



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Sisekliima ja energiatarve – soojuslik sisekliima, õhu kvaliteet ja puhtus

Kaido Hääl

Tallinna Tehnikaülikool
Keskkonnatehnika instituut

ELUASE NÕUAB HOOLT

Olemasolevast elamufondist tingituna tuleb praegustel omanikel üha suuremat tähelepanu pöörata olemasolevate hoonete säilitamisele: renoveerimisele, eluea pikendamisele ja väärtuse tõstmisele.

Nende ettevõtmiste juures tuleks samal ajal tingimata tähelepanu pöörata ka energiaressursside säästlikumale kasutamisele. Eelkõige puudutab see soojusenergia säästlikku kasutamist, mis kulub hoonete kütmiseks ja sooja vee saamiseks, aga samuti elektrienergia ja külma ning sooja vee mõistlikku tarbimist.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

- *Füüsikalised tegurid* – Sisekliima/sisekeskkond
- Õhu temperatuur, ümbritsevate pindade temperatuurid, õhu kvaliteet (gaasid ja osakesed), valguse tase, valguse kvaliteet ja selle mõjutamise võimalused, ruumi vorm ja ilme, õhu liikumine - tõmme, müra.....
- *Füsioloogilised tegurid*
- Tervis, väsimus, vanus, sugu, füüsiline aktiivsus, aklimatiseerumine, kellaaeg...
- *Psühho-sotsiaalsed tegurid*
- Töö olukord, vahekord töökaaslastega, stressi seisund, võimalus oma töö läbiviimist mõjutada, võimalus tööülesandeid valida, perekond...



Inimesed reageerivad eri viisil sisekliima tegurite suhtes ja nad on ka eri füsioloogilise ja psühho-sotsiaalse tagapõhjaga.

Suuremas inimeste grupis, nagu näiteks büroo hoones töötajate hulgas, on alati mõned kes ei ole rahul. Rahulolematuse taseme mõõtmiseks on internatsionaalne mõiste PPD (Percentage Persons Dissatisfied), mida määratakse ankeetide abil. Ankeedi uuringu tulemus oleneb kõigest kolmest tegurigrupist, aga kui uuring haarab vähemalt mõndakümmend inimest on sisekliima nendest täielikult domineeriv.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Rahvusvaheliselt on hea sisekliima kriteerium, kui ankeedi vastuste järgi PPD ei ületa nimetamisväärselt väärtust 10%.

See tähendab et 90% kasutajatest on rahul. Paljud uurimistööd kui ka üldised kogemused näitavad, et siis tööpanused on efektiivsed ja sisekliimaga seotud terviseprobleemid vähesed. Pikemas perspektiivis, see tähendab 20 aastat või rohkem, selle kvaliteedi taseme kindlustamine on väga oluline. Järgnevalt kirjeldatud projekteerimise/kavandamise metoodika aitab seda saavutada.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Sisekliimale esitatavad nõuded

Allpool on esitatud tähtsamad sisekliima nõuded, mida võib olla vajalik spetsifitseerida. Millised neist arvesse võtta, oleneb väga suuresti hoone tüübist.

Sisetemperatuur, operatiivnetemperatuur, õhu kvaliteet, õhu puhtus, õhu niiskus, ruumi valgus, tõkked õhureostuse levimise vastu, piirmüra tase, õhuliikumise kiiruse piir, mittepimestav päevavalgus, elektriväljade tugevuse piir jne.

Nõuded peavad olema absoluutsed ja täidetavad.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Sisekliima mõjub inimesele mitmeti – põhiliselt inimihi, limaskestade ja hingamisteede kaudu, mis paiknevad vahetus kontaktis ümbritseva keskkonnaga. Sisekliima puudused mõjutavad oluliselt inimeste mugavustunnet, mis omakorda sõltub mitmest tegurist: üldtervislikust seisundist, vanusest tundlikkusest, viibimisajast, üldkoormusest jne., mille piirmäärasid pole meil tänaseni olemas.

Hästi motiveeritud inimesed võivad töötada pikki aegu halbades sisekliima tingimustes



