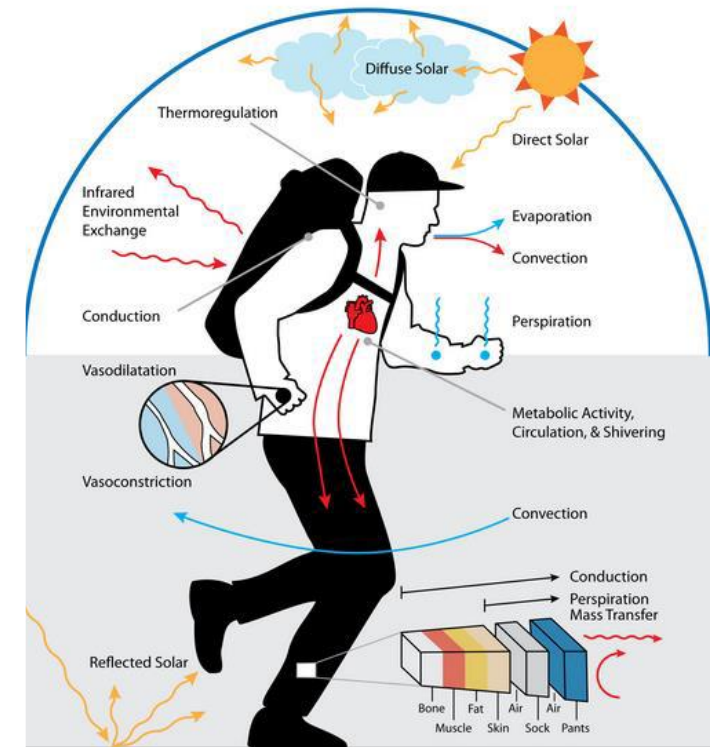
KUIDAS SISEKLIIMAT HINNATAKSE?

- Olemasolevad hooned – küsitlused



SOOJUSLIK MUGAVUS - ENERGIA JÄÄVUSE SEADUS

- Isoleeritud süsteemi energia on ajas muutumatu suurus (energia on jääv). Sellest seadusest järeldeb, et energia ei teki ega kao, ta võib vaid muunduda ühest liigist teise ning kanduda ühelt kehalt teisele.
- Inimene toodab soojust (M)
- Inimese kehal on soojuskadu (Q)
- $M=Q$ – soojuslikult mugav olukord
- $M<Q$ – jahe või külm enesetunne
- $M>Q$ – soe või palav enesetunne
- Soojuslik mugavus on olukord, kus inimene on rahul soojusliku keskkonnaga.



Viide: <http://www.thermoanalytics.com/products/human-thermal>

SOOJUSVAHETUS INIMESE JA KESKKONNA VAHEL

- Inimese soojuseraldused tavaolukorras:
 - Aurustumine (ca 25%)



SOOJUSVAHETUS INIMESE JA KESKKONNA VAHEL

- Inimese soojuseraldused tavaolukorras:
 - Aurustumine (ca 25%)
 - Kiirguslik soojusülekanne (ca 45%)



SOOJUSVAHETUS INIMESE JA KESKKONNA VAHEL

- Inimese soojuseraldused tavaolukorras:
 - Aurustumine (ca 25%)
 - Kiirguslik soojusülekanne (ca 45%)
 - Konvektsioon (ca 30%)

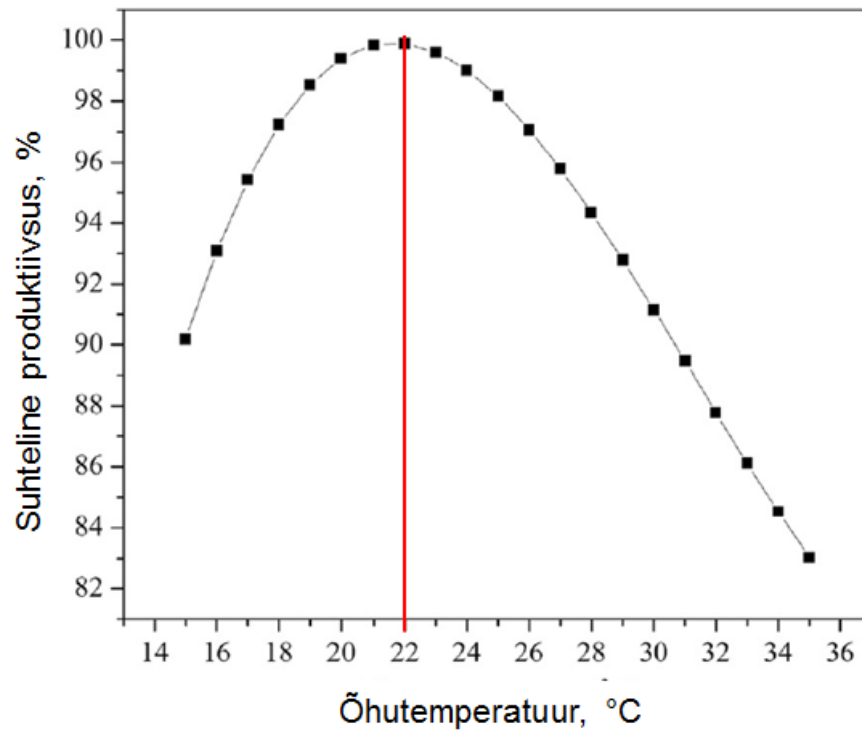


SOOJUSLIKKU MUGAVUST MÕJUTAVAD PARAMEETRID

- Keskkonna parameetrid:
 - Õhu temperatuur, °C
 - Kiirguslik temperatuur, °C
 - Õhu suhteline niiskus, %
 - Õhu kiirus, m/s
- Inimese "parameetrid":
 - Aktiivsustase, met
 - Riietuse soojustakistus, clo
 - Võimalus sisekliimat reguleerida

