

**SISEKLIIMA
ÕPITULEMUS
TÖÖVILJAKUS**



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SISEKLIIMA ÕPITULEMUS TÖÖVILJAKUS

TALLINN

2015

Autoriõigus: Tallinna Tehnikaülikool, 2015

ISBN 978-9949-23-749-4



Maret Maripuu
Tööinspektsiooni peadirektor

Viimastel kümnenditel on maailm palju muutunud. Muutunud ja arenenud on õppimise ja töötamise vormid ja meetodid. Muutused on rajanud teed üha uutele füüsilistele ja vaimsetele riskidele, mis võivad kahjustada meie tööviljakust, tervist ja õpitulemuslikkust. Ohutu töö- ja õppekeskkond lähevad korda kõigile: õppijale, töötajale kui ka tööandjale. Need mõjutavad kogu ühiskonna heaolu ning arengut. Seega on riigi üheks oluliseks eesmärgiks tagada koolimajade ja büroohonete nõuetekohane sisekliima, nii et õpilased ja töötajad oleksid terved ning õppimine ja töötamine tulemusrikas.

SISU

SISU	5
Eessõna	7
Sisekliima mõju tööviljakusele ja õpitulemusele. Teaduskirjanduse ülevaade.....	8
Sissejuhatus – üldised seaduspärad	8
Optimum – Yerkes-Dodsoni seadus.....	10
Stiimulite tajumine – Stevensi seadus	11
Adaptatsioon.....	13
Müra.....	13
Valgustus	14
Temperatuur, ventilatsioon, süsihappegaas (CO ₂)	15
Haige maja sündroom (Sick Building Syndrome).....	21
Kokkuvõte	21
Tööviljakuse ja õpitulemustega seotud töökeskkonna füüsilised ja psühho-sotsiaalsed aspektid koolides	22
Kool L.....	23
Hoone iseloomustus ja üldandmed	23
CO ₂ , ventilatsioon ja õpitulemus.....	24
Temperatuur ja õpitulemus	25
Kooli L kokkuvõte.....	25
Kool M.....	27
Hoone iseloomustus ja üldandmed	27
CO ₂ , ventilatsioon ja õpitulemus.....	27
Temperatuur ja õpitulemus	29
Kooli M kokkuvõte.....	30
Sisekliima parandamise mõju tööviljakusele büroohoones	31
Kokkuvõte	37
Kirjandus	38

Eessõna

Praegusel murrangulisel ajal kui mõne aasta pärast hakatakse ehitama lignull-energiahooneid ja energiasääst on tõusnud ka olemasolevate hoonete puhul tähelepanu keskmesse on oluline mitte unustada hoonete sisekliimat. Hea sisekliima kui hoonete põhiväärtus ja eesmärk kaitsta inimesi ilmastiku eest ning tagada otstarbekohased tingimused elu- töö ja õpikeskkonnas vajab teadvustamist kuna ehitamises on toimunud viimastel kümnenditel kardinaalsed muutused. Täna on hooned on õhupidavad ja hästi soojustatud ning energiatõhususe nõuded kui ka üldised kvaliteeditaseme nõuded on välistanud meie külmas kliimas loomuliku ventilatsiooni kasutamise. Hoonete kasutajad ongi võinud täheldada, et uued ja renoveeritud koolimajad on sundventilatsiooniga ning büroohooned lisaks õhustusega, et pakkuda head töökeskkonda ka jahutusperioodil.

Tallinna tehnikaülikoolis Riigi Kinnisvara AS-i toetusel läbiviidud koolimajade ja büroohoonete sisekliima uuring näitab kiire arengu põhjustatud probleeme. Ehitamine uuel tehnoloogilisel tasemel eeldab süstemaatilist hoonete hooldust ja mõningast teadvustamist hoonete kasutamisel – mõlemas valdkonnas tõstavad teravad probleemid enamuses koolimajades. Kui uutes büroohoonetes mõõdeti valdavalt head sisekliimat ja probleemid olid reeglina teisejärgulised nagu näiteks ülekuumenemine pigem kütteperioodil, siis valdavas osas koolimajades täheldati olulisi puudusi hoonete ventilatsioonisüsteemis või selle kasutamisel. Ventilatsiooni vajadus vajab laiapõhjalist teadvustamist, kuna mitmetes renoveeritud koolimajades oli ventilatsioon välja lülitatud energia säästmise kavatsusega, kuid teadvustamata et lisaks mängule koolilaste tervisega võib energiakulu hoopis suureneeda tänu „õhu kütmisele“ läbi avatud akende.

Uuringu käigus mõõdeti 6 koolimaja ja 6 büroohoone sisekliimat. Käesolevasse juhendisse on koondatud mõõtmistulemusi valikuliselt eesmärgiga selgitada sisekliima mõju õpitulemusele ja töövõimele. Sisekliimaparameetrite mõjudest inimvastetele teostati laiapõhjaline teaduskirjanduse ülevaade, mille kesksed mehhanismid ja kvantifitseeritud mõjud on kirjeldatud juhendi esimeses osas. Teise osa mõõtmistulemused ja arvutusnäited mõtestavad sisekliima mõjusid töövõimele rahaliste tulemuste ning õpitulemuste kaotustega. Uuringu tulemused loovad alust lihtsustatud väitele, et tark inimene tuleb targast majast.

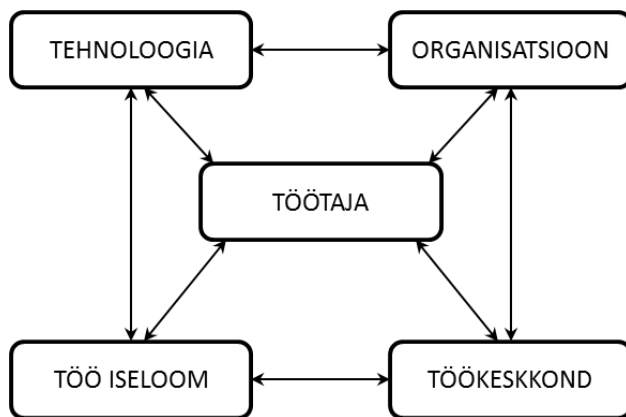
Mõnusat sisekliimat!

Jarek Kurnitski, Mart Murdvee, Teet-Andrus Kõiv, Mare Teichmann

Sisekliima mõju tööviljakusele ja õpitulemusele. Teaduskirjanduse ülevaade

Sissejuhatus – üldised seaduspärad

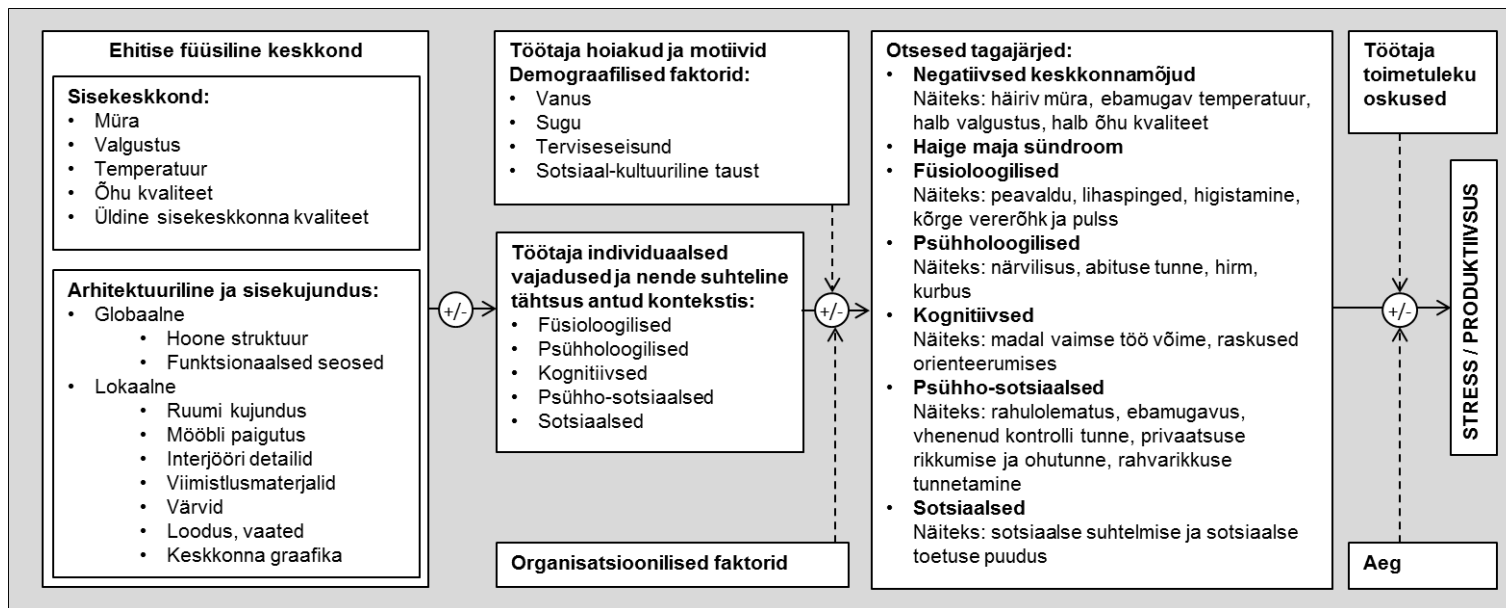
Töö (ja õppimine, mida võib samuti tööks pidada) on keeruline ja omavahel sidestatud süsteem, mille peamised komponendid on kasutatav tehnoloogia ja sellest tulenev töö iseloom, töökeskkond ja organisatsioon.



Joonis 1. Töö kui süsteem.[1]

Töötaja on mõjutatud väga mitmete tegurite poolt, milledest peamised on tööülesanne, töökoht, organisatsioon ja protseduurid ning füüsiline keskkond [2].

Töösüsteemi üheks osaks on töökeskkond, mille üheks osaks on sisekliima. Sisekliima mõju töötajate produktiivsusele ja õpilaste õpitulemustele on kompleksne. Siin on tegemist mitmesuguste mõjuritega, millede efektid on pole sugugi ühesugused.



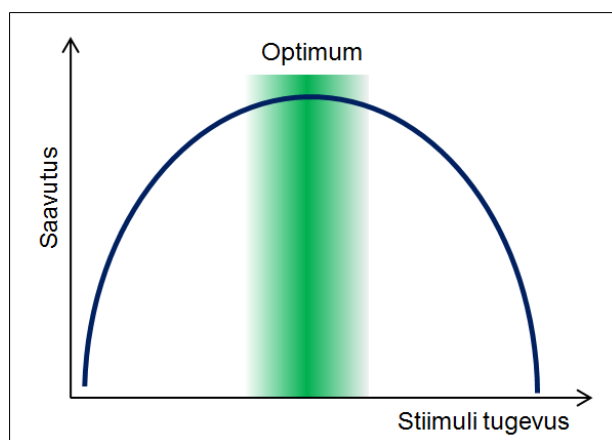
Joonis 2. Füüsilise keskkonna mõjud töötaja stressile ja töö produktiivsusele.[3]

Töökoha füüsiline keskkond ei avalda mõju mitte vahetult (vt joonis 2), vaid sellel mõjul on moderaatorid ja mediaatorid, mis muudavad mõju suurust ja iseloomu – olulised on siin töötaja hoiakud ja motiivid, demograafilised faktorid, samuti töötaja individuaalsed vajadused ja nende tähtsus töötaja jaoks antud kontekstis ning organisatsioonilised faktorid. Kõikidel nendel modereerivatel ja medieerivatel faktoritel võib olla nii positiivne kui negatiivne mõju. Töökeskkonna negatiivsete tagajärgede tekkimine pole samuti vältimatu, vaid nende tekkimist kas soodustavad või hoiavad ära töötaja toimetuleku oskused või nende puudumine. Samuti tuleb arvestada sisekliima mõjude kestvusega.