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

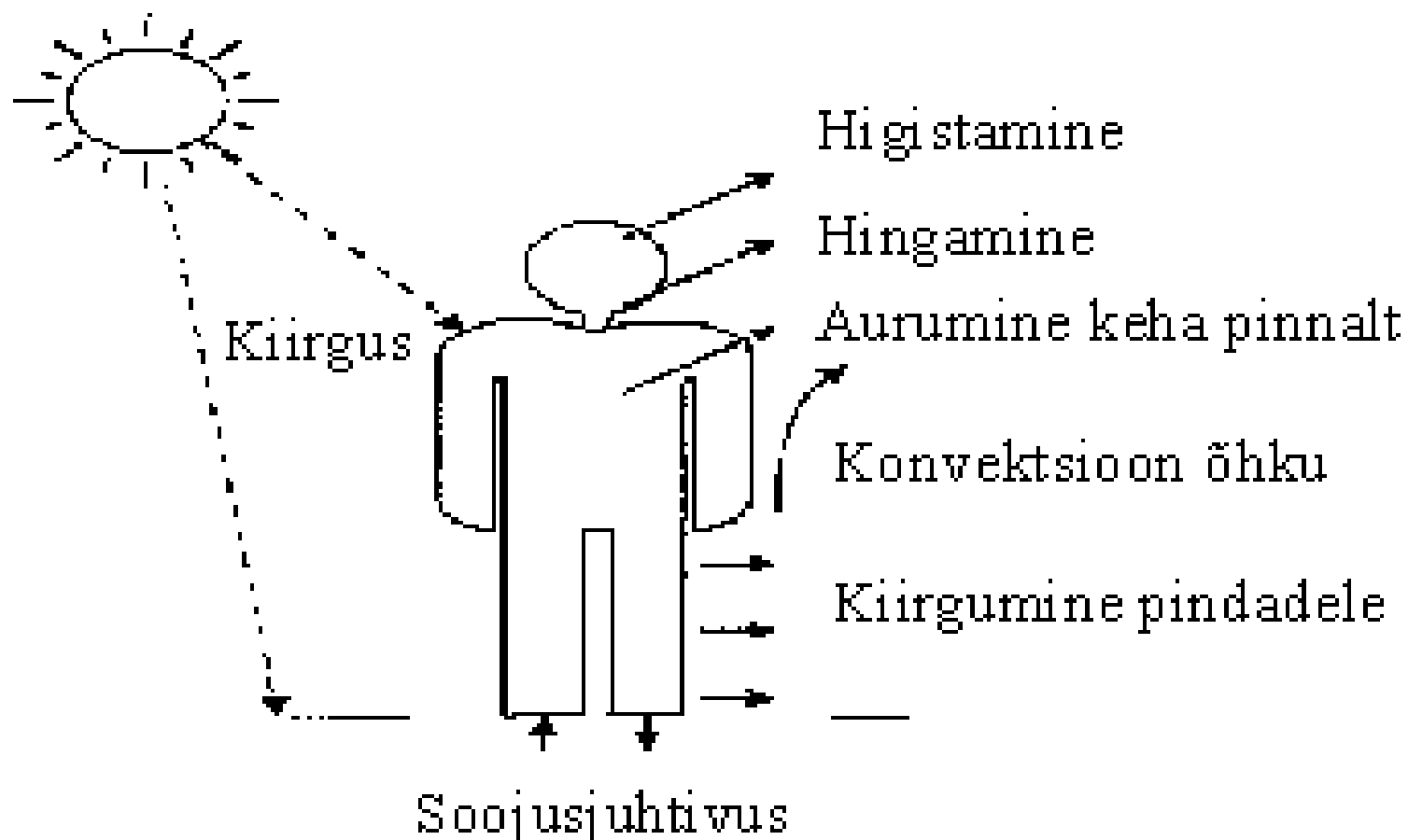
Ühed ja samad sisekliima häired on erinevate inimeste poolt ka väga erinevalt tunnetatavad, mis tähtsustab sisekliima isiku/ruumikeskse reguleerimise vajadust mugavustunde saavutamiseks. Siit on tekkinud nn "sick building syndrome", mis väljendub: nina, kurgu ja silmade ärritus, limaskestade ja ihu kuivus, ihu punetus, hingeline väsimus ja peavalu, hingamisteede põletikud ja köha, kähe hääl, üliärrituse reaktsioon, halb enesetunne ja peapööritus. Eriti raske on allergistel inimestel.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

KEHA SOOJUSVAHETUS ÜMBRITSEVA KESKKONNAGA



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Inimese soojusolukord ja mugavustunne



Organism on pingevaba kui selle poolt toodetud energia kandub ühtlaselt ümbritsevasse keskkonda.