TEMPERATUUR JA TOOTLIKKUS

- Optimaalne temperatuur kontoritööks on 22 °C



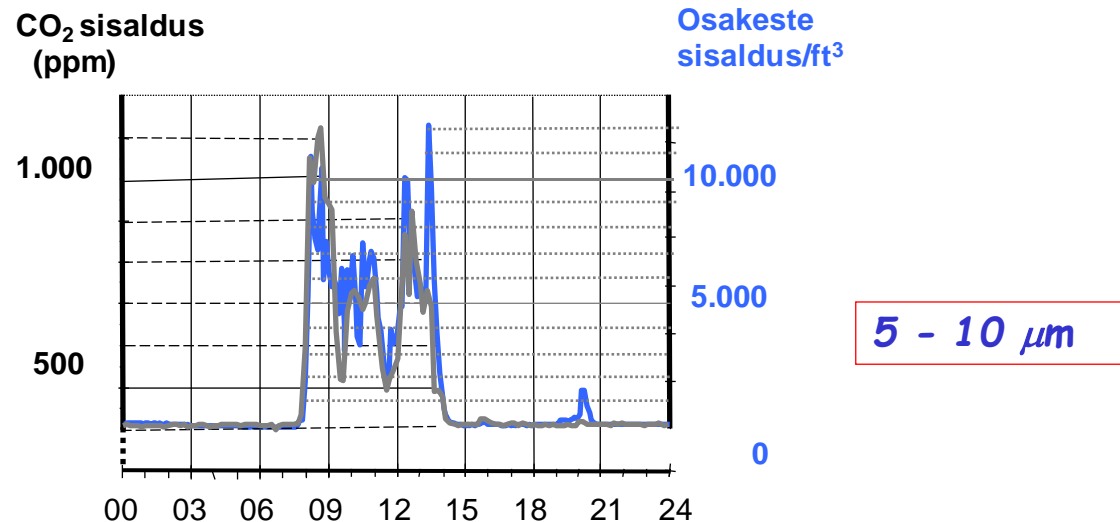
ÕHU TEMPERATUUR

- Üks kõige lihtsamini mõõdetavaid parameetreid

Type of building or space	Category	Temperature range for heating seasons, °C Clothing approximately 1,0 clo	Temperature range for cooling seasons, °C Clothing approximately 0,5 clo
Residential buildings, living spaces (bed room's, kitchens, living rooms etc.) Sedentary activity ~1,2 met	I	21,0 -25,0	23,5 - 25,5
	II	20,0-25,0	23,0 - 26,0
	III	18,0- 25,0	22,0 - 27,0
	IV	17,0-25,0	21,0 - 28,0
Residential buildings, other spaces (utility rooms, storages etc.) Standing-walking activity ~1,5 met	I	18,0-25,0	
	II	16,0-25,0	
	III	14,0-25,0	
Offices and spaces with similar activity (single offices, open plan offices, conference rooms, auditoria, cafeteria, restaurants, class rooms) Sedentary activity ~1,2 met	I	21,0 - 23,0	23,5 - 25,5
	II	20,0 - 24,0	23,0 - 26,0
	III	19,0 - 25,0	22,0 - 27,0
	IV	17,0-25,0	21,0 - 28,0
During the between heating and cooling seasons (with θ_{rm} between 10 and 15) temperature limits that lie in between the winter and summer values may be used. Air velocity is assumed < 0,1 m/s and RH~40% for heating season and 60% for cooling season.			

CO₂ KUI ÕHU KVALITEEDI INDIKAATOR

- Toas, kus inimesed on domineerivaks emissiooni allikaks, varieerub osakeste sisaldus õhus umbes samuti kui CO₂ sisaldus
 - Kõrge CO₂ kontsentratsioon viitab kehvale ventilatsioonile
 - Suhteliselt lihtne mõõta
 - CO₂ sisaldust saab kasutada ventilatsiooni juhtimiseks



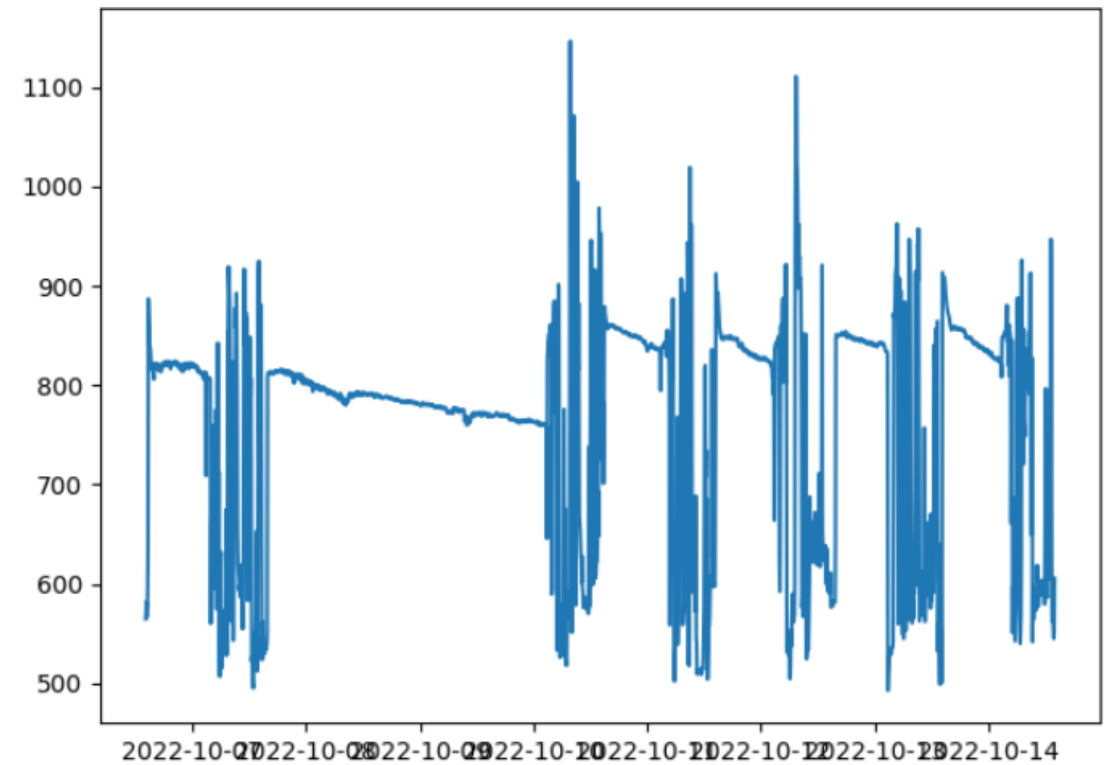
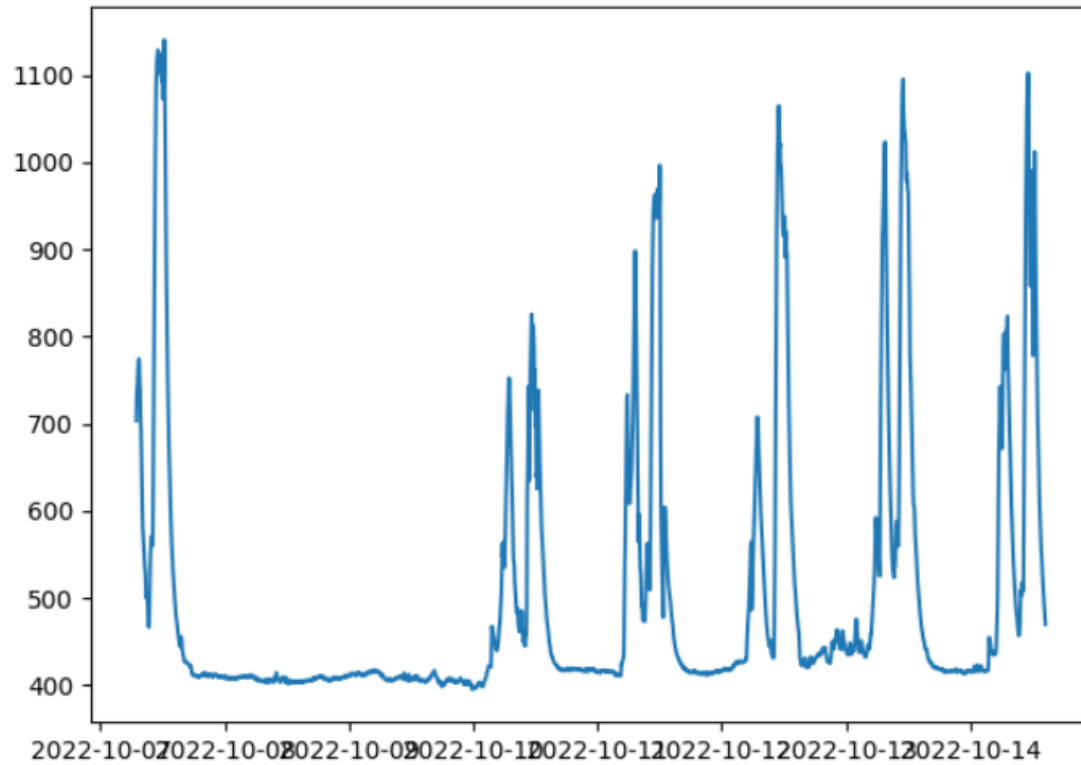
ÕHU KVALITEEDI HINDAMINE