Kokkuvõttes võib öelda, et sisekliima positiivsed või negatiivsed mõjud pole alati üheselt määratavad ning positiivsete või negatiivsete tagajärgede teke pole alati üheselt ennustatav.

Optimum – Yerkes-Dodsoni seadus

Sisekliima mõjude vaatlemisel tuleb arvestada sellega, et mingite parameetrite mõju pole ühesuunaline ja lineaarne, st ei saa väita, et midagi rohkem või vähem on kas halvem või parem. Näiteks, nii nagu liiga külm pole mõnus, pole mõnus ka liiga soe keskkond.



Joonis 3. Yerkes-Dodsoni seadus.[4]

Yerkes-Dodsoni seadus näitab, et on olemas parameetrite optimumid, millel puhul on saavutus kõige suurem. Muidugi tuleb arvesse võtta seda, et erinevate tegevuste puhul võivad parameetrite optimumid olla erinevad. Näiteks raske füüsilise töö tegemisel on töö efektiivsem kui temperatuur on madalam, vaimse töö korral aga on eelistatud suhteliselt kõrgemad temperatuurid.

Stiimulite tajumine – Stevensi seadus

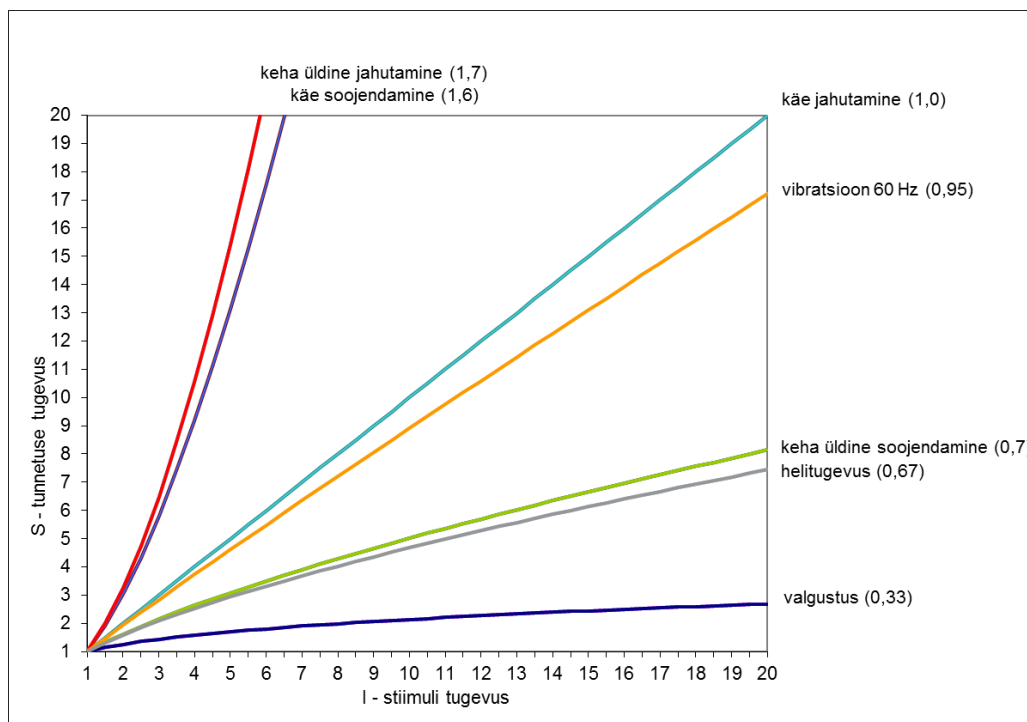
Stiimulite tajumine, eriti nende muutuste tajumine sõltub stiimulite iseloomust. Mõnede stiimulite suhtes on inimesed tundlikumad, teiste suhtes "tuimemad".

Stevensi seadus kirjeldab seost füüsilise stimuli ja selle tajutud intensiivsuse, tugevuse vahel ja on väljendatud valemiga:

$$S = kI^a$$

kus S on subjektiivse taju suurus, I – füüsilise stimuli suurus, a – astendaja, oleneb stiimuli iseloomust (vt järgnev tabel ja joonis), k – konstant.

<i>Stiimul</i>	<i>Astendaja (a)</i>
Valgustatus	0,33
kohvi lõhn	0,55
heli tugevus	0,67
temperatuur, keha üldine soojendamine	0,7
visuaalne pindala	0,7
Vibratsioon	0,95
visuaalne pikkus	1
temperatuur, käe jahutamine	1
magusa maitse (saharoos)	1,3
soola maitse	1,4
Raskus	1,45
temperatuur, käe soojendamine	1,6
temperatuur, keha üldine jahutamine	1,7
Elekter	3,5



Joonis 4. Stevensi seadus

Näiteks tuleb selleks, et inimesed tajusid valgustatust kaks korda suuremana, suurendada füüsiliselt valgustatust kaheksa korda. Temperatuuri tajumisel on inimestel erinev tundlikkus külma ja sooja suhtes, kusjuures käe ja keha tundlikkus on erinev. Keha on soojendamise suhtes “tundetum” ja jahutamise suhtes tundlikum. Käe tundlikkus on aga vastupidine – käed on jahutamise suhtes “tundetumad” ja soojendamise suhtes tundlikud.

Inimese poolt keskkonna tajumise analüüsil tuleb meeles pidada inimese tajude piiratust. Evolutsiooniliselt on välja kujunenud, et inimesed tajuvad oma spetsiifiliste tajuorganitega ainult osa keskkonna parameetritest, inimene näeb, kuuleb, haistab, tunneb maitset, puudutust, valu ning tajub oma liigutusi ja asendit ruumis. Paljusid keskkonna füüsilisi mõjusid inimene vahetult ei taju, näiteks lühi- ja pikalainelist elektromagnetkiirgust või õhu kvaliteeti (hapniku või süsihappegaasi sisaldus). Selliseid tajuväliseid mõjureid tunnetavad inimesed kaudselt, läbi halva enesetunde, haigestumise vms kaudu. Sellised tajuvälised mõjurid võivad olla inimesele ohtlikud ja seepärast tuleb võimalike ohtlike, kuid inimese poolt mitte-tajutavate keskkonnaparameetrite jälgimiseks kasutada spetsiaalseid mõõte- ja alarmseadmeid.

Stiimulite tajumise erinevusi tuleb keskkonna mõõtmisel, projekteerimisel ning hindamisel arvesse võtta.

Adaptatsioon

Hinnanguid keskkonnale ja selle mõju inimesele muudab adaptatsioon. Adaptatsioon on meeleeelundi või närvisüsteemi tundlikkuse muutumine ärritaja kestva mõju puhul. Näiteks kõik teavad, kuidas silmad kas heleda päikese või pimedusega "ära harjuvad".

Adaptatsioon ei puuduta ainult närvisüsteemi tundlikkust, vaid see võib olla kompleksne kohanemine mitmete erinevate keskkonna mõjuritega mitmel erineval viisil (vt järgnev tabel) [5].

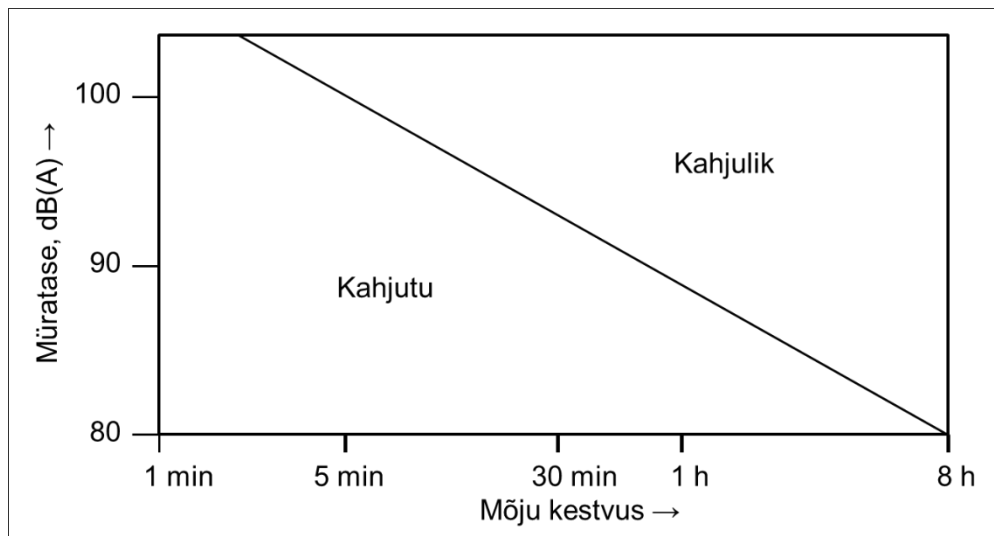
<i>Adaptatsiooni viis</i>	<i>Komponent</i>	<i>Kirjeldus</i>
Käitumuslik	Kohanemine	Oma seisundi käitumuslik / tehnoloogiline muutmine, näit. soojuse tasakaal.
Füsioloogiline	Aklimatiseerimine	Pikaajaline füsioloogiline kohastumine keskkonnaga, kliimaga
Psühholoogiline	Harjumine	Psühholoogiline kohanemine keskkonnaga, ootuste, hinnangute muutus

Adaptatsioon näitab selgelt, et inimene pole passiivselt keskkonna poolt mõjutatud, vaid on aktiivne kohaneja. Adaptatsiooni tähtsust suurendab ka see, et kohanemine keskkonnaga võimaldab inimestel töötada väga erinevate parameetritega keskkondades.

Müra

Müra on töökeskkonnas vältimatu. Müra allikateks võivad olla inimesed ja masinad. Liiga suur müra, üle 80 dB(A) tüütab ja vähendab vajalikku kontsentratsiooni, kuid liiga vaikne keskkond (vähem kui 30 dB(A)) toob esile kõrvalised helid ja tekitab ärevust. Müra tajumisel on soolised erinevused - naised on müra suhtes tundlikumad kui mehed. Müra tajumine oleneb ka müra tekitajast ja nii on teiste poolt tekitatud müra on häirivam kui enda tekitatud müra ja inimesed tunnevad ennast mugavalt kui nad saavad müra taset kontrollida.

Ei tohi unustada, et pikaajaline viibimine tugeva müra keskkonnas võib tekitada nii ajutise kui ka permanentse kuulmiskahjustuse.



Joonis 5. Müratase ja kestvus ning kuulmiskahjustuse risk [6].

Müra mõju töövõimele oleneb töö iseloomust ja keerukusest. Maksimaalsed müratasemed erinevate tegevuste jaoks on toodud järgnevas tabelis [7].

Tegevus	dB(A)
Füüsiline mitte-oskustöö (näit. koristamine)	80
Füüsiline oskustöö (näit. mehaanik)	75
Füüsiline täppistöö (näit. seadistamine, treimine)	70
Rutiinne administratiivtöö	70
Füüsiline väga suurt täpsust nõudev töö	60
Lihtne kommunikatsiooniga seotud administratiivtöö	60
Intellektuaalse sisuga administratiivne töö (näit. joonestamine, kujundamine)	55
Kontsentreerumist nõudev intellektuaalne töö (näit. kontoritöö)	45
Kontsentreerumist nõudev intellektuaalne töö (näit. lugemine raamatukogus)	35

Valgustus

Valgustatus oleneb tegevuse iseloomust. Mida tähtsam ja komplitseeritum on visuaalne tegevus, seda suuremat valgustatust on vaja (vt järgnev tabel).

Tegevus	lux
Orienteerumine – koridorid, trepid	20–200
Tavatööd – lugemine, masinate kasutamine, koostamine	200–750
Spetsiaalsed tegevused – kvaliteedi visuaalne kontroll jms	750–5000

Valgustus oleneb vanusest - vanemad inimesed vajavad suuremat valgustatust. Töökohtade valgustamisel oleks vaja hoiduda liiga suurtest ja liiga väikestest erinevustest tööruumi ja töökoha valgustatustes. Valgustuse puhul on vaja vältida peegeldusi ja varje.