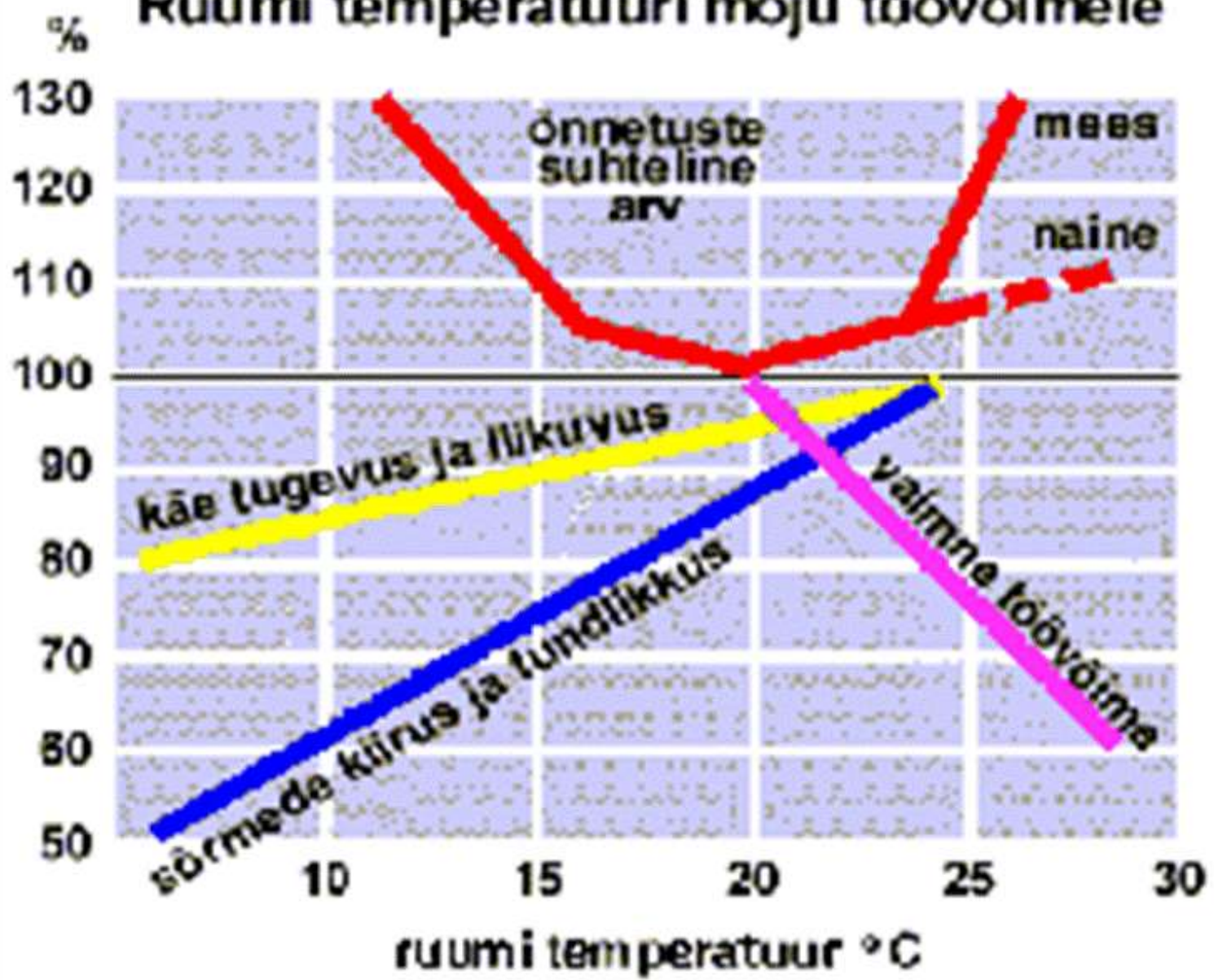


1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Ruumi temperatuuri mõju töövõimele



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutuslikud temperatuurid ja mugavustunne

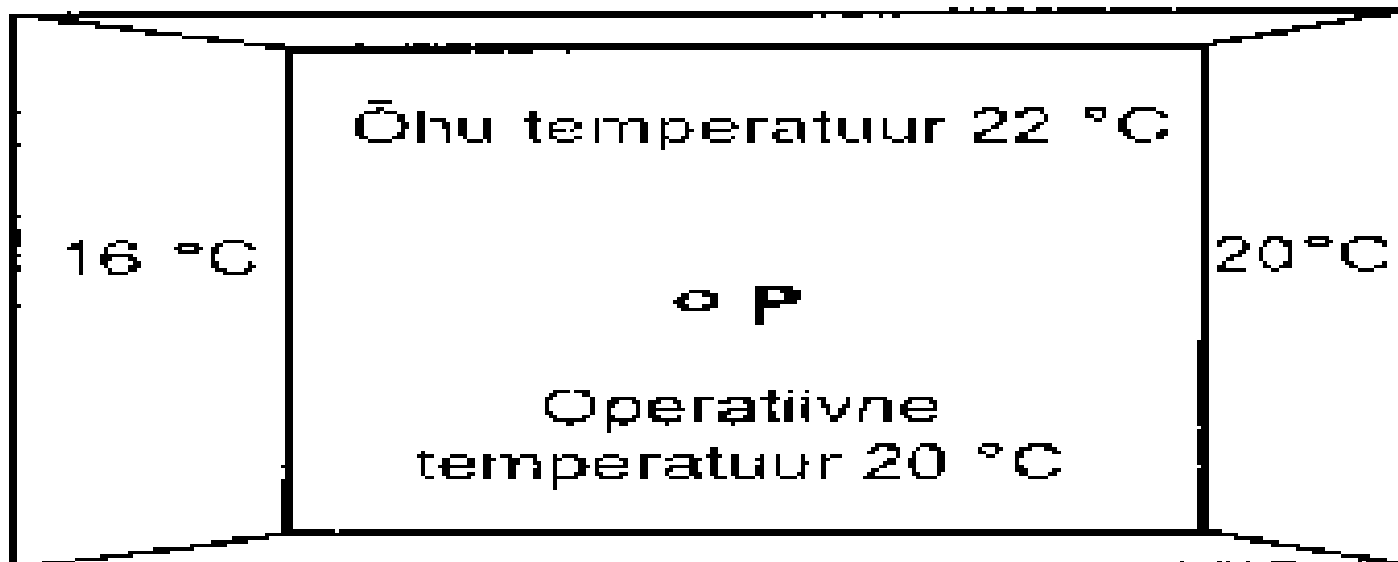
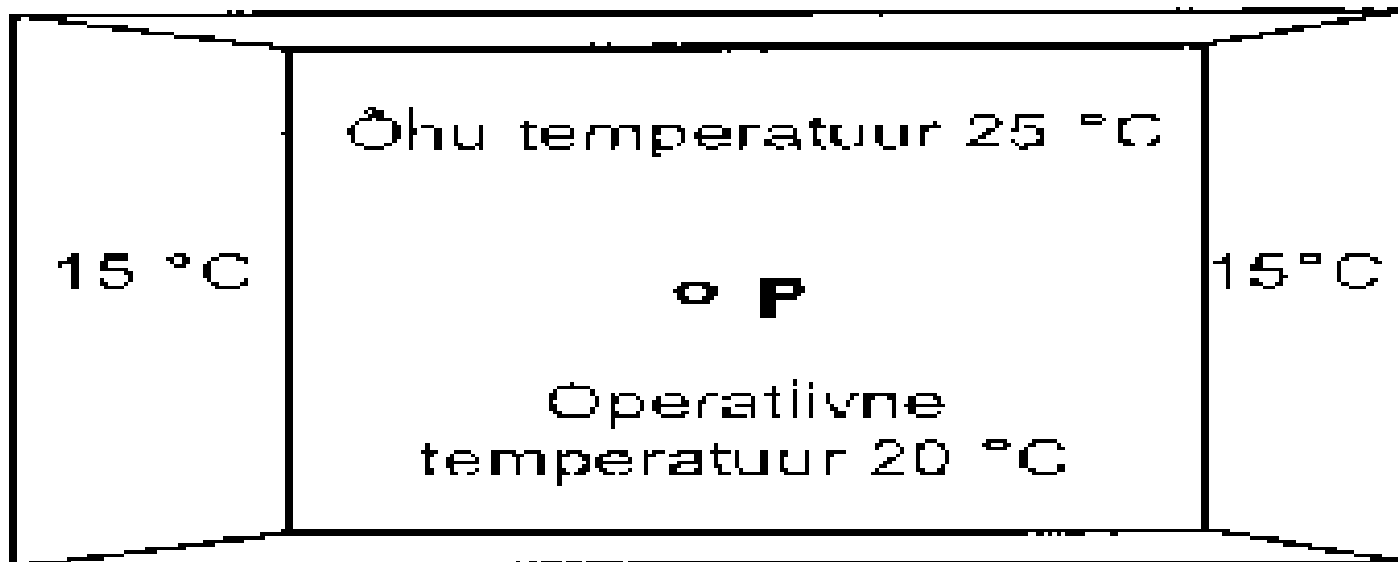
Kontori- või eluruumis viibiva inimese jaoks võib lugeda normaalseks temperatuuriks 21...23°C. Erinevate ruumide arvutuslikud siseõhutemperatuurid on toodud normides, eeskirjades jm. dokumentides.