- Õhuvooluhulkade mõõtmised:
 - Ruumi ventilatsiooni õhuvooluhulk võib nõutud väärtusest erineda 15% ja ventilatsiooniseadme summaarsest õhuvooluhulgast kuni 10%
- Saasteainete (CO₂) taseme mõõtmised



CO₂ MÕÕTMISANDMED

- Piisavalt pikalt kasutusest olnud ruumides peaks CO₂ tase lähenema 400 ppm'i



SISEKLIIMA MÕJU UNE KVALITEEDILE JA TÖÖVÕIMELE

- Kõrge temperatuur ja madal õhu kvaliteet:
 - Pikendavad uinumise pikkust
 - Halvendavad une kvaliteeti
 - Alandavad töövõimet



Foto: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108666>

VENTILATSIOON JA HAIGUSPÄEVAD

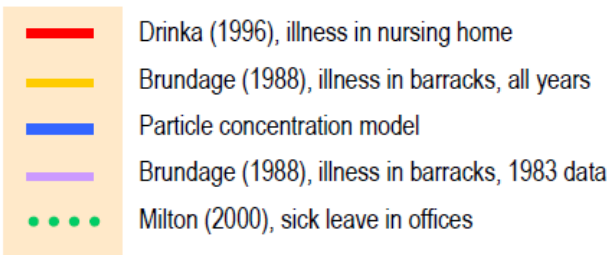
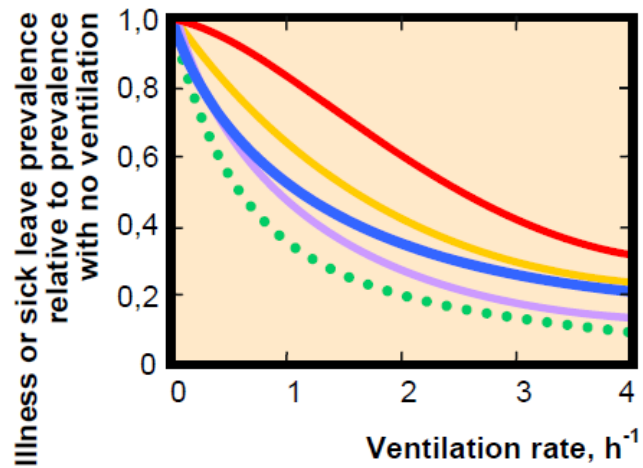


Figure 12 Predicted trends in illness or sick leave versus air change rate (Fisk et al. 2003).

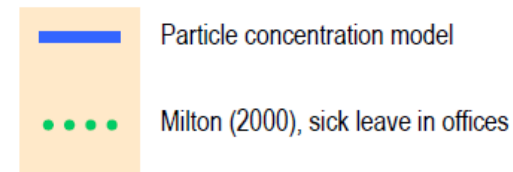
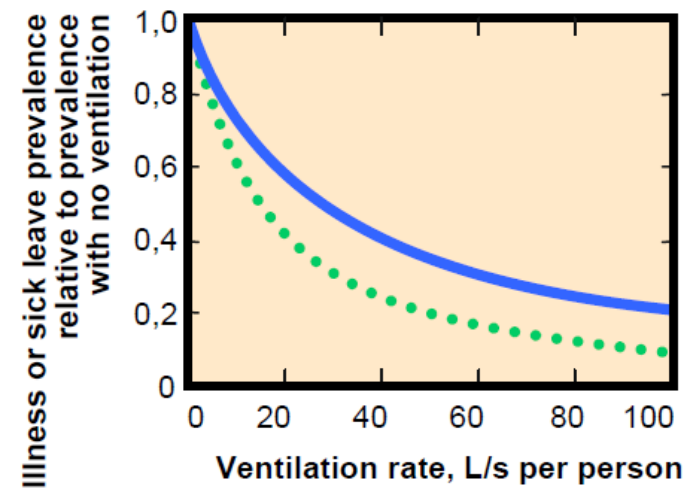
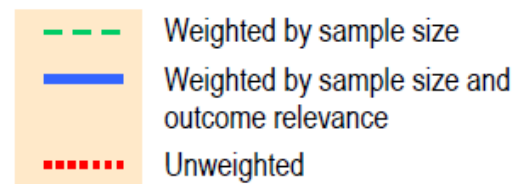
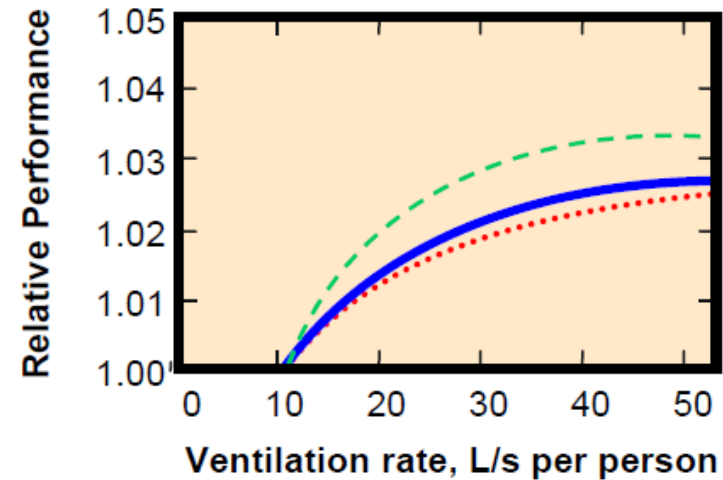
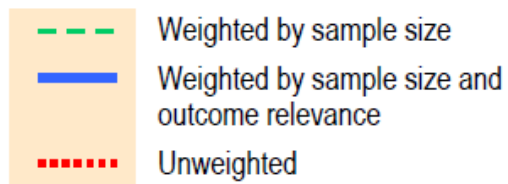
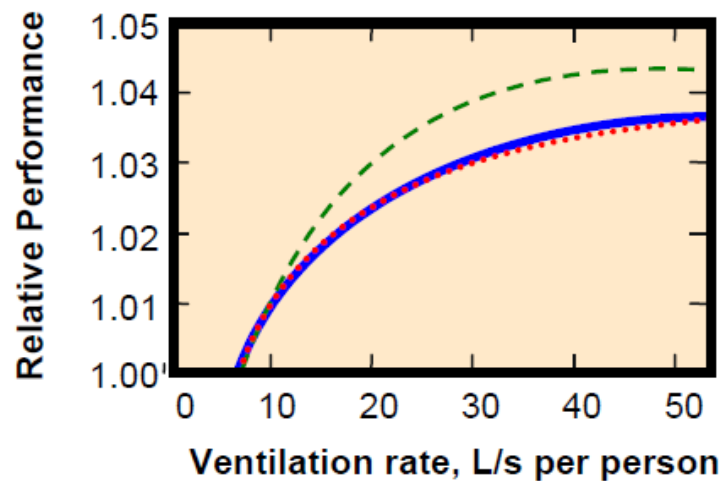


Figure 13 Predicted trends in illness or sick leave versus ventilation rate per person (Fisk et al. 2003).