Soovitav on võimalikult palju kasutada päevavalgust, sest see vähendab unisust [8].

Valgusallikate valgusvärv on erinev. Päiksevalgust loetakse valgeks (värvitemperatuur 5000–6500 K). Väiksema värvitemperatuuriga (<5000 K) valgusallikad on kollakad või punakad ning seda valgust tajutakse soojana. Kõrge värvitemperatuuriga (>6500 K) valgusallikad on sinakad ja seda valgust tajutakse külmana. Värvitemperatuuril on mõju inimestele – külm valgus on stimuleeriv/ärritav ning soe valgus rahustav. Töökeskkonnas eelistavad enamus inimesi soojemat valgust (3000–5000 K), kuid on inimestel on valguse suhtes subjektiivsed eelistused. Vältimaks ebameeldivustunnet, tuleks tööruumides vältida liiga külma ja liiga sooja valguse kasutamist [9].

Temperatuur, ventilatsioon, süsihappegaas (CO₂)

Temperatuur on üks olulisemaid töökeskkonna kujundajaid ja enamus töötajate kaebusi tuleb sellest, kui nende töökeskkond on kas liiga soe või liiga külm. Uuringud näitavad, et liiga soojad ja liiga külmad töökohad vähendavad töötajate töövõimet, muudavad raskeks mõtlemise ja kontsentreerumise. Samuti mõjutavad kõrged temperatuurid sotsiaalset suhtlemist tekitades liigse inimeste ülekoormatuse tunde ja negatiivseid reaktsioone teistele. Liiga soe või liiga külm keskkond on otseselt tervistkahjustav (haige hoone sündroom – sick building syndrome).

Ventilatsiooni õhuvooluhulk, mis on väiksem kui 10 L/sek inimese kohta seostub tervise halvenemisega ja loomulikult rahulolematusega. Ventilatsiooni suurendamine vähendab haige hoone sündroomi tekkimise tõenäosust ning tõstab õhu tajutavat kvaliteeti. [10]

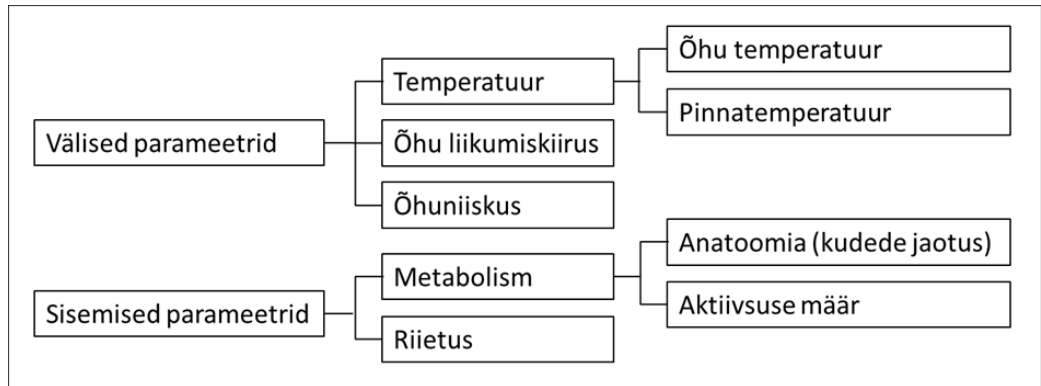
Soojusmugavus (thermal comfort) kirjeldab üldistatud tunnet keha soojusliku seisundi kohta. Mugavus on defineeritud kui seisund, kus inimesel pole vajadust korrigeerida keskkonda läbi käitumise [11].

Soojusmugavat keskkonda iseloomustavad järgmised parameetrid:

- Optimaalne õhuniiskus 20 - 50%.
- Õhuniiskus talvel < 20% ja suvel > 60% ebasoovitavad.
- Liiga kuiv õhk < 20% - tekitab silmade ja limaskestade ärritust, staatilist elektrit
- Liiga niiske õhk > 60% - on bakteritele, allergeenidele ja mikroobidele soodus keskkond.
- Soovitavad õhutemperatuurid:
 - suvel 22 - 26°C
 - talvel 20 - 24°C
- Soojust kiirgavad pinnad (> +4 C õhu temperatuuriga võrreldes) tekitavad ebamugavust

- Tuuletõmbus (õhu liikumise kiirus üle 0,2 m/s) mõjutab ebameeldivalt eriti kerge töö korral.

Soojusolukorra tunnetus tekib mitme mõjuri koostoimest – nii inimese välimistest kui sisemistest mõjuritest (vt joonis). Suhtelisel niiskusel on väike mõju soojusolukorra tunnetusele, kuna 10 % suhtelise niiskuse muutus vastab tunnetuslikult 0,3 °C temperatuuri muutust. Inimene ei ole ka võimeline tajuma suhtelist niiskust, vaid tunnetab seda kaudselt näiteks naha kuivamise kaudu.



Joonis 6. Soojusliku tunnetuse tekkimise komponendid [12]

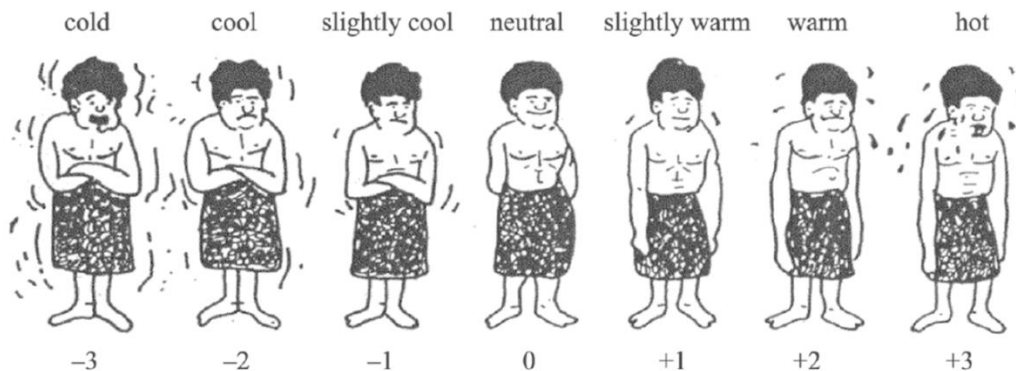
Selline erinevate mõjuritite koostoime näitab selgesti, et standardse, kõikidele sobiva soojusliku keskkonna loomine on problemaatiline. Järgnevas tabelis on toodud soovitatavad keskkonna temperatuurid erinevat füüsilist pingutust vajavate tööde jaoks (suhteline niiskus: 20 – 60%, õhu liikumine väiksem kui 0.1 m/s, normaalne riietus).

Töö	Õhu temperatuur (°C)
Istuv, mõtlemine	18–24
Istuv, manuaalne	16–22
Seisev, kerge manuaalne töö	15–21
Seisev, raske manuaalne töö	14–20
Raske töö	13–19

Tabelis toodud istuva töö madalamad temperatuurid eeldavad soojemat riietust ja ka kindaid kuna katmata sõrmed hakkavad kohmetuma u 20 °C temperatuuri juures. Soojuslik mugavus mõjutab ka mäluprotsesse, inimesel, kes on subjektiivselt eelistatud keskkonnas on töömälu kasutamine parem [13]. See tulemus näitab veelkord subjektiivse, mitte objektiivse hinnangu olulisust.

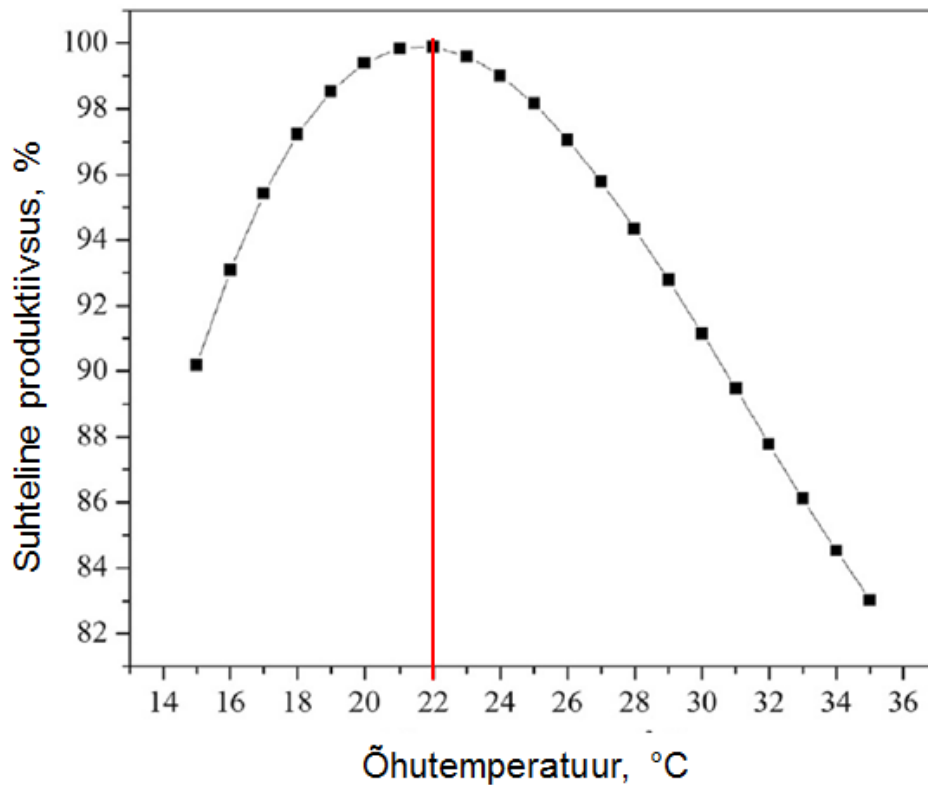
Üldise töökeskkonna temperatuuriga rahulolu mõõtmiseks võib kasutada soojustunnetus skaalat (Fangeri PMV (Predicted Mean Vote) soojusliku mugavuse skaala). Mõõtmise metodika põhineb küsitlusel, kus uuritavatel tuleb subjektiivselt hinnata, missugune on

nende hinnang keskkonna temperatuurile järgmisel skaalal: (-3) külm; (-2) jahe; (-1) veidi jahe; (0) neutraalne; (+1) soojavõitu; (+2) soe; (+3) palav (vt joonis). Üldise hinnangu saamiseks arvutatakse hinnangute keskmine, mis peaks jääma -0,5 ... +0,5 vahele [14].



Joonis 7. Fangeri PMV (Predicted Mean Vote) soojusliku mugavuse skaala, mida kasutatakse muuhulgas ISO, EVS-EN ja ASHRAE standardites

Õhutemperatuur ja produktiivsus on omavahel seotud. Tegemist on seosega, millel on maksimaalse tulemusega optimum (22 °C) ja nii madalamad kui ka kõrgemad temperatuuri väärtused vähendavad töö produktiivsust, joonis 8.



Joonis 8. Õhuteratuuri ja suhtelise produktiivsuse seos [15]

Õhuteratuuri ja suhtelise produktiivsuse vaheline seos väljendub järgmises valemis:

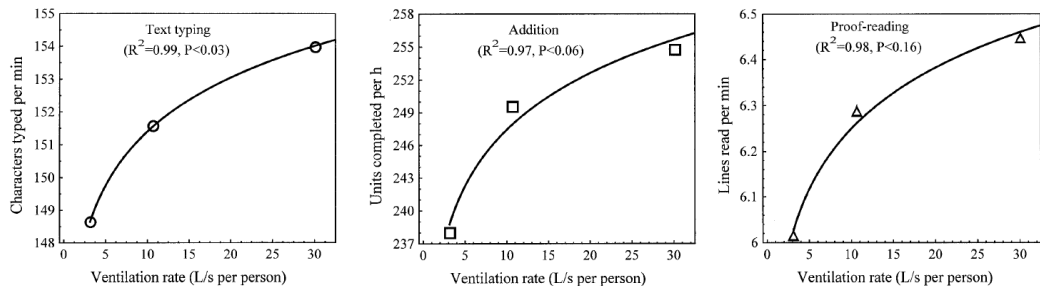
$$RP = 0,1647524 (T_c) - 0,0058274 (T_c)^2 + 0,0000623 (T_c)^3 - 0,4685328$$

Kus

RP – suhteline produktiivsus

T_c – ruumi õhuteratuur (°C) [16]

Ventilatsioon on suurus, mis mõjutab soojusmugavust ja hinnangut õhu kvaliteedile ning töö produktiivsust. Järgneval joonisel on katse tulemused, mis näitavad seost ventilatsiooni mahu ja erinevate tegevuste produktiivsuse vahel.