Kui ruumi piirete sisepinna temperatuurid erinevad oluliselt ruumiõhu temperatuurist, siis tuleks inimese soojusliku mugavustunde tagamiseks lähtuda operatiivsest temperatuurist, mis arvestab kiirgus- ja konvektiivse soojusülekanne koosmõju. Ta on ligikaudu võrdne õhu temperatuuri ja ümbritsevate pindade keskmise temperatuuri keskväärtusega.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Mõnus toasoojus tekitab organismis pingevaba seisundi. Et seda saavutada, peab organism ära andma ümbritsevale keskkonnale parajal määral enda poolt toodetud soojaenergiat. Seejuures peab selle energia äraandmine kogu keha ulatuses olema ühtlane, näiteks: jalad ülemäära külmas ja pea soojas.

Soojaenergia antakse ära keha pinnalt, vähesel määral ka kopsudest. Tavaolukorras, nn. toatingimustes, on huvitav, et suur osa organismi soojaenergiast (ligi 50 %) antakse ära keha pinnalt ümbritsevatele piiretele (seinad, aknal, lagi, põrand) soojakiirguse teel.

Kodurõivastuse pinnatemperatuur + 25 ... 27⁰C, ümbritseva keskkonna pindade temperatuur talvetingimustes keskmiselt +20⁰C lähedal. See 5 ... 7⁰C suurune temperatuurivahe põhjustabki soojakao piiretele soojakiirguse teel.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Keha ühepoolne (teisel kehapoolel märgatavalt väiksem) soojakadu mõjub organismile ebatervislikult, sest inimese organismi termoregulatsiooni mehhanism ei ole suuteline reageerima ühepoolsele ülemäärasele jahtumisele või ülekuumenemisele. Pikemaajaline viibimine nimetatud situatsioonis võib põhjustada külmetushaiguste teket või krooniliste haiguste ägenemist.

Halvasti soojustatud välispiirde või akna, mille all puudub küttekeha, sisepinda mööda tekib külmal talveilmal laskuv jahe õhuvool, mille kiirus võib ulatuda kuni 0,3 m/s. Kokkuvõttes viib aga õhu liikumine toatingimustes inimorganismilt ära ligikaudu 25 % selle poolt toodetud soojaenergiast.



Kuna keha ja kopsude pind on niiske, siis toimub nende pinnalt pidevalt vee aurumine. Selle intensiivsus kerge füüsilise töö puhul toatingimustes on ligikaudu 50 g tunnis. Füüsilise pingutuse puhul keha pinna niiskumine kiiresti suureneb, et anda rohkem soojaenergiat ära vee aurustamise teel. Kerge füüsilise töö puhul toatingimustes lahkub organismilt ligikaudu 25 % soojaenergiat vee aurustumise (higistamise) teel.

Kui näiteks tuba on külm, siis higistamine väheneb, nahaalused peened veresooned tõmbuvad kokku ja keha välispinna temperatuur alaneb. Sel teel väheneb organismi jahtumine ümbritsevasse keskkonda.

Seevastu kuumas keskkonnas, näiteks saunas, nahaalused veresooned avanuvad maksimaalselt, et võimalikult palju anda ära organismi poolt toodetud soojaenergiat.

Ruumi temperatuuri tõustes üle + 37°C jääb organismi jahutama ainult keha pinnalt aurav vesi. Kuum õhk ja kuumad pinnad kuumutavad siis organismi lisaks tema oma soojatoodangule ja ainsaks jahutavaks teguriks jääb vee aurustumine keha pinnalt. Sellistes kuumades tingimustes võib inimorganism toimida vaid lühiaegselt, sest higistamine on tugev füüsiline koormus organismile. Teisalt aga selline lühiajaline koormus treenib organismi ja seetõttu on saunaskäimine tervele organismile igati tervitatav.

Üldiselt termoregulatsiooni mehhanismi treenitus väheneb ja üha väiksemad kõrvalekalded organismile sobivast soojusest tunduvad märgatavalt ebameeldivatena. Uurimused on näidanud, et polegi sellist ruumi, kus kõik ruumis viibijad hindaksid soojusolukorda ideaalseks. Ka kõige optimaalsemates tingimustes pole 5...6 % inimestest soojusolukorraga rahul.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Nimelt on teada, et vanemad inimesed, kelle ainevahetusprotsess on aeglasem, nõuavad 1...1,5⁰ võrra soojemat tuba. Ka naised soovivad mõnevõrra soojemat tuba võrreldes meestega. Suvetingimustes inimesed kohanevad keskel läbi 2⁰...2,5⁰ võrra kõrgema temperatuuriga.

Rõivastuse soojapidavus toas ja väljas külma talveilmaga võib erineda kuni 7 korda.