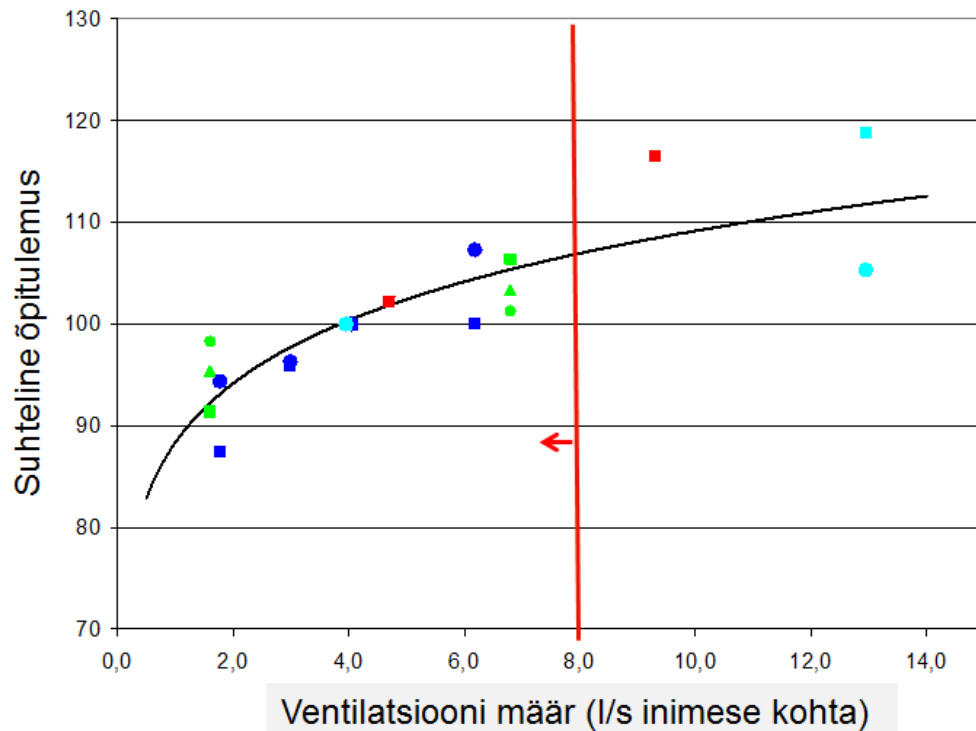
VENTILATSIOON JA TOOTLIKKUS

- Õhuvooluhulga kahekordistamine suurendab tootlikkust ca 1,5%

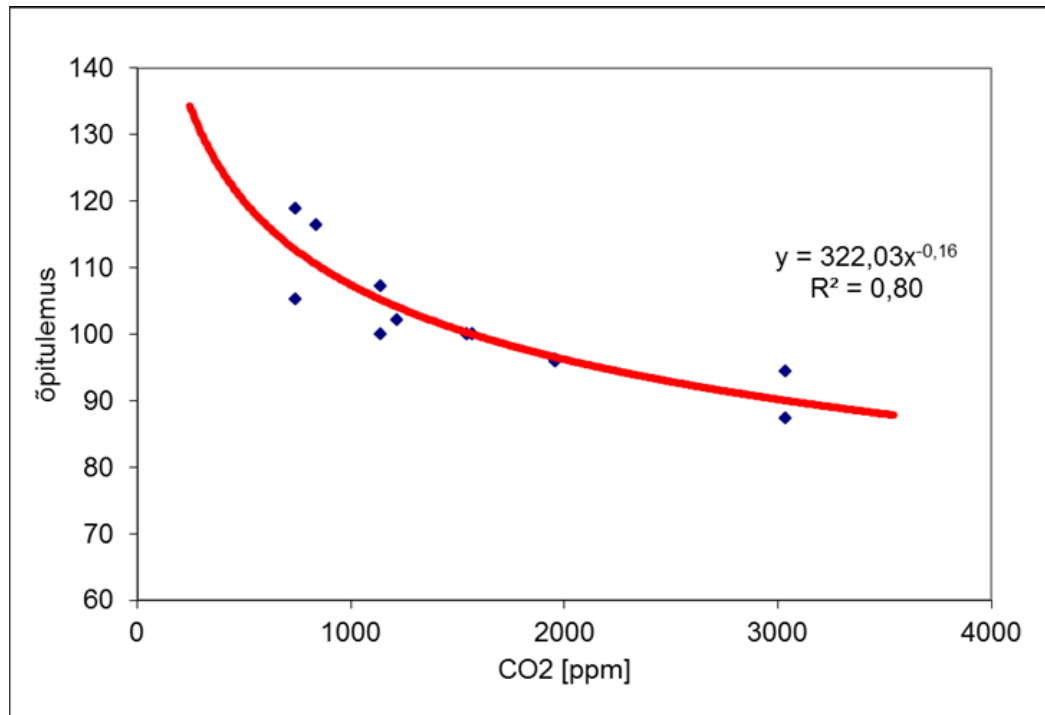


VENTILATSIOON JA ÕPITULEMUS

- Ventilatsioon ja suhteline õpitulemus: kui ventilatsiooni määr on väiksem kui 8 l/s inimese kohta, väheneb õpitulemus