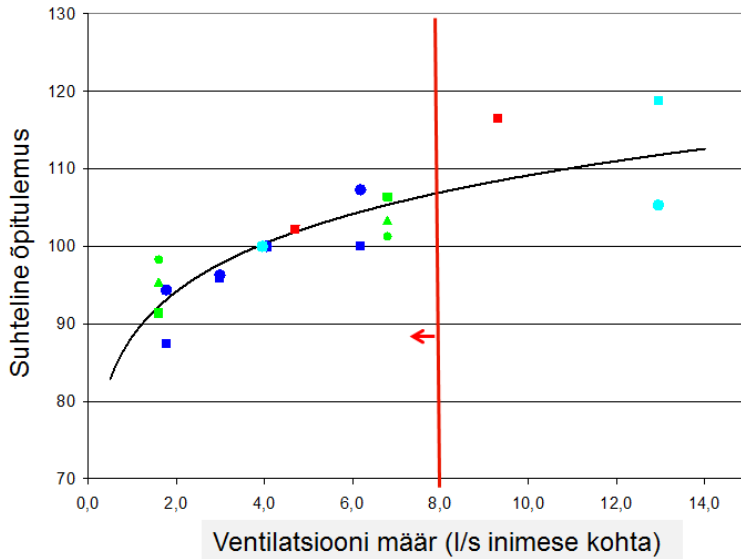


Joonis 9. Ümberkirjutamise, liitmise ja korrektuurilugemise produktiivsuse seos ventilatsiooniga

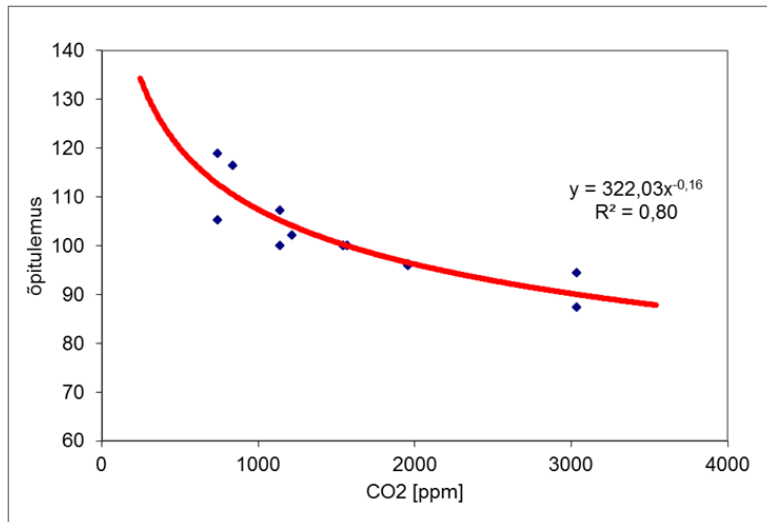
Seos on ilmne, kuid mitte väga tugev, ventilatsiooni määra kahekordne suurendamine vahemikus 3-30 L/s inimese kohta suurendab produktiivsust ümberkirjutamisel 1,1%, liitmisel ja korrektuurilugemisel 2,1% [17].

Teised uuringud näitavad, et temperatuurist, ventilatsioonist ja süsihappegaasist tulevad ebasobivad keskkonnatingimused (klassiruumi temperatuur üle 20-22°C ja süsihappegaasi tase üle 1000 ppm) võivad vähendada õpilaste õppe edukust kuni 30%. Nagu uurijad konstateerivad, on selliste halbade keskkonnatingimuste põhjuseks enamasti halb projekteerimine ja energia kokkuhoid [18].

Järgnevatel joonistel on näha seosed ventilatsiooni, süsihappegaasi kontsentratsiooni ja õpitulemuse vahel. Ventilatsiooni ja süsihappegaasi graafikud kirjeldavad sisuliselt sama asja kuna inimestel on antud aktiivsusel konstantne süsihappegaasieraldus. See sõltuvus võimaldab praktikas hinnata ventilatsiooni määra süsihappegaasikontsentratsiooni mõõtmise järgi.



Joonis 10. Ventilatsioon ja suhteline õpitulemus: kui ventilatsiooni määr on väiksem kui 8 l/s inimese kohta, väheneb õpitulemus



Joonis 11. Süsihappegaasi kontsentratsiooni ja õpitulemuse seos: õppimiseks on vaja madalat süsihappegaasi kontsentratsiooni.

Sellised tulemused näitavad kuivõrd tähtis on optimaalne keskkond nii töötajatele kui õppijatele.

Erinevate uuringute kokkuvõte:

- Õhuvahetuse kahekordistamine vähendab haigestumist ja haiguse tõttu puudumist ca 10% ning suurendab kontoritöö produktiivsust ca 1,5%
- Iga 10% õhuga rahulolematute hulga vähenemine kasvatab kontoritöö produktiivsust ca 1%
- Temperatuuri vähendamine 1°C võrra, siis kui temperatuurid on üle 24°C, tõstab kontoritöö produktiivsust ca 1,5%.
- Liiga madala temperatuuri tõstmine 20°C-ni tõstab kontoritöö produktiivsust 2%.
- Sisekeskkonna kvaliteedi tõstmiseks tehtud investeeringud tasuvad ennast ära enamasti alla 2 aastaga.

Haige hoone sündroom (Sick Building Syndrome)

Haige hoone sündroom (the sick building syndrome) on tööga seotud naha ja limaskestade ärritus ning teised sümptomid kaasa arvatud peavalud, nõrkus, kontsentratsioonihäired, mida töötajad tunnevad töökeskkonnas ja mille põhjuseks on ebasoodne töökeskkond. Haige hoone sündroom on üks peamistest haigestumise, absenteismi ja töö produktiivsuse languse põhjustest. [19].

Haige hoone sündroom on üks kasutatavatest meetoditest töökeskkonna komplekseks uurimiseks ja monitoorimiseks, kus lähtutakse töökeskkonna negatiivsetest mõjudest, pöörates peamise tähelepanu erinevatele nii füüsilistele kui ka vaimsetele haigussümtomitele. Nagu uuringutest selgub, võib töökeskkond, kombinerudes inimeste individuaalsete iseärasustega, olla suurel määral haigustumise põhjuseks.

Näiteks võib olla üks Singapuris tehtud uuring, kus peamisteks haige hoone sündroomi tekkimise põhjusteks oli (tähtsuse järjekorras): madal soojustmugavuse tase, kõrge stressitase tööl, kõrge müratase, eelnevad haigestumised, halb valgustus, noor (16-25 a) tööline, naissugu [20].

Kokkuvõte

Kaasajal ollakse seisukohal, et töötaja interaktsioon sisekeskkonnaga (ehitise ja selle süsteemidega) on oluliseks töötaja rahulolu määrajaks. Kõige suuremaks töötaja rahulolu ohustajaks on see kui ehitise ja selle süsteemid on liiga keerulised, raskesti arusaadavad ja ei allu töötaja kontrollile.

Töötaja kontroll keskkonna üle võimaldab tal luua temale ainuomase mugava keskkonna ja see, nagu katsed on näidanud, suurendab nii mugavust kui ka efektiivsust, samal ajal kulutades vähem energiat kui keskselt kontrollitud süsteemid [21].

Töövijakuse ja õpitulemustega seotud töökeskkonna füüsilised ja psühho-sotsiaalsed aspektid koolides

Koolide sisekliimast tulenevad mõjud on väga sarnased büroohonete sisekliima mõjudega. Tegemist on põhimõtteliselt sarnase tegevusega, milleks on vaimne töö istuvas asendis. Käesolevas uuringus on peatähelepanu pööratud kooliruumide soojusrežiimile ja õhustikule, sest nende mõju õpitulemustele on domineeriv.

Kui kokku uuriti kuut koolimaja, siis siin on välja toodud kahe kooli tulemused. Esimene nendest on hea ja teine halva sisekliimaga. Kahjuks peab konstateerima, et ebarahuldava sisekliimaga koolimaju oli uuritavate koolide hulgas rohkem kui rahuldava või hea sisekliimaga koole.

Sisekliima hindamisel lähtuti EVS-EN 15251 standardist, mis on ka aluseks Eestis praegu ettevalmistatavatele sisekliima miinimumnõuetele. Süsihappegaasi (CO₂) kontsentratsiooni normid [22] mitteeluruumidele on järgmised:

<i>Sisekliima klass</i>	<i>CO₂ kontsentratsioon üle välisõhu¹ kontsentratsiooni (ppm)</i>	<i>CO₂ kontsentratsioon (ppm)</i>	<i>Seletus / iseloomustus</i>
I	550	950	Parim
II	800	1200	Hea
III	1350	1750	Rahuldav
IV	>1350	>1750	Puudulik ²

¹Keskmise CO₂ kontsentratsioonina välisõhus on arvestatud 400 ppm.

²Sobimatu pidevalt kasutatavaks töö-, õppe või eluruumiks.

Temperatuuri normid [23] (kontorid konverentsiruumid, auditooriumid, kohvikud, restoranid, klassiruumid):

<i>Sisekliima klass</i>	<i>Temperatuuri vahemik, kütteperiood, °C</i>	<i>Temperatuuri vahemik, jahutusperiood, °C</i>	<i>Seletus / iseloomustus</i>
I	21,0 – 23,0	23,5 - 25,5	Parim
II	20,0 – 24,0	23,0 - 26,0	Hea
III	19,0 – 25,0	22,0 - 27,0	Rahuldav
IV	<19,0	>27,0	Puudulik

Kool L

Hoone iseloomustus ja üldandmed

Kool avati 1. septembril 1981.aastal. 2013/14 õppeaastal õpib koolis 843 õpilast. 2006.-2007.a renoveeriti täielikult kooli hoone ja territoorium.

Koolihoone asub X linnaosas ümbritsetuna kortermajadest. Hoonekompleks koosneb kolmest osast: põhikool-gümnaasiumi õppeklassid (A-korpus), algklassid (B-korpus) ja korpuseid ühendav osa (C-korpus), kus on võimla, aula ning abiruumid. A-korpus on 4-kordne, B-korpus 3-kordne ning vaheosa 2-kordne. Hoone põhiandmed on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Õppehoone L andmed

Ehitusaasta:	1981
Hoone kasutamise otstarve:	Põhikooli või gümnaasiumi õppehoone
Korruste arv:	2-4
Suletud netopind:	8174 m ²
Kõetav pind:	8174 m ²
Hoone maht:	33534 m ³
Kõetavate ruumide sisekubatuur:	27554 m ³
Õpilaste ja personali arv:	~900

A-korpuse esimesel korrusel on administratiivne osa, raamatukogu, konverentsisaal, sotsiaaltöötaja, psühholoog, hambaarst, klassiruumid ning wc-d. Wc-d asuvad A- ja B-korpuste igal korrusel koridoride lõpus hoone otsaseinte ääres. Õppeasutusel B-korpuse esimesel korrusel asub söökla ja köök.

Lisaks on korpuste all keldrikorrus, kus asuvad poiste tööõpetusklass, riietusruumid, ruumid õpetajatele, tehnilised ruumid ja muud abiruumid. Koolis töötavad pikapäevarühmad, eelkool ja mitmesugused huvialaringid.