Eesti elamute sisekliima parameetrites on talvetingimustes ette nähtud eluruumide siseõhu temperatuur +22⁰C, õhu relatiivne niiskus 25 kuni 45%. Õhu temperatuur, sõltuvalt hoone klassist, võib talvetingimustes mõningal määral kõikuda. Madalama klassiga hoonetel võib see olla piirides +19⁰C kuni +25⁰C, kõrgema klassi puhul +21⁰ kuni +23⁰C.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Siseõhu niiskusega seotud probleemid

Meie kliimas on ette nähtud elamute õhu relatiivseks niiskuseks talvetingimustes 25...45%, suvetingimustes 30...70%. Need arvud näitavad õhu niiskuse loomulikku muutust aasta jooksul. Talvetingimustes, tänu sise- ja välistemperatuuride suuremale vahele, toimub paratamatult intensiivsem õhuvahetus ja seega kaasnev ruumide kuivamine. Teisalt, kui talvetingimustes oleks ruumi õhu relatiivne niiskus 60% (lubatav suvel), siis selline õhu niiskusesisaldus hakkab tekitama piirete niiskuskahjustusi. Nimelt pakasepäevadel on külmasildade sisepinna (näiteks akna piit) temperatuur madal ja seal hakkab tänu niiskele ruumi õhule veeaur kondenseeruma.

Niiskunud pinnad on aga kohaks, kus algab hallitusseene kasv.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Reostuse sõltuvus õhu suhtelisest niiskusest ruumis

Bakterid ja viirused

Hallitusseened

Tolmuputukas

Hügieeniriskid

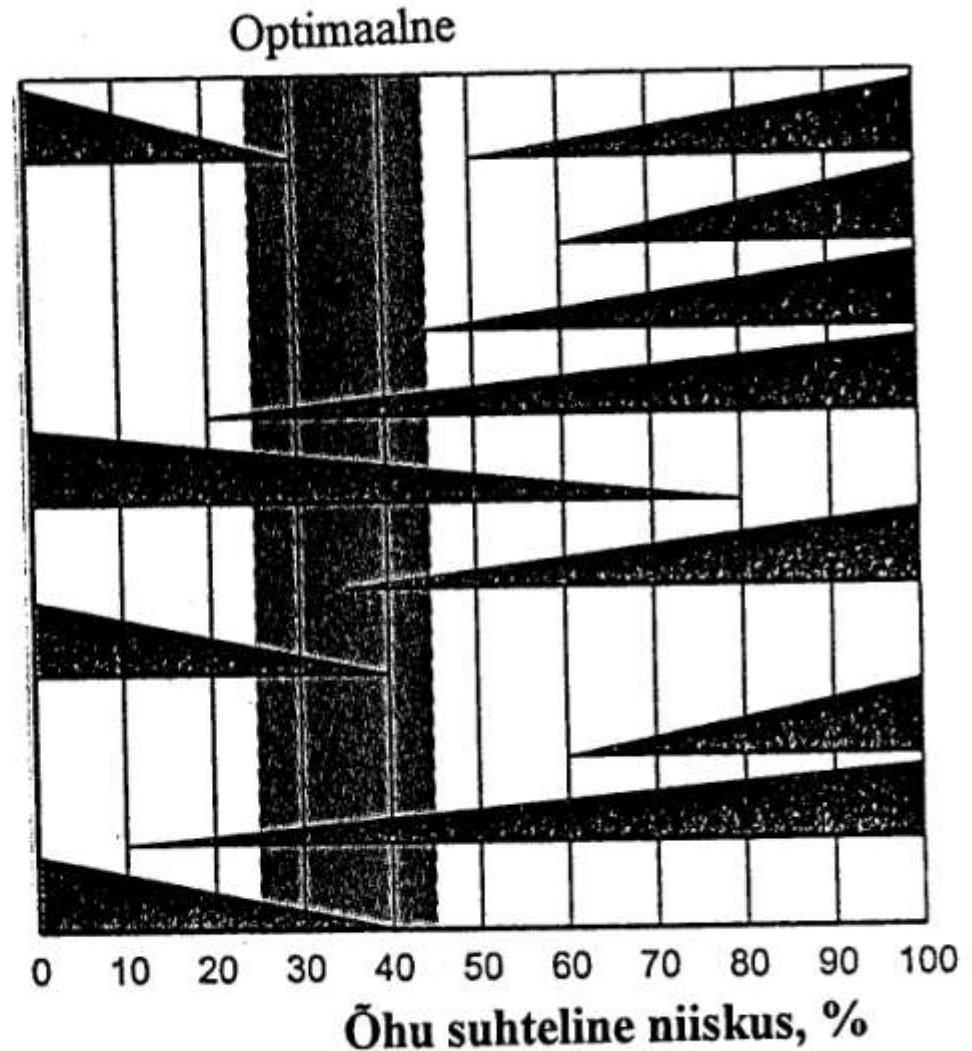
Tolmu teke

Ehitusmaterjalide emis.

Metallide korrosioon

Energiatarve

Limaskestade kaebed



Talvisel ajal sisaldab meie kliimas välisõhk keskmiselt 3,0g veeauru igas kuupmeetris, pakasepäevadel aga märgatavalt vähem. Suvisel ajal veeauru sisaldus, tänu temperatuuri tõusule, tõuseb ja on keskelt läbi 8 g/m³.

Kuna talvine välisõhk sisaldab vähe veeauru, olgugi, et selle suhteline niiskus võib olla 100% lähedal, siis sellise õhu toomine tuppa kuivatab eluruume intensiivselt. Ülemäärane õhuvahetus võib kuivatada eluruume sedavõrd, et inimorganismile muutub see ebasobivaks. Kui õhu niiskus ruumis on alla 20%, siis toimub naha ja limaskestade ülemäärane kuivamine.

Siiski tuleb meeles pidada, et ülemäärane ruumide ventilatsioon viib hoonest välja kallist küttesooja, mis võib moodustada kogu energiakulust üle ühe kolmandiku.

Elutegevus korteris toodab üllatavalt palju veeauru. Nii näiteks neljaliikmelise pere puhul aurub ruumi õhku tänu elutegevusele 8 ... 9 l vett ööpäevas. Vt. järgnevat joonist. Kui miskipärast normaalne õhuvahetus ei toimi, mis peaks nimetatud veeauru hulga ruumist välja viima, algab ruumi õhu veeauru sisalduse kasv.