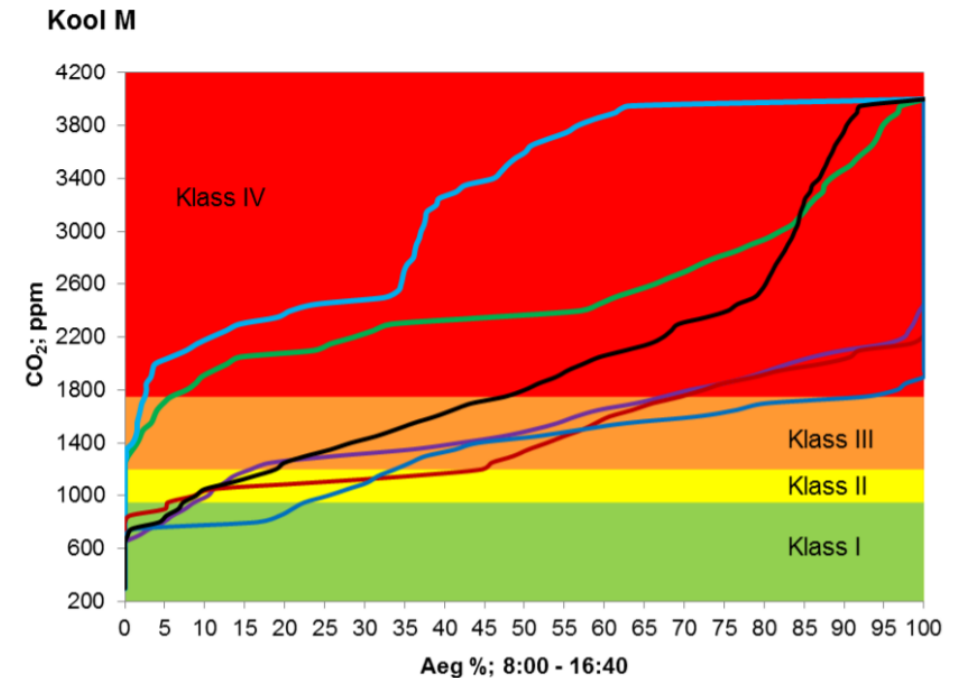
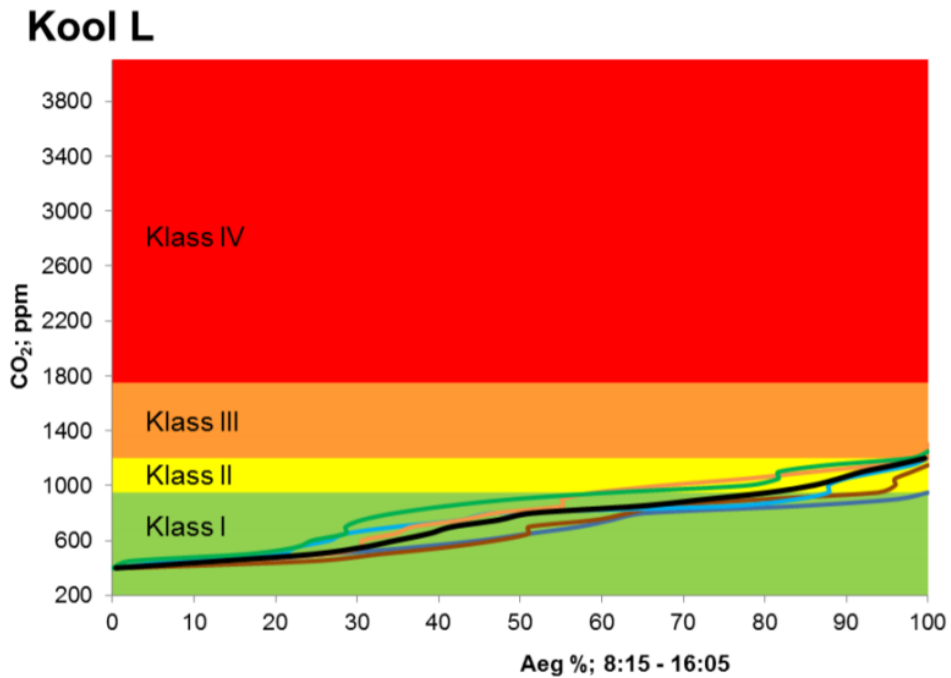


VENTILATSIOON JA ÕPITULEMUS



VENTILATSIOON JA ÕPITULEMUS

- Koolis M peavad lapsed õppima 13 aastat, et jõuda samale tasemele kui lapsed koolis L 12 aastaga



CO₂ KONTSESTRATSIOONID MITTEELAMUTES

- CO₂ lubatud kontsentratsioonid üle välisõhu taseme 400 ppm
- Eeldatav CO₂ toodang inimese kohta 20 l/h
- Anduritega mõõdetud väärtustega võrdlemiseks lisada tabelis toodud väärtustele 400 ppm

Sisekliima klass	Suure inimtihedusega ruumid	Haridushooned v.a. koolieelsed lasteasutused	Ülejäänud mitteelamud
I	550	450	350
II	800	700	600
III	1350	1250	1150
IV	>1350	>1250	>1150

CO₂ KONTSESTRATSIOONID ELAMUTES

- CO₂ lubatud kontsentratsioonid üle välisõhu taseme
- Erineb elu- ja magamistubades
- Muudes ruumides pole inimene otseselt peamine saasteallikas
- Anduritega mõõdetud väärtustega võrdlemiseks lisada tabelis toodud väärtustele 400 ppm

Sisekliima klass	Elutuba	Magamistoad
I	550	380
II	800	550
III	1350	950
IV	>1350	>950

INIMESED VAJAVAD PÄEVAVALGUST



PÄEVAVALGUS BÜROODES



VAJADUS KAITSTA TÖÖKOHTI OTSESE PÄIKESEKIIRGUSE EEST



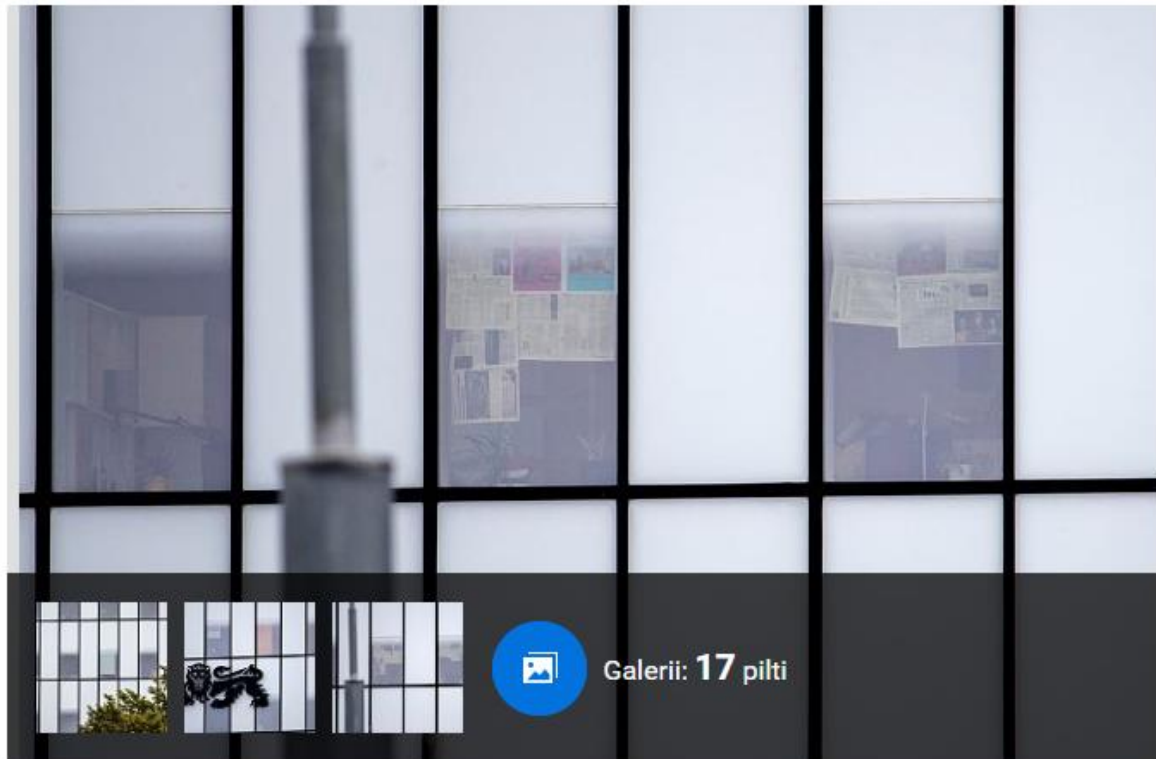
VAJADUS KAITSTA TÖÖKOHTI OTSESE PÄIKESEKIIRGUSE EEST

20.09.2017, 15:52

DELFI FOTOD | Superministeeriumi aknaid katvad improviseeritud kardinaid vahetatakse ruloode vastu kuu aja pärast (13)