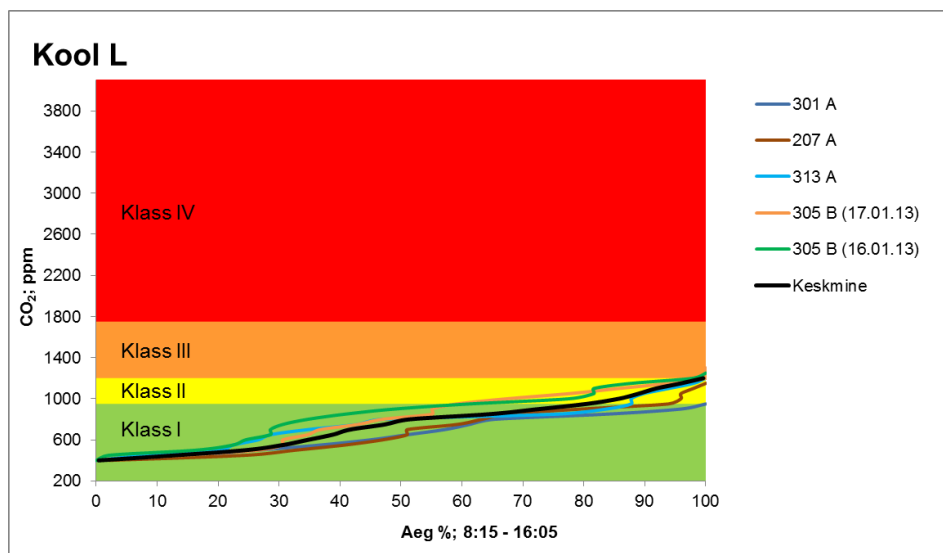
Koolihoone tegevusaja jooksul teostati peamiselt hoone korrashoiuks vajalikke töid, suuremahuline ettevõtmine toimus 2004. aastal, mil vahetati õppehoonel aknad. 2006. aastal koostati kogu hoone renoveerimisprojekt ning 2007. aastal teostati koolihoone täielik renoveerimine: soojustati välispiirded ja renoveeriti tehnosüsteemid.

Tabel 2. Klasside iseloomustus

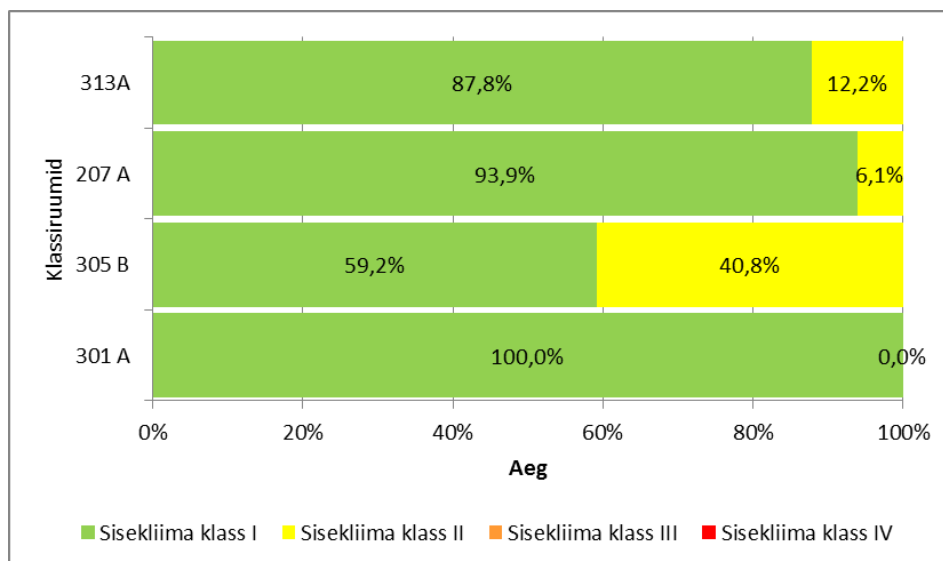
<i>klass</i>	<i>pindala</i>	<i>inimeste arv</i>	<i>fassaadi orientatsioon</i>
301 A	56,2	25	põhi-ida
305B	55,1	33	lõuna-lääne
207A	54,9	16	lõuna-lääne
313A	36,5	37	lõuna

CO₂, ventilatsioon ja õpitulemus

Koolis teostati süsihappegaasi kontsentratsiooni ja ruumitemperatuuri mõõtmised kütteperioodil. CO₂ tulemused joonisel 12 näitavad töötavat ja piisavat ventilatsiooni, kuna kõik mõõtmistulemused jäävad sisekliimaklasside I ja II vahemikku, joonis 13. Süsihappegaasi tulemustest tuletatud ventilatsioon klassiruumides on toodud tabelis 3.



Joonis 12. CO₂ kumulatiivne jaotus



Joonis 13. CO₂ kumulatiivne jaotus sisekliimaklasside järgi

Tabelis 3 toodud tulemused näitavad, et keskmine klassiruumide ventilatsioon 5,3 liitrit sekundis inimese kohta on natuke väiksem normatiivsest baastasemest 6 l/s,in ning see on põhjustanud õpitulemuse languse 2% võrra (98%), mis on arvatud vastavalt joonisel 10 toodud sõltuvusele (vt lk. 18). Seega tulemused näitavad, et normatiivne ventilatsioon 6 l/s,in parandaks õpitulemust 2% võrra ning ventilatsiooni edasine suurendamine kuni 8 l/s,in veel 6% võrra, ehk kokku maksimaalselt 8% võrra võrreldes mõõdetud olukorraga.

Tabel 3. Klassiruumide ventilatsioon ja suhtelised õpitulemused võrrelduna kahe ventilatsiooni baastaseme suhtes (õpitulemus baastasemel = 100%)

Klassiruum	Inimeste arv	Ventilatsioon l/s,in	Suhteline õpitulemus, % baastaseme 6 l/s,in suhtes	Suhteline õpitulemus, % baastaseme 8 l/s,in suhtes
301 A	25	6,6	101	96
207 A	16	5,4	98	93
313 A	37	5.2	98	92
305 B (16.01)	33	5.0	97	91
305 B (17.01)	33	4.1	94	88
Keskmine	29	5.3	98	92

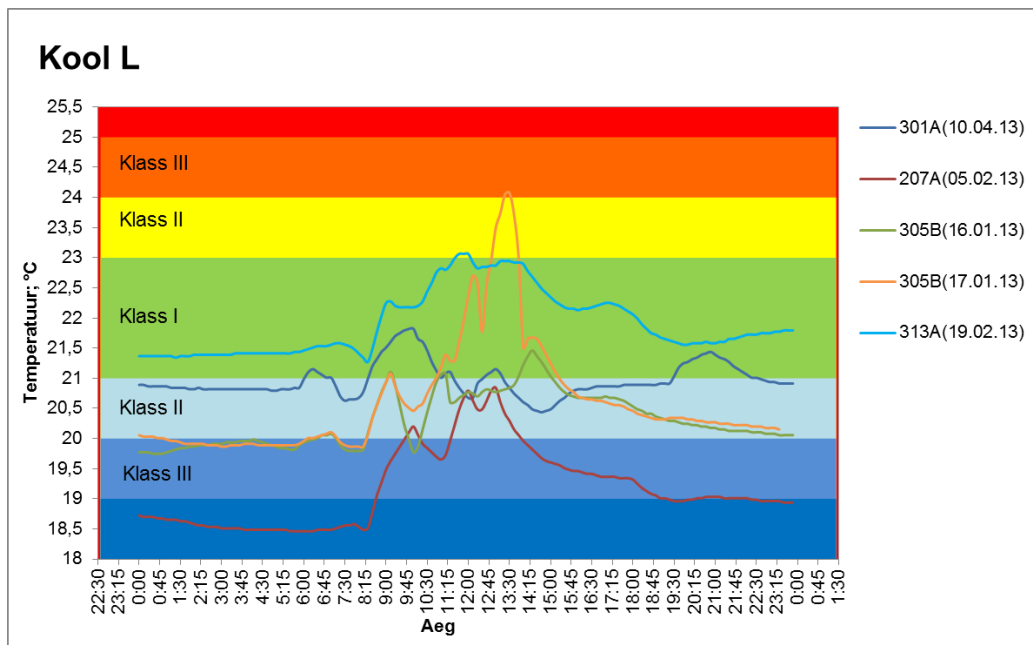
Temperatuur ja õpitulemus

Temperatuuri mõõdeti kütteperioodil ja joonistel 14 ja 15 toodud tulemused näitavad, et temperatuur on püsinud põhiliselt sisekliimaklassi I ja II piirides. Ainult ühes klassiruumis (207 A) on olnud eriti koolipäeva algusel liiga külm.

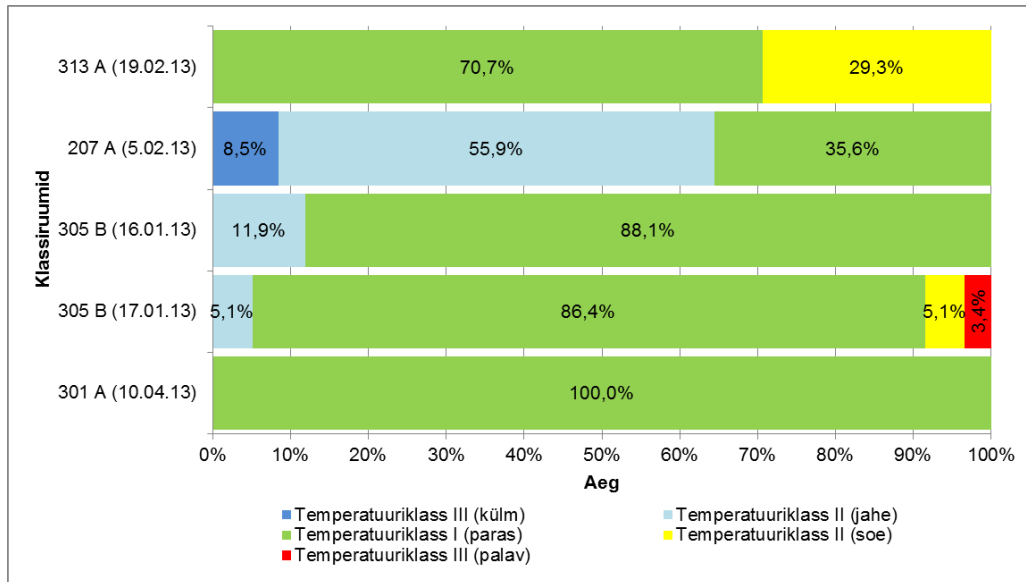
Kuna temperatuuri kõrvalekalded optimaalsest on väga väikesed, siis mõju õpitulemusele on väga väike, kõigest mõni promill. Ümmardatult õpitulemus temperatuuri järgi arvatult on 100%.

Kooli L kokkuvõte

Seega antud koolimas sisekliima vastas ligilähedaselt normidele ja ei olnud ka olulist õpitulemuse langust, ainult 2% langus oli põhjustatud normatiivsest veidi väiksema ventilatsiooni tõttu.



Joonis 14. Klassiruumide siseõhutemperatuuri dünaamika koolipäeval.



Joonis 15. Temperatuuri ajaline jaotus klassiruumides sisekliimaklasside järgi

Kool M

Hoone iseloomustus ja üldandmed

Hoone on renoveeritud 1999 aastal ja selles on 43 klassiruumi. Esimesel korrusel asub köök koos laoruumide ja sööklaga, võimla koos riietus ja pesuruumidega, ning mõned klassi ja ametiruumid. Teisel korrusel paiknevad lisaks klassiruumidele veel ka aula ja õpetajate tuba ning mõned kabinetid. Kolmas ja neljas korrus on vaid lõunapoolses tiivas ja seal asuvad klassiruumid. Hoone põhilised andmed on toodud tabelis 4 ja mõõtmised viidi läbi tabelis 5 toodud klassiruumides.