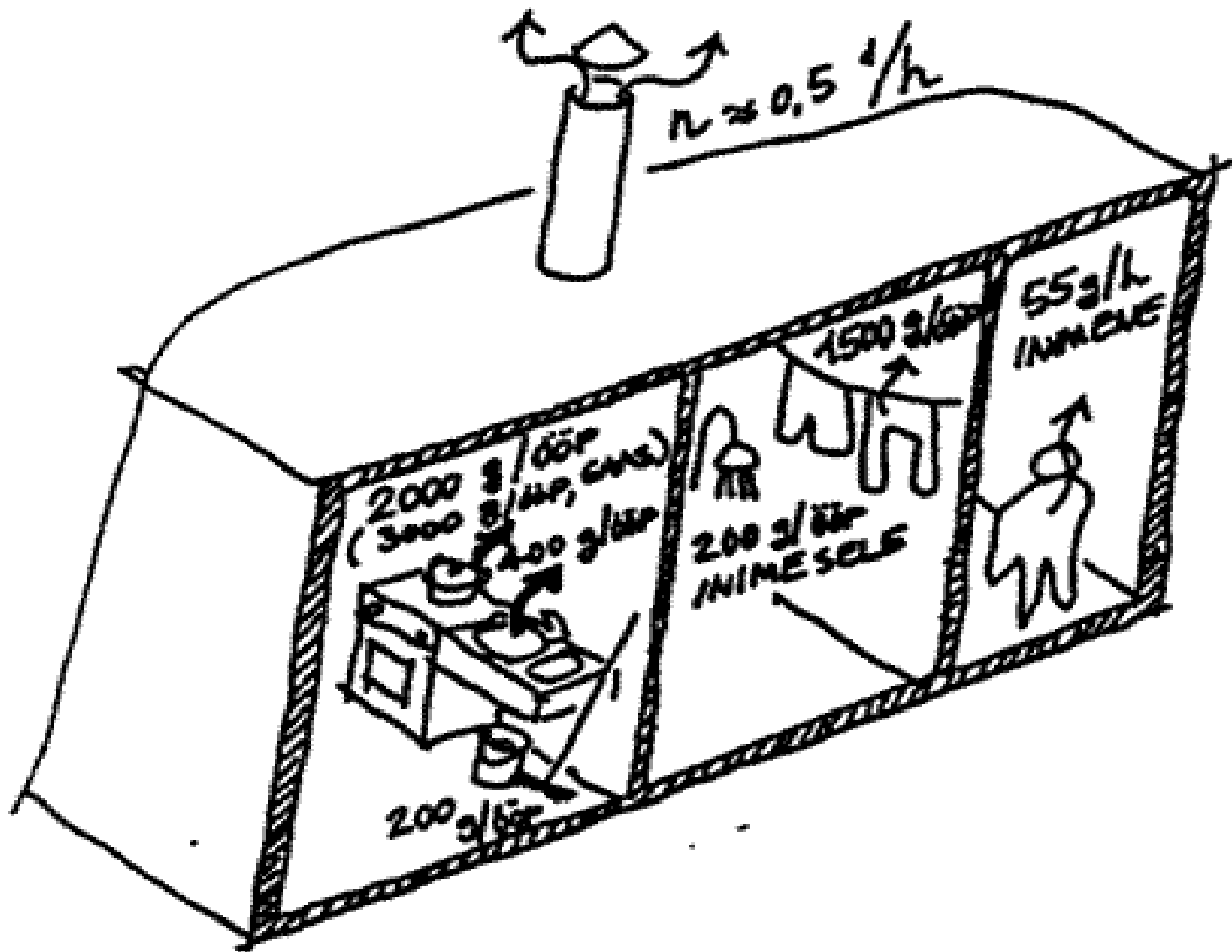
Talvetingimustes on see ohtlikum kui suvel, sest talvel on ruumis madala pinnatemperatuuriga tarindeid (aknad, nende raamid, külmasildade kohad jms.), millel tekib kergesti kastevesi. Poorsetel pindadel tekib juba enne kastevee teket soodus olukord hallitussente kasvuks, mille areng algab õhu relatiivsel niiskusel üle 85%.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Niiskuse teke ruumi British Standardi 5250 kohaselt



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Võiks öelda nii, et kui korteris on talvetingimustes õhu relatiivne niiskus 60% lähedal, siis üksikutel külmadel pindadel on võimalik juba hallitusseene teke. Ruumi õhu kõrge niiskusesisalduse võivad põhjustada mitmed asjaolud, üks levinumaid on aga uued tihedad aknad ja vana loomulikul tõmbel toimiv ventilatsioonisüsteem. On ju arusaadav, et kui kuskilt pilude vahelt värsket õhku ruumi ei pääse, siis pole ka ventilatsioonikanalites väljatõmmet. Nimetatud olukorras on õhuvahetuse määra vaja suurendada sedavõrd, et õhu relatiivne niiskus väheneks alla 50%.

Suvetingimustes pole isegi 70% - ne õhu relatiivne niiskus eriti ohtlik, sest piiretes pole jahedaid pindasid, millel võiks tekkida kastevesi.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

INIMESTE ELUKESKKONNAST

**Sisekliima ruumis moodustub kolme komponendi
ühistoimest**

Piirded

SISEKLIIMA

Küte

Ventilatsioon



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Kõigepealt tuleb meeles pidada, et hoone piirded, küttesüsteem ja ventilatsioon moodustavad ühtse terviku

Kui nendest üks ei toimi normaalselt, siis korralikust elamust oleme kaugel. Kui pole korralikku küttesüsteemi, siis ka ülemäärase soojapidavusega majas pole talvel õiget sisekliimat ega soojust.

Ja vastupidi: hea küttesüsteemi, kuid külmade piiretega/seintega majas ei teki talvel normaalset sisekliimat, kulutatagu küttele palju tahes.