Fotod: Andres Putting
Fotograaf-videoreporter

Toimetas: Riho Nagel
reporter-toimetaja



TAL
TECH

TALLINNA TEHN



Galerii: 17 pilti

PÄEVAVALGUS ELAMUTES

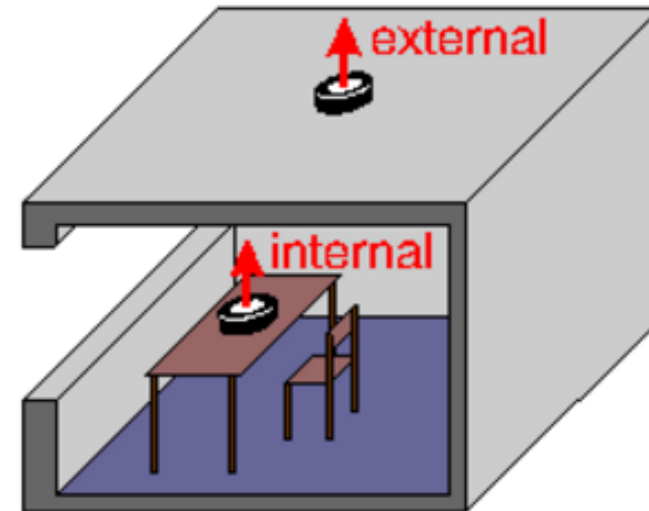




PÄEVAVALGUSTEGUR

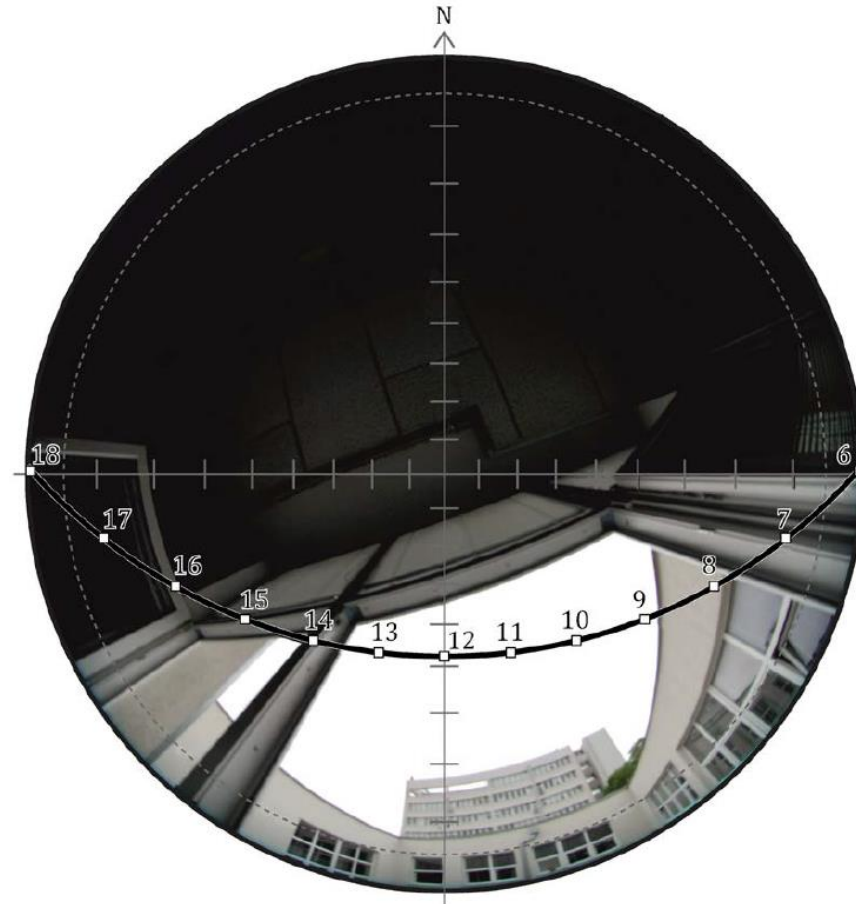
- Päevavalgus tegur iseloomustab valgustustiheduste (lx) suhet ruumis asuval pinnal ja õues varjestamata horisontaalpinnal ühtlase pilvkatte korral

$$D = 100 \cdot E_{in} / E_{ext}$$



PÄIKESEVALGUSE KESTUS EHK INSOLATSIIOON

- Aeg tundides vaatluspäeval, mille jooksul otsene päikesevalgus ulatub vaatluspunktini
- Hinnatakse:
 - Simulatsioonidega
 - Fotodega



MÕJU OLEMASOLEVATELE HOONETELE

Uudised

Ärileht: Teema, millest arendajad rääkida ei taha: päikese varjamisel on hind

28.05.2012, 15:34

Kohus jättis Eesti Kunstiakadeemia naabri kaebuse rahuldamata (49)