Tabel 4. Õppehoone M andmed

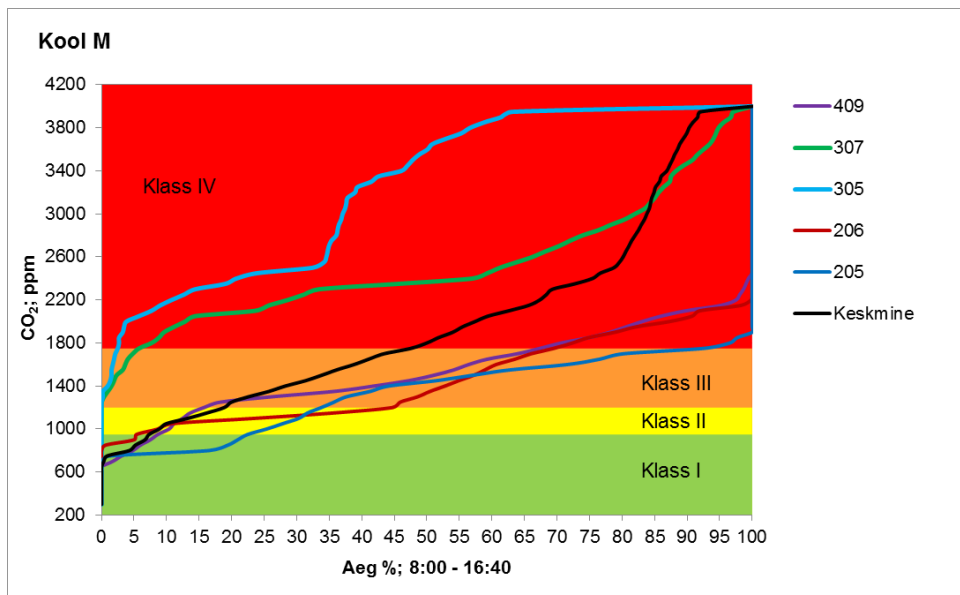
Ehitusaasta	1969
Hoone kasutamise otstarve	Põhikooli või gümnaasiumi õppehoone
Minimaalne korruste arv	2
Maksimaalne korruste arv	4
Suletud netopind	6628 m ²
Kõnetav pind	6628 m ²
Hoone maht	24771 m ³
Õpilaste arv	780

Tabel 5. Klasside iseloomustus

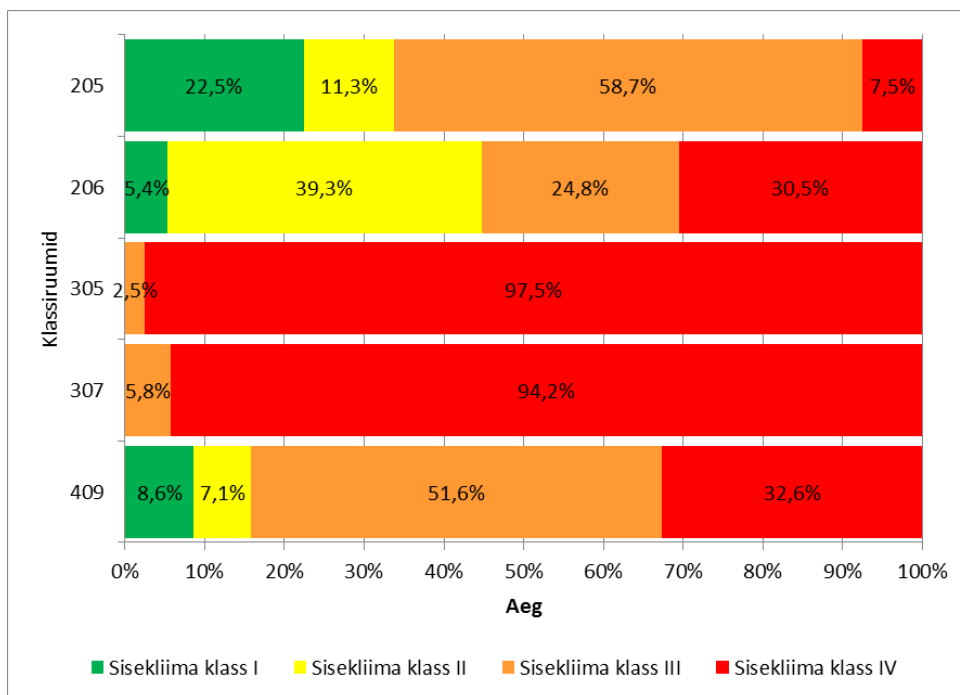
<i>klass</i>	<i>pindala</i>	<i>inimeste arv</i>	<i>fassaadi orientatsioon</i>
409	53,1	20	lõuna
307	54,3	16	lõuna
305	55,9	16	ida-lõuna
206	53,64	22	lõuna
205	55,93	26	ida-lõuna
211	50,58	24	lõuna
224	70,95	19	põhi

CO₂, ventilatsioon ja õpitulemus

Koolis teostati süsihappegaasi kontsentratsiooni ja ruumitemperatuuri mõõtmised kütteperioodil. CO₂ tulemused joonisel 16 näitavad kõrgeid, suures osas sisekliimaklassi III ületavaid tulemusi, mis viitavad puudulikule ventilatsioonile. Kahes klassiruumis 305 ja 307 on ventilatsioon sisulisel puudunud, kuna kontsentratsioonid on kerkinud kohe koolipäeva alguses u 2000 ppm tasemele. Nendes kahes klassiruumis ületasid kontsentratsioonid 1750 ppm piirtaset üle 90% koolipäeva ajast, joonis 17. Süsihappegaasi tulemustest tuletatud ventilatsioon klassiruumides on toodud tabelis 6.



Joonis 16. CO₂ kontsentratsiooni ajaline jaotus klassiruumides



Joonis 17. CO₂ kontsentratsiooni ajaline jaotus klassiruumides sisekliimaklasside järgi

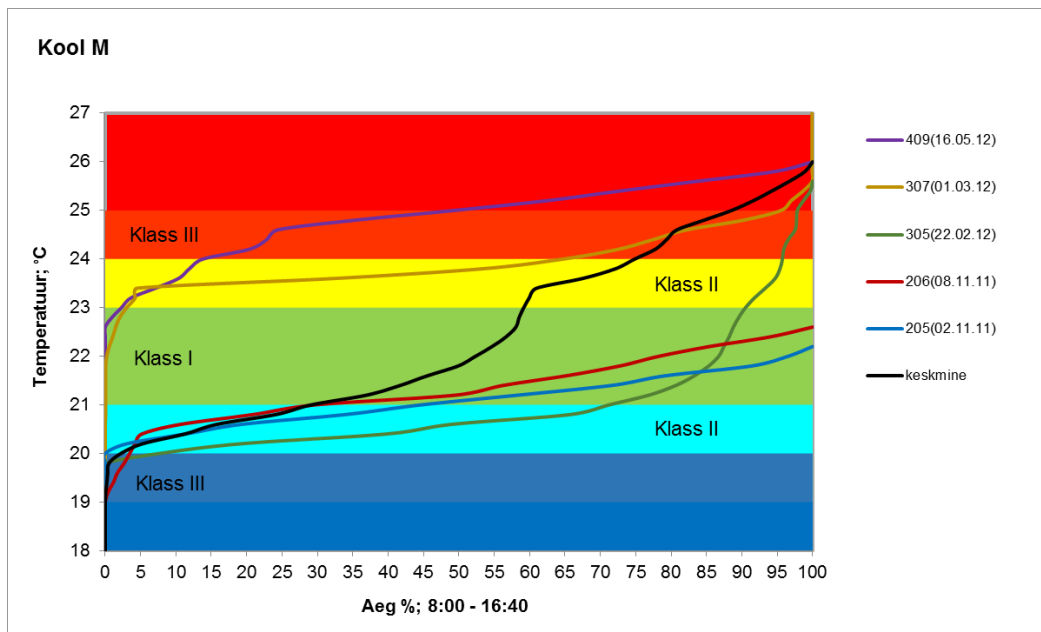
Tabelis 6 toodud tulemused näitavad suhteliselt olematud keskmist klassiruumide ventilatsiooni 1,4 liitrit sekundis inimese kohta, mis jääb tugevalt alla normatiivsele baastasemele 6 l/s,in ning see on põhjustanud drastilise õpitulemuse languse 21% võrra (79%). 15% õpitulemuse langust hinnatakse võrdväärseks ühe aasta õppetööga, seega antud koolis tekiks juba ühte aastat ületav mahajäämus kui tingimused on kogu õppeaasta jooksul sama halvad kui mõõtmisperiodil.

Tabel 6. Klassiruumide ventilatsioon ja suhtelised õpitulemused võrrelduna kahe ventilatsiooni baastaseme suhtes (õpitulemus baastasemel = 100%)

Klassiruum	Inimeste arv	Ventilatsioon l/s,in	Suhteline õpitulemus, % baastaseme 6 l/s,in suhtes	Suhteline õpitulemus, % baastaseme 8 l/s,in suhtes
206	22	2,0	86	77
409	20	2,0	85	77
205	26	1,9	85	77
307	16	0,8	76	66
305	16	0,2	63	52
Keskmine	20	1,4	79	70

Temperatuur ja õpitulemus

Temperatuuri mõõdeti kütteperioodil neljast klassis ühe päeva jooksul ja pikaajaliselt kahes klassiruumis oktoobri algusest kuni mai lõpuni. Lühiajalised mõõtmised näitasid mõningast ülekuumenemist kevadel klassiruumides 409, 307 ja 305, joonis 18. Pikaajaliste mõõtmistulemuste järgi püsis temperatuur sisekliimaklasside I ja II piirides 91% ajast klassiruumis 211 ja 93% ajast klassiruumis 224. Nende pikaajaliste mõõtmistulemuste järgi arvatud temperatuuri mõju õpitulemusele oli väga väike, ainult 0,3-0,4% langus, mis on tühine võrreldes puuduliku ventilatsiooni mõjuga.



Joonis 18. Temperatuuri ajaline jaotus klassiruumides

Kooli M kokkuvõte

Koolimajas oli puudulik ventilatsioon, mis põhjustas drastilise õpitulemuse languse 21% võrreldes normatiivse baastasemega. Temperatuurimõõtmised näitasid mõningast ülekuumenemist kevadel kuid nende mõju õpitulemusele ei olnud oluline. Kui ventilatsioon on kogu õppeaasta jooksul sama puudulik kui mõõtmisperiodil, siis antud õpitulemuse langus vastab rohkem kui ühe aastast mahajäämust õppetöös.

Sisekliima parandamise mõju tööviljakusele büroohoones

Sisekliima mõõtmised tehti kuues büroohoones, mille hulgas oli nii uusi büroooneid, renoveeritud büroooneid kui ka muinsuskaitsealas paiknevaid büroosid.

Erinevalt koolimajadest oli kõikides büroooonetes piisav ventilatsioon. Süsihappegaasi kontsentratsioon oli normile vastav, kusjuures neljas hoones jäi see alla 1150 ppm ehk vastas sisekliima II klassi nõuetele. Ülejäänud kaks hoonet vastasid sisekliima III klassi nõuetele.

Kuigi büroooonete sisekliimaprobleemid olid teisejärgulised võrreldes koolimajade teravate probleemidega oli tuvastatav liiga kõrge või madala sisetemperatuuri mõju tööviljakusele. Esines juhtumeid kus talvisel kütteperioodil sisetemperatuur tõusis 26-27°C juurde. Ühes vanemas büroohoones langes temperatuur talvisel ajal alla 19°C. Üllatavalt oli olukord parem jahutusperioodil kuna enamus hooned olid õhustatud ja paar vanemat hoonet olid muude hoonete poolt hästi varjestatud, väikeste akendega ja massiivsete konstruktsioonidega, mille tulemusel ülekuumenemist ei esinenud.

Seoses sisetemperatuuri kõikumistega langeb tööviljakus mis tähendab tööandjale rahalist kaotust. Aastane rahaline kaotus mõõdetud büroooonetes jäi töötaja kohta 120-500 € vahele aastas, arvestusliku töötunni maksumusega 15 €.