Normaalse sisekliima saamiseks on aga paratamatult vajalik osa soojaenergiast kulutada ruumide ventileerimisele.

Puhast filtreeritud õhku vajatakse alati, kui küsimuse alla tuleb:

- **inimese tervis**
- **toiduainete riknemine**
- **siseruumide puhtus**
- **toodangu kvaliteet**
- **seadmete töökindlus ja kulumine**

Kui me hakkame aga õhku täpsemalt analüüsima, leiame sealt väga erinevat reostust. Kokkuvõtlikult nimetame me seda tolmuks ning ainukene tee sellest vabanemiseks on õhu filtreerimine läbi erinevate filtrite.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Euroopa standard EN 779 jagab filtrid puhastusvõime alusel 17 klassi (EU 1 – EU 17) ja kolme rühma:

- **Jämefiltrid (EU 1 – EU 4)**
- **Peenfiltrid (EU 5 – EU 9)**
- **Absoluutfiltrid (EU 10 – EU 17)**

Absoluutfiltrid jagunevad omakorda:

- **HEPA – filtriteks (EU 10 – EU 14)**
- **ULPA – filtriteks (EU 15 – EU 17)**



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HEPA ja ULPA filtrid

Õhu puhastamisele pööratakse üha rohkem tähelepanu nii tootmis- kui ka eluruumides. Üha sagedamini on hakatud rääkima HEPA- ja ULPA-filtritest.

HEPA (High Efficiency Particulate Air) on esimene mikrofiltristandard, mille koostas Teise maailmasõja päevil USA tuumaenergia katselaborite väljatõmbeõhust radioaktiivse tolmu kübemetete 0,3 μm püüdmiseks õhukiirusel 0,025 m/s tõhususega vähemalt 99,97%.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Kõrgema puhastusastmega filtrid ULPA (Ultra Low Penetration Air) töötati välja 1970-ndatel aastatel.

Need filtrid peavad puhastama 0,12 µm suurustest kübemetest tõhususega vähemalt 99,999 %.

ULPA-filtrid sarnanevad konstruktsiooni poolest HEPA-filtritega, erinevus on kõrgemas puhastusastmes. Õhku on võimalik puhastada ka kõige väiksematest tolmuosakestest, isegi viirustest.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Kogu ventilatsioonisüsteemi efektiivsuse hindamiseks on hakatud kasutama välisõhu transportimiseks ja jaotamiseks kulutatud elektrienergia erikulu mõistet õhuvahetuse 1 m³/s õhu kohta, mida rahvusvaheliselt tuntakse "SFP factor" nime all.

$$\text{SFP} = (P_{\text{sp}} + P_{\text{vt}}) / L \quad \text{W}/(\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{ehk J}/\text{m}^3$$

Reeglina on hoone ulatuses sissepuhe ja väljatõmme tasakaalus, kuid mittetasakaalustatud olukorras valitakse suurim mahuline vooluhulk süsteemidest.



$$\text{SFP} = [(\text{L}_k \times p) / \eta_{\text{kogu}}] / \text{L}_{\text{max}} = p / \eta_{\text{kogu}} \quad \text{Pa}$$

Siit võime teha järelduse, et energiakulu õhu transpordiks väheneb kahel juhul – suurendades ventilatsiooniseadme kasutegurit või alandades jaotustorustikes esinevat rõhukadu.

Kokkuvõttes võime lugeda, et uute ventilatsioonisüsteemide elektrilise erikulu väärtus peaks jääma alla 2 500 J/m³, vanadel süsteemidel on toodud väärtus piirides 3 000... 10 000 J/m³.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Rõhukadu torustikes otseselt seotud õhu liikumise kiirusega ja projekteeritud torustiku konfiguratsiooniga.

Ventilatsiooni agregaatides tuleks õhukiirus valida vahemikus 1,5...2,5 m/s. Rõhukaod, mis tekivad ventilaatori ja kanalisüsteemi ühendusel kannavad “süsteemi kadude” või ka “ühenduskadude” nime. Nende tekkepõhjusteks on:

Õhu pöörlemine ventilaatori sissevoolus. Tekib eriti juhul, kui torustiku ühendus pole risti sissevoolu ristlõike tasapinnaga.

- Deformeeritud kiirusepüürid ventilaatori sisse- ja väljavoolul. Seda on võimalik vältida, kindlustades ventilaatori ette sirge toruosa, pikkusega 3–8 toru läbimõõtu.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Rõhukadude alandamine ventilatsioonitorustikes on saavutatav järgnevate meetmetega:

- **Torustike sümmeetrilise konfiguratsiooni ja võimalikult väheste käänakutega.**
- **Kasuta reguleerimissiibreid ainult absoluutse vajaduse korral.**
- **Välgi painduvate torustike kasutamist.**
- **Õhu kiirus magistraaltorustikes näha ette piirides 7...8 m/s. Jaotustorustikes soovitada kiirust 4 - 5 m/s.**



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

- **Vali käänakud, kitsenemised, mürasummutid jne. ka aerodünaamilist tegurit silmas pidades. Käänakute ja suurte ristlõigete korral võimaldavad õhu voolujoonte sujuvad suunajad alandada oluliselt rõhukadus.**
- **Kasuta ümaraid torustikke kandiliste ristlõigete asemel. Sama ristlõikepinna korral on rõhukaod ümarates torustikes väiksemad.**

CAV süsteemide vaikeväärtusi

Süsteemi tüüp	Elektriline erikulu SFP-faktor $W/(J/m^3)$		Rõhukadu Pa		Summaarne kasutegur η_{kogu}	
	Eeldatavad	Soovitud	Eeldatavad	Soovitud	Eeldatavad	Soovitud
Lihtne väljatõmme	400 – 4 500	150 – 1 000	200 - 700	100 - 400	0,15 - 0,5	0,4 - 0,65
Väljatõmme koos oojustagastiga	600 – 6 000	300 – 1 500	300 - 900	200 - 400	0,15 - 0,5	0,4 - 0,65
Eelsoojendusega sissepuhe	600 – 5 000	300 – 1 200	300 - 800	200 - 500	0,15 - 0,5	0,4 - 0,65
Sissepuhe oojustagastiga ja ärelküttega	800 – 6 700	500 – 1 500	400 – 1 000	300 - 600	0,15 - 0,5	0,4 - 0,65