www.DELFI.ee

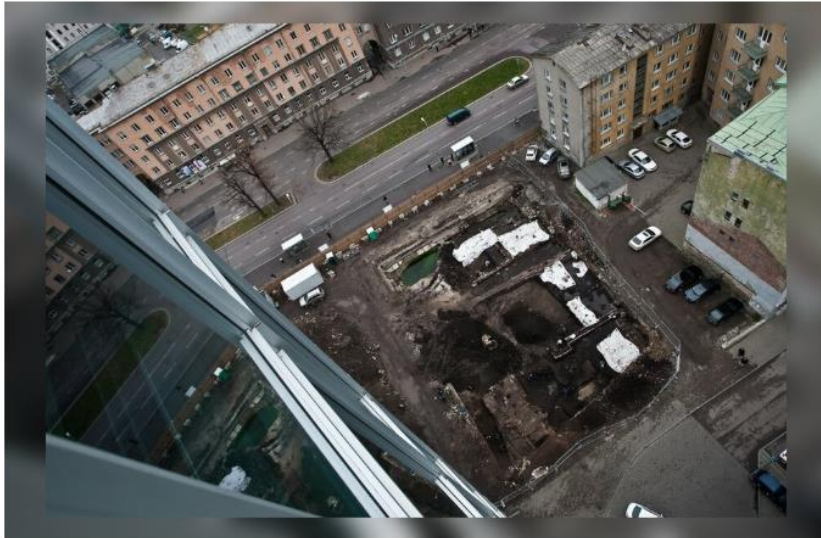


Foto: Andres Putting



VAADE EVS-EN 17037:2019

- Vaate kvaliteedi määrab madalaima tasemega kriteerium

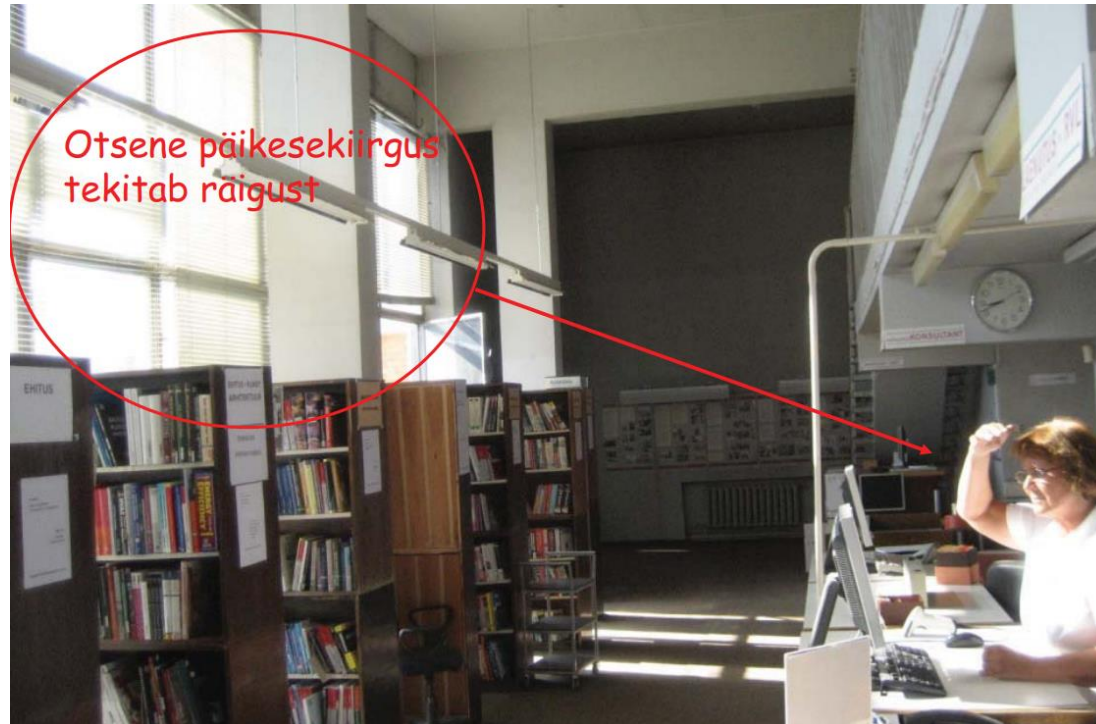
Tabel A.5 — Vaate hindamine antud asukohast väljapoole

Vaate soovituslik tase	Parameeter ^a		
	Horisontaalne vaatenurk	Vaatekaugus	Vähemalt 75 % viibimistsoonist nähtavate kihtide arv: — taevas, — maastik (linnapiirkond ja/või loodus), — maapind
Minimaalne	≥ 14°	≥ 6,0 m	Vähemalt maastikukiht on tagatud
Keskmine	≥ 28°	≥ 20,0 m	Samast vaateavast on nähtav maastikukiht ja üks lisakiht
Kõrge	≥ 54°	≥ 50,0 m	Samast vaateavast on nähtavad kõik kihid

^a Ruumi puhul, mille sügavus on üle 4 m, on soovitatav, et vaateava(de) mõõtmete vastav summa oleks vähemalt 1,0 m × 1,25 m (laius × kõrgus).

RÄIGUS

- Räigus on nägemisolukord, mis tundub ebamugav või mille tagajärjel esemete nähtavus halveneb ja mis on tingitud heleduse ebasoodsast jaotusest, liigsest heledusest või liiga suurtest kontrastidest.
- Otsene päikesevalgus või heledate ja tumedate tsoonide vaheline liigtugev kontrast vaateväljas võib põhjustada räigust.



RÄIGUS

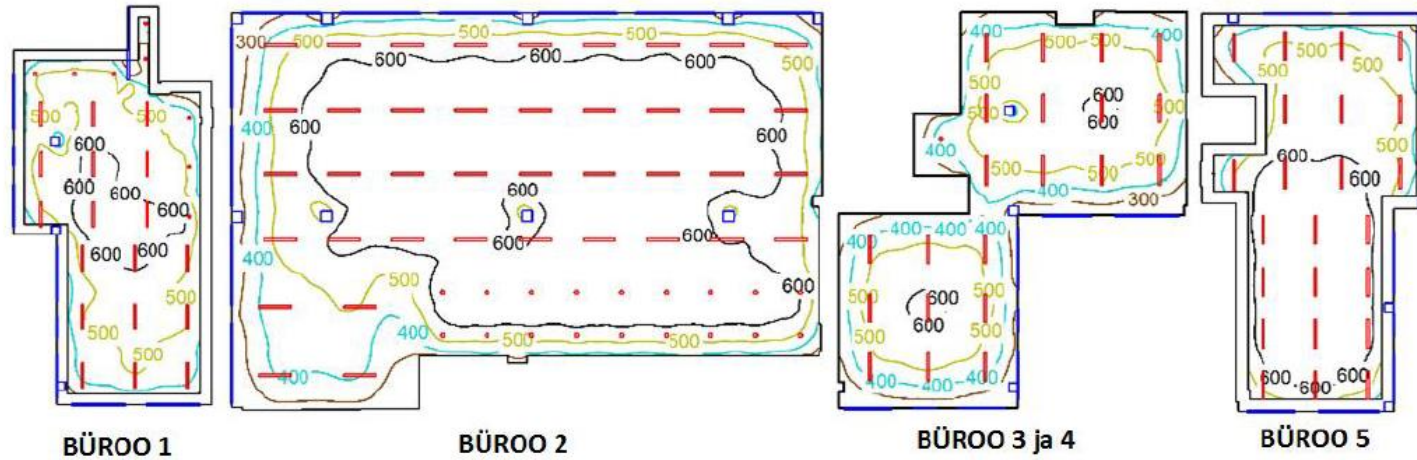
- Navigaatori büroohoone tutvustus "Ringvaates" – töötajatel on sära silmis