Järgnevalt on vaadeldud ühe kaasaegsema bürooone mõõtmistulemusi ning analüüsitud ka võimalike sisekliima parendamise meetmete mõju tööviljakusele.

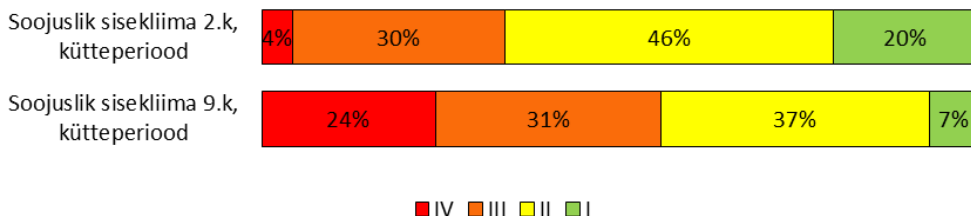
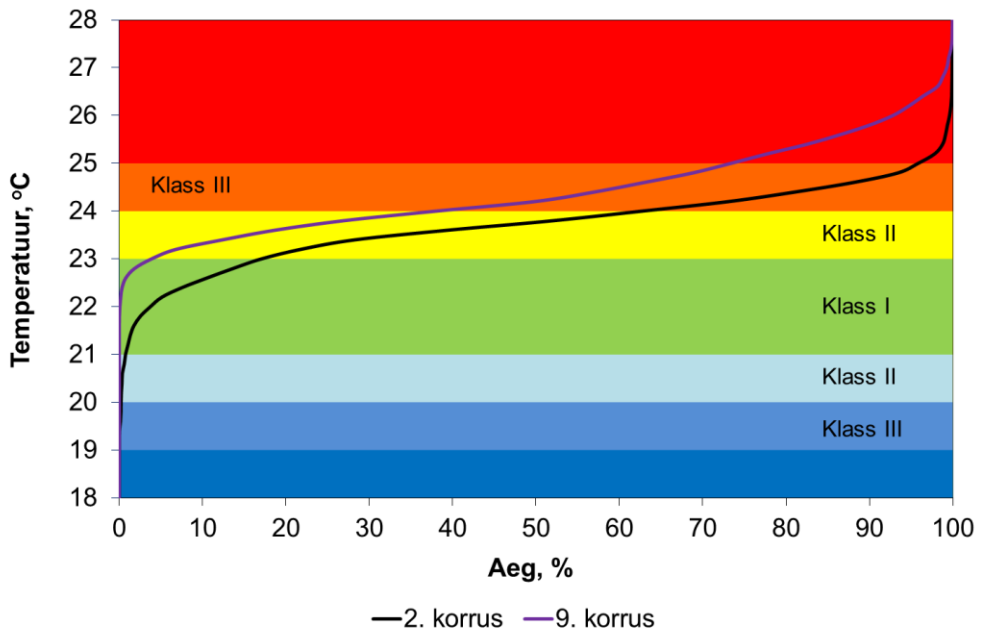
Vaadeldav bürooone valmis aastal 2009 ja see koosneb 3 korruselisest osast ja kümne 10 korruselisest osast. Kogu hoone on monoliitsetest raudbetoonist massiivse kande-konstruktsiooniga ja samuti massiivsete vahelagedega monoliitsetest raudbetoonist paksusega 250 mm, kuid välisseinad on kergkonstruktsioonis.

Hoones on kaasaegne küttesüsteem konvektorite ja plaatradiaatoritega. Radiaatoreid reguleeritakse vastavalt antud ruumi õhutemperatuurile termostaatventiili sulgemise ja avamise kaudu nii et kütte reguleeriseadmestik ja juhtimine on ühildatud hooneautomaatikaga. Sissepääsudel on vesiküttega õhkkardinad.

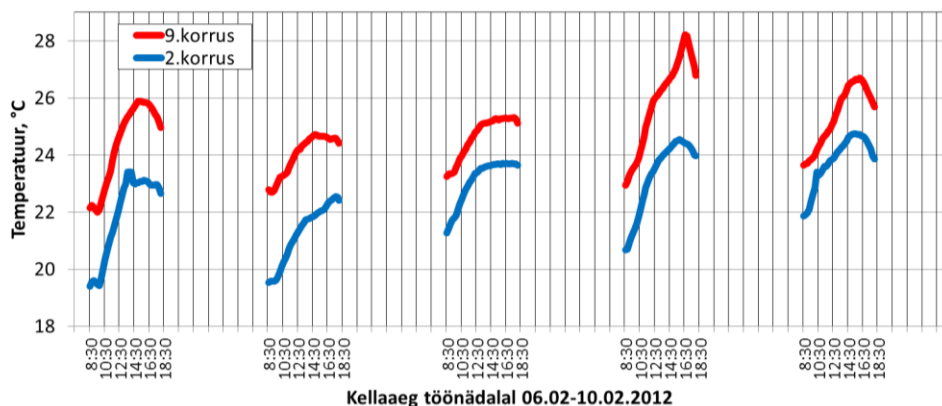
Hoone ventilatsioonisüsteemid on ehitatud eraldi hoone osadele. SV1 ventilatsioonisüsteem teenindab 2-10. korruse lääne- ja põhjakülge, SV2 2-10. korruse ida- ja lõunakülge, SV3 esimest korrust ja teise korruse kohvikut, kööki, suurt koosolekute saali ja kuluuari ning V4 on parkla väljatõmme. WC-del ja duširuumidel on eraldi väljatõmbe süsteemid. Bürooruumides on kasutusel õhustusseadmetena aktiivsed jahutustalad, mis samaaegselt ventileerivad ja jahutavad ruume.

Jahutus toimub sissepuhkeõhu tsentraalse jahutamise ja ruumides jahutustaladega. Külmasin on 2. korrusel kondensaatori vesijahutusega parameetritega 12°/7°C.

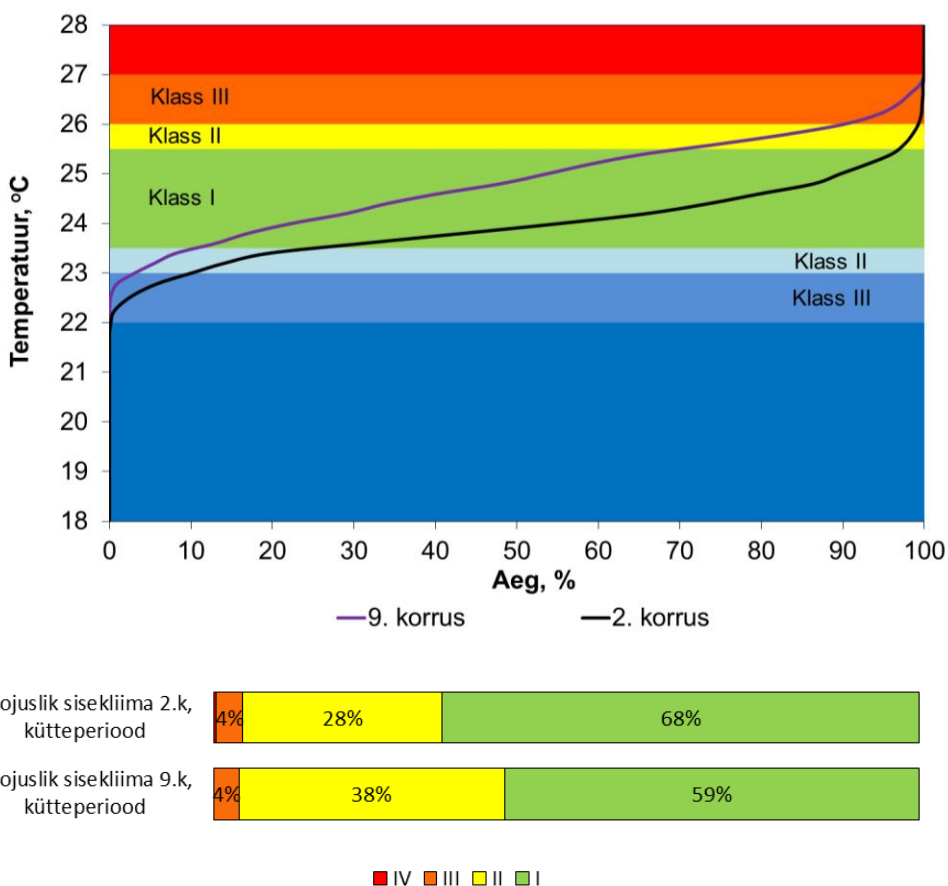
Hoone sisekliimat monitoriti 2011 oktoobrist kuni 2012 septembrini. Mõõdetud avatud kontoriruumid asusid lõunapoolselt küljel 2. ja 9. korrusel. Joonisel 19 on toodud kütteperioodi ja joonisel 21 jahutusperioodi tulemused kumulatiivsete kestvusgraafikutena, mis järjestavad kogu kütte- ja jahutusperioodi temperatuurid (arvestades ainult tööajal mõõdetud tulemustega) tõusvas järjekorras. Mõõtmistulemused näitavad olulist ülekuumenemist kütteperioodil eriti 9. korrusel, kus temperatuur oli üle 25 °C lausa 24% kütteperioodi ajast. Täpsemalt on vaadeldud ülekuumenemist kütteperioodil joonisel 20, mis näitab ühe veebruarikuu nädala jooksul temperatuuri kulgu – päeval temperatuur kerkib, neljapäeval on paistnud ka päike ning reede hommikul on temperatuur 9. korrusel juba 24°C. See näitab jahutusvajadust (välisõhuga) ka kütteperioodil, milleks hoone tehnosüsteemid kasutatud seadistuses võimelised ei olnud. Seevastu jahutusperioodil oli olukord kontrolli all, joonis 21.



Joonis 19. Kütteperioodi tööaja temperatuuri kumulatiivne graafik ja soojusliku mugavuse ajaline jaotus 2. ja 9. korrusel.



Joonis 20. Temperatuuri dünaamika ühel veebruarikuu töönädalal.



Joonis 21. Jahutusperioodi tööaja temperatuuri kumulatiivne graafik ja soojusliku mugavuse ajaline jaotus 2. ja 9. korrusel.

Töövijakuse muut arutati vastavalt joonisel 8 toodud temperatuurisõltuvusele (vt lk. 14.). Kuu suhtelisest töövijakusest on välja arvatud kuu jooksul kaotatud tööajad ja selle rahaline väärtus. Töö väärtuseks võeti 2012 aasta Eesti kahekordne keskmine kuupalk 887 €, mis korrutati sotsiaalmaksuga 1,34-ga ning jagati 160 töötunniga kuus, mis andis ühe töötunni väärtuseks 15 €.

Suhteline töövijakus kuude kaupa, kaotatud tööaeg ja selle rahaline väärtus 2. ja 9 korrusel on toodud tabelites 7 ja 8. Hoones oli sisekliima I klassile vastav ventilatsioon (keskmiselt 15 l/s inimese kohta), mille tõttu ventilatsioonist tulenevat töövijakuse langust ei esinenud.

Tabel 7. Rahaline kaotus töötaja kohta 2. korrusel vastavalt mõõtmistulemustele.

<i>Kuu</i>	<i>Suhteline tulemuslikkus</i>	<i>Kaotatud tööaeg</i>	<i>Kaotatud raha</i>
Oktoober	0,987	2,3 h	34 €
November	0,990	1,8 h	28 €
Detsember	0,993	1,3 h	19 €
Jaanuar	0,992	1,5 h	22 €
Veebruar	0,987	2,0 h	31 €
Märts	0,987	2,2 h	33 €
Aprill	0,984	2,6 h	39 €
Mai	0,985	2,8 h	42 €
Juuni	0,999	0,2 h	3 €
Juuli	0,999	0,2 h	3 €
August	0,999	0,2 h	4 €
September	0,995	0,8 h	12 €
KESKMINE / KOKKU	0,991	18,0 h/a	269 €/in a

Tabel 8. Rahaline kaotus töötaja kohta 9. korrusel vastavalt mõõtmistulemustele.

<i>Kuu</i>	<i>Suhteline tulemuslikkus</i>	<i>Kaotatud tööaeg</i>	<i>Kaotatud raha</i>
Oktoober	0,985	2,6 h	38 €
November	0,985	2,6 h	39 €
Detsember	0,988	2,2 h	32 €
Jaanuar	0,988	2,1 h	31 €
Veebruar	0,98	3,1 h	47 €
Märts	0,977	4,0 h	61 €
Aprill	0,976	4,0 h	60 €
Mai	0,972	5,1 h	76 €
Juuni	0,995	0,8 h	12 €
Juuli	0,996	0,6 h	10 €
August	0,999	0,3 h	4 €
September	0,991	1,4 h	21 €
KESKMINE / KOKKU	0,986	28,8 h/a	432 €/in a

Tulemustest on näha, et suurem osa tööviljakuse langusest esineb kütteperioodil. See on tingitud liiga kõrge sisetemperatuurist, kus mõnel päeval tõusis sisetemperatuur isegi üle 28°C. Jahutusperioodil on soojuslik sisekliima hoones väga hea ja seetõttu on ka suhteline tulemuslikkus kõrge. 9. korruse temperatuur oli aastaringselt ühe kraadi võrra kõrgem, mille tõttu 9. korrusel oli rahaline kaotus töötaja kohta 160 €/in a võrra suurem kui 2. korrusel.

Järgnevalt on analüüsitud täpsema temperatuurireguleerimise mõju kütteperioodil. Temperatuuri langetamine ühe kraadi võrra 2. korrusel vähendaks rahalise kaotuse 117 €/in a peale, Tabel 9. Kui langetada 2. korrusel temperatuuri 2 kraadi võrra, jääks aastas kaotatud tööaeg ühe inimese kohta alla 4 tunni ja selle rahaline kaotus jääks 60€ juurde ühe inimese kohta. 9. korrusel andis parima tulemuse temperatuuri langetamine 3 kraadi võrra, tabel 10.

Tabel 9. Kütteperioodil 2. korrusel ühe kraadi võrra temperatuuri langetamise mõju.

<i>Kuu</i>	<i>Suhteline tulemuslikkus</i>	<i>Kaotatud tööaeg</i>	<i>Kaotatud raha</i>
Oktoober	0,994	1,0 h	15 €
November	0,996	0,7 h	11 €
Detsember	0,998	0,4 h	6 €
Jaanuar	0,997	0,5 h	7 €
Veebruar	0,994	1,0 h	15 €
Märts	0,995	0,9 h	14 €
Aprill	0,993	1,2 h	18 €
Mai	0,993	1,3 h	19 €
Juuni	0,999	0,2 h	3 €
Juuli	0,999	0,2 h	3 €
August	0,999	0,2 h	3 €
September	0,999	0,2 h	3 €
KESKMINE / KOKKU	0,996	7,8 h/a	117 €/in a

Tabel 10. Kütteperioodil 9. korrusel 3 kraadi võrra temperatuuri langetamise mõju.

<i>Kuu</i>	<i>Suhteline tulemuslikkus</i>	<i>Kaotatud tööaeg</i>	<i>Kaotatud raha</i>
Oktoober	0,999	0,2 h	3 €
November	0,999	0,3 h	4 €
Detsember	0,999	0,2 h	4 €
Jaanuar	0,998	0,3 h	5 €
Veebruar	0,997	0,4 h	6 €
Märts	0,998	0,4 h	6 €
Aprill	0,998	0,3 h	4 €
Mai	0,997	0,5 h	7 €
Juuni	0,995	0,8 h	12 €
Juuli	0,996	0,6 h	10 €
August	0,999	0,3 h	4 €
September	0,997	0,4 h	6 €
KESKMINE / KOKKU	0,998	4,7 h/a	70 €/in a

Jahutusperioodil oli soojuslik sisekliima mõõdetud perioodil väga hea. Kuid kui peaks juhtuma näiteks, et 9.korrusel jahutus lakkab töötamast (või jahutust poleks üldse ehitatud) ja siseõhu temperatuur tõuseks kolme kraadi võrra kõrgemale, siis suvekuudel oleksid tekiks märkimisväärne rahaline kaotus, tabel 11.

Tabel 11. Rahaline kaotus jahutusperioodil 9. Korrusel, kui temperatuur oleks mõõdetust kolme kraadi võrra kõrgem.

<i>Kuu</i>	<i>Suhteline tulemuslikkus</i>	<i>Kaotatud tööaeg</i>	<i>Kaotatud raha</i>
Juuni	0,966	5,4 h	81 €
Juuli	0,969	5,5 h	82 €
August	0,980	3,5 h	53 €
KESKMINE / KOKKU	0,972	14,4 h	216 €/in

Väga soojade suvede korral võib temperatuur tõusta ka 5 kraadi kõrgemaks kui jahutus ei tööta, ehk temperatuur läheneks suve kuudel 30 °C-le tööajal. Sellisel juhul oleks kaotatud tööaeg jahutusperioodil 29,2 tundi inimese kohta ja rahaline kaotus juba 438 €/in.

Kokkuvõte

Koolimajades ja büroohoonetes läbi viidud sisekliima mõõtmised kinnitavad varasemate uuringute tendentse ning uude elemendina analüüsiti selles uuringus sisekliima mõju õpitulemusele ja tööviljakusele.

Tulemused näitavad üheselt, et büroohoonetes oli oluliselt parem sisekliima ja probleemid olid teisejärgulised võrreldes koolimajadega. Kõikides büroohoonetes oli piisav ventilatsioon, mille tagas üldjuhul soojustagastusega sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsioon, kuid ühes vanemas suurte ja kõrgete ruumidega hoones andis rahuldava tulemuse ka loomulik ventilatsioon. Büroohooned ei ülekuumenenud jahutusperioodil, enamikel juhtudel tänu õhustussüsteemile kuid paaris vanemas majas ka tänu paksudele seinadele, varjulisele asukohale ja väikestele klaaspindadele. Teisejärguliseks probleemiks võib pidada mõnes hoones esinenud ruumide ülekuumenemist kütteperioodil, mis on põhimõtteliselt lahendatav tehnosüsteemide seadistamise või akna avamisega.

Uuringus osalenud kuuest koolimajast oli enamuses puudulik ventilatsioon, ainult üks koolimaja vastas ligilähedaselt sisekliima nõuetele. Puudulik ventilatsioon või õigemini osadel juhtudel ventilatsiooni puudumine põhjustas õpitulemuse drastilise languse, pooltes koolimajades tähendas see vastavalt mõõtmistulemustele juba üle aastast mahajäämist õppetöös, eeldusel, et kütteperioodil toimunud mõõtmistega sarnased tingimused esinevad kogu õppeaasta jooksul.

Väikse valimi tõttu ei saa välja tuua õpitulemuse languse numbrit kogu Eesti lõikes, kuid uuringu tulemusi tuleb võtta tõsise ohumärgina. Nimelt oli osades igati korralikult renoveeritud koolimajades ventilatsioon välja lülitatud, mis tähendab otsest ohtu laste tervisele hästi soojustatud ja õhupidavates klassiruumides. Igal juhul on kohalikel omavalitsustel põhjust oma koolimajad üle vaadata ja veenduda et hooned on ventileeritud ja hooldatud, ning et igas koolimajas on inimene kes vastutab ventilatsiooni käitamise eest kasutusajal.

Kuigi büroohoonetes oli enamjaolt hea sisekliima, näitavad tööviljakuse tulemused, et ka büroohoonete puhul võib tööandja saavutada sisekliimat parendades olulist rahalist kokkuhoidu.

Kirjandus

- 1 Moon, S.D., Sauter, S.L., Eds (1996) *Beyond Biomechanics: Psychosocial Aspects of Musculoskeletal Disorders in Office Work*. Taylor & Francis, London.
- 2 Rowan, M.P., Wright, P.C. (1995) Ergonomics is good for Business. *Facilities*, Volume 13, Number 8, July 1995, pp. 18–25
- 3 Rashid, M., Zimring, C. (2008) A Review of the Empirical Literature on the Relationships Between Indoor Environment and Stress in Health Care and Office Settings - Problems and Prospects of Sharing Evidence. *Environment and Behavior*, Volume 40 Number 2, 151-190
- 4 Robert M. Yerkes and John D. Dodson (1908) The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 459-482.
- 5 Schweiker, M., Brasche, S., Bischof, W., Hawighorst, M., Voss, K., Wagner, A. (2012) Development and validation of a methodology to challenge the adaptive comfort model. *Building and Environment*, 49:336-347
- 6 Dul, J., Weerdmeester, B. (2008) *Ergonomics for Beginners - A Quick Reference Guide*, 3rd Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group
- 7 Dul, J., Weerdmeester, B. (2008) *Ergonomics for Beginners - A Quick Reference Guide*, 3rd Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group
- 8 Münch, M., Linhart, F., Borisuit, A., Jaeggi, S.M. (2011) Effects of Prior Light Exposure on Early Evening Performance, Subjective Sleepiness, and Hormonal Secretion. *Behavioral Neuroscience*, Vol. 126, No. 1, 196–203
- 9 Taniguchi, Y., Miki, M., Hiroyasu, T., Yoshimi, M. (2011) Preferred Illuminance and Color Temperature in Creative Works. *IEEE*
- 10 Rashid, M., Zimring, C. (2008) A Review of the Empirical Literature on the Relationships Between Indoor Environment and Stress in Health Care and Office Settings - Problems and Prospects of Sharing Evidence. *Environment and Behavior*, Volume 40 Number 2, 151-190
- 11 Holopainen, R., Tuomaala, P., Hernandez, P., Häkkinen, T., Piira, K., Piippo, J. (2014) Comfort assessment in the context of sustainable buildings: Comparison of simplified and detailed human thermal sensation methods. *Building and Environment* 71:60-70
- 12 Holopainen, R., Tuomaala, P., Hernandez, P., Häkkinen, T., Piira, K., Piippo, J. (2014) Comfort assessment in the context of sustainable buildings: Comparison of simplified and detailed human thermal sensation methods. *Building and Environment* 71:60-70
- 13 Roberta Sellaro, Bernhard Hommel, Meriem Manai, Lorenza S. Colzato (2014) Preferred, but not objective temperature predicts working memory depletion. *Psychological Research*, DOI 10.1007/s00426-014-0558-4

-
- 14 Bujdei, C., Moraru, S.A. (2011) Ensuring comfort in office buildings Designing a KNX monitoring and control system. Seventh International Conference on Intelligent Environments
 - 15 Kershaw, T., Lash, D. (2013) Investigating the productivity of office workers to quantify the effectiveness of climate change adaptation measures. *Building and Environment*, 69:35-43
 - 16 Kershaw, T., Lash, D. (2013) Investigating the productivity of office workers to quantify the effectiveness of climate change adaptation measures. *Building and Environment*, 69:35-43
 - 17 P. Wargocki, D. P. Wyon, J. Sundell, G. Clausen, P. O. Fanger (2000) The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity. *Indoor Air*; 10: 222–236
 - 18 Wargocki, P., Wyon, D.P. (2013) Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment* 59:581-589
 - 19 World Health Organisation (WHO)
 - 20 Ooi, P. L., Goh, K. T., Phoon, M. H., Foo, S. C., Yap, H. M. (1998) Group Epidemiology of Sick Building Syndrome and Its Associated Risk Factors in Singapore. *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 55, No. 3, pp. 188-193
 - 21 R. J. de Dear, T. Akimoto, E. A. Arens, G. Brager, C. Candido, K. W. D. Cheong, B. Li5, N. Nishihara, S. C. Sekhar, S. Tanabe, J. Toftum, H. Zhang, Y. Zhu (2013) Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air*; 23: 442–461
 - 22 European Standard. Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings. CEN/TC 156. Date: 2014-08-20. prEN 15251:2014.



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Riigi Kinnisvara