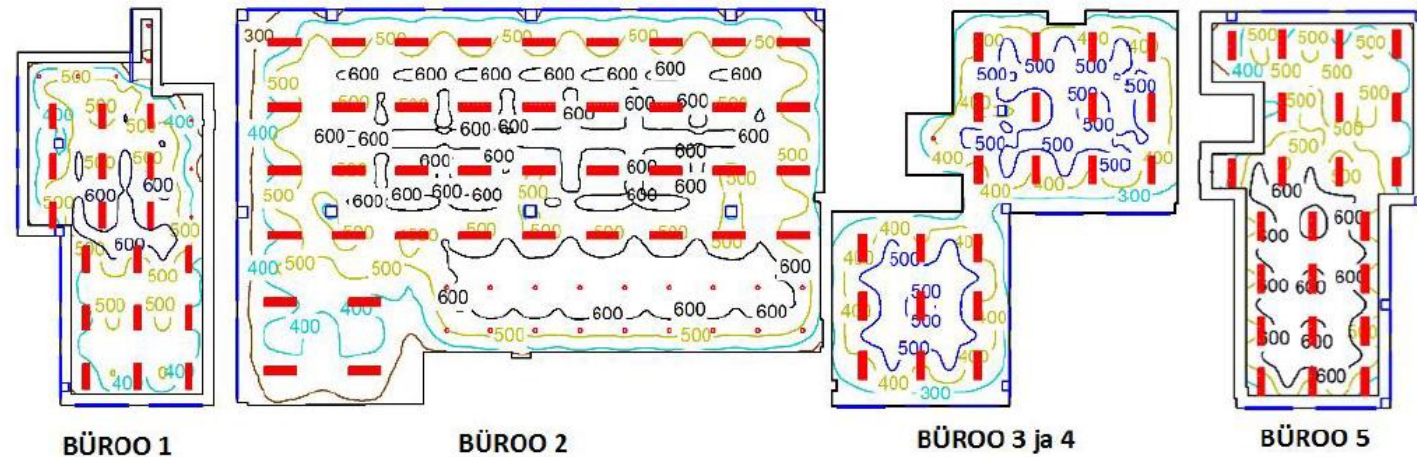
RÄIGUSE NÕUETE TÄITMISE TÕENDAMINE

- Läbipaistmatust materjalist valmistatud päikesekaitseseadmed tagavad rägise rangeima kriteeriumi $DGPe < 5 \% \leq 0,35$, kus
 - seadet saab kasutada inimene ise ja
 - täielikult suletud ja avatud asendis puudub vaade kõigile võimalikele päikese asenditele
- Tüüpiline ribakardin vastab nendele tingimustele, kui
 - augud, mida sisemised nõörid läbivad, on peidetud ja
 - suletud asendis ei paista ribade vahelt häirivat peegeldust ja
 - ääreavade vahelt ei ole otsest vaadet päikesele
- Tõendada saab ka simulatsioonide või mõõtmistega

VALGUSTID PEAVAD TAGAMA ETTE NÄHTUD VALGUSTUSTIHEDUSE JA ÜHTLUSE

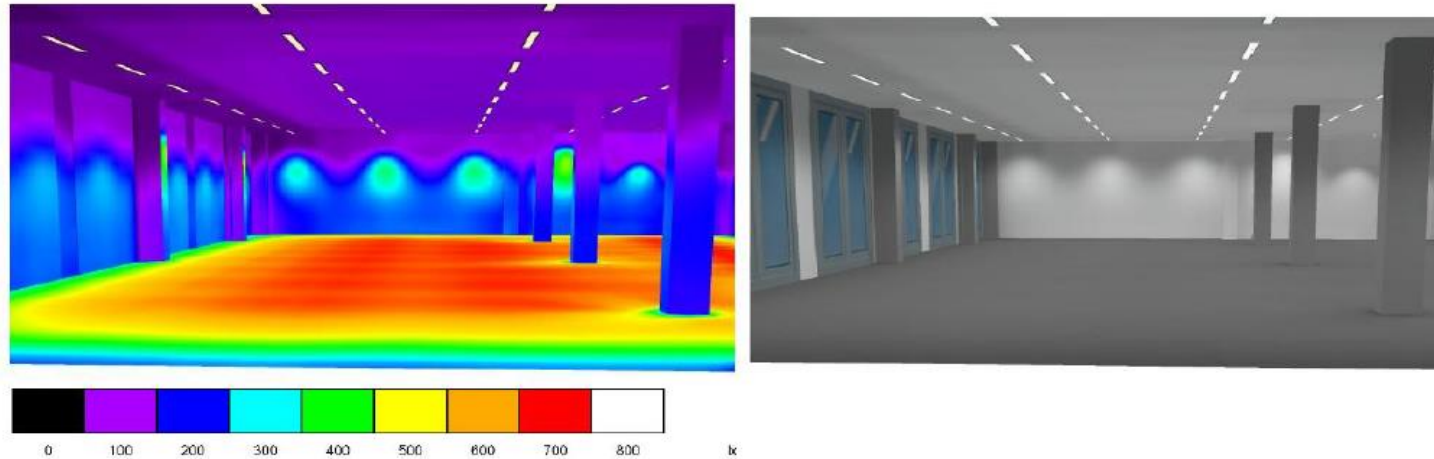


Joonis 2.17 T5-luminofoorvalgustitega valgustustiheduse (lx) tulemused ruumide kaupa.

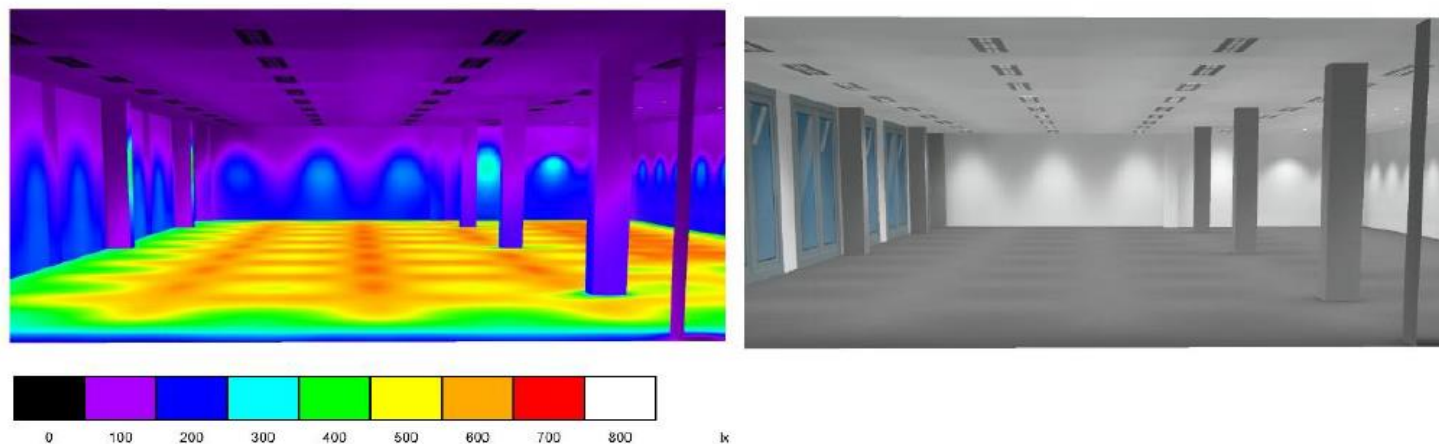


Joonis 2.18 LED-lampidega valgustustiheduse (lx) tulemused ruumide kaupa.

VALGUSTID PEAVAD TAGAMA ETTE NÄHTUD VALGUSTUSTIHEDUSE JA ÜHTLUSE



Joonis 2.19 T5-luminofoorvalgustitega 3D tulemused (vasakul) ja 3D mudel (paremal).



Joonis 2.20 LED-lampidega 3D tulemused (vasakul) ja 3D mudel (paremal).

MÜRA

- Tehnosüsteemide tekitatav müra
 - Torustikud
 - Ventilatsiooniseade
 - Soojuspumbad ja nende välisosad
 - Ruumiseadmed
- Piirete helipidavus
 - Välispiirded
 - Sisepiirded

KOKKUVÕTE

- Parim sisekliima on see, mida ei pane tähele
- Inimesed on harjunud elama igasugustes tingimustes
- Sisekliima
 - Soojuslik mugavus
 - Õhu kvaliteet
 - Valgus
 - Müra
- Hea sisekliima tagab
 - Une kvaliteedi
 - Töövõime
 - Õpivõime
 - Tervise

Küsimusi?