Energiasäästu meetmed olemasolevates ventilatsioonisüsteemides

- 1. Lühendada töötamise kestust**
- 2. Vähendada värske õhu juurdevoolu**
- 3. Niisutuse vähendamine või vältimine**
- 4. Sissepuhkeõhu temperatuuri alandamine**
- 5. Soojustagastuse rajamine**
- 6. Uus reguleerimise ja juhtimise strateegia**
- 7. Ventilatsioonisüsteemide nõutav hoolduse tase**
- 8. Efektivsem õhuvahetuse printsiip**
- 9. Reguleeritava õhuhulgaga VAV süsteemi loomise põhjendatus**
- 10. Süsteemi üldise rõhukao alandamine**



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutusnäide

Määrame energiasäästu protsentides, kui vähendame ööpäevaringselt toimiva süsteemi tööaega ainult tööpäevadele (5 päeva nädalas) kella 08.00 kuni 17.00-ni?

Algselt töötunde: $7 \times 24 = 168$ tundi/nädalas

Peale lühendamist: $5 \times 9 = 45$ tundi/nädalas

Ajaline toimimise sääst: $= 123$ tundi/nädalas

Elektriline sääst %: $= 123/168 \times 100 = 73\%$

Kui teeme analoogset arvutust energiatarve alandamiseks kütte kohta, peame olema palju hoolikamad, kuna tegelik välistemperatuur muutub ööpäeva lõikes küllalt suurtes piirides ja tulemus on kasutatav vaid jämedaks esialgseks hinnanguks.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutusnäide (õhuhulkade alandamisega)

Tasakaalustatud mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi parameetrid on:

Sissepuhke temperatuur: +18°C

Õhu vooluhulk: 15 000 m³/h

El. võimsus ventilatsiooniks: 7 kW (kumbki)

Tööaeg 8.00 - 16.00, 8 tundi/ööpäevas

Uuringud näitavad, et ventilatsiooniõhu hulka võib alandada 2 000 m³/h, ilma mingite ebamugavuste ja riskita.

Sääst õhu ettevalmistamiseks kalorifeeris on proportsionaalne õhuhulgale: $2\,000/15\,000 \times 100 = 13,3\%$.

Ventilaatori vajalik võimsus on võrdeline õhuhulgaga kolmandas astmes ehk:

$$P_v = 7 \times (2\,000/15\,000)^3 = 4,6 \text{ kW}$$

Sääst õhu transpordil on: $2,4/7 \times 100 = 34\%$.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Ventilatsioonisüsteemide nõutav hooldus

Puudulikust hooldusest tingituna tekkivad muutused mõjutavad väga oluliselt ventilatsioonisüsteemide energiakulu:

- **Soojusvaheti küttepinde mustumine (kalorifeerid, soojustagastid jne.)**
- **Filtri mustumine või ummistumine**
- **Liikuvate mehaaniliste detailide kulumine (rihmülekaned, mootorventiilid, klapid ja siibrid jt..)**
- **Torustike kahjustused, muljumised, lekked ja mustumine**

Efektiivsem õhuvahetuse printsiip

Kohtventilatsiooni ratsionaalne kasutamine vahetult tööstusseadmetelt äratõmbeks võimaldab oluliselt vähendada ruumi reostuskoormust – nii ohtlike eritistega kui ka liigsoojusega. Efektiivsus kasvab äratõmbe varje(seadme)kauguse vähenemisega reostuskoldest ehk seda väiksem on äratõmmatav õhuhulk.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

9. Reguleeritava õhuhulgaga VAV süsteemi loomise põhjendus

Muutuva õhuhulgaga ventilatsioonisüsteemi rajamine on põhjendatud ruumidele, kus vooluhulk on otseselt reguleeritav(juhitav) mõõteanduri vastavalt fikseeritud parameetritele – näit. orgaaniliste lahustite, niiskuse, temperatuuri ja CO₂ kontsentratsioon.

VAV süsteemide tüüpiliseks kasutusala on kinod, kus süsteemi juhib CO₂ kontsentratsiooni andur.

VÄLISPIIRETE SOOJAPIDAVUS

Paneelelamute välisseina soojusjuhtivuse $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Eesti standardid soovitavad kavandada elamu välissei selliselt, et selle soojusjuhtivus ei ületaks $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Elektrikütte, kui ühe kallima kütteliigi puhul peaks aga seina soojusjuhtivus mitte ületama $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Seega enamikul hoonetest on seinte soojusjuhtivus 3...4 korda suurem kui on tänapäevased soovitused ja seega vajaksid lisasoojustamist.

Soojustusmaterjalidena põhiliselt kasutusel mineraalvillplaadid (näiteks kivivill oma paremate niiskusimavuse ja tulekindlus näitajatega) ning mullpolüstüreen-plaadid. Kui mõlema materjali soojuserijuhtivused on lähedased ($\lambda \sim 0,40 \text{ W}/\text{mK}$), siis veeauru läbilaskvus on mineraalvillal kuni 50 korda suurem ja selle tõttu niiskusrežiim välisseinas mõnevõrra erinev.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Kui võrrelda eramut sama tubade arvuga korruselamu korteriga, mis asub hoone keskel ja ei puutu kokku otsaseina, keldri vahelae ja viimase korruse vahelaega, siis eramul on jahtuvat välispiiret ligi neli korda rohkem. Korruselamu välispiirdest moodustavad aknad 20...22%, eramul on aga akende osa vaid 7...9% jahtuvast välispiirdest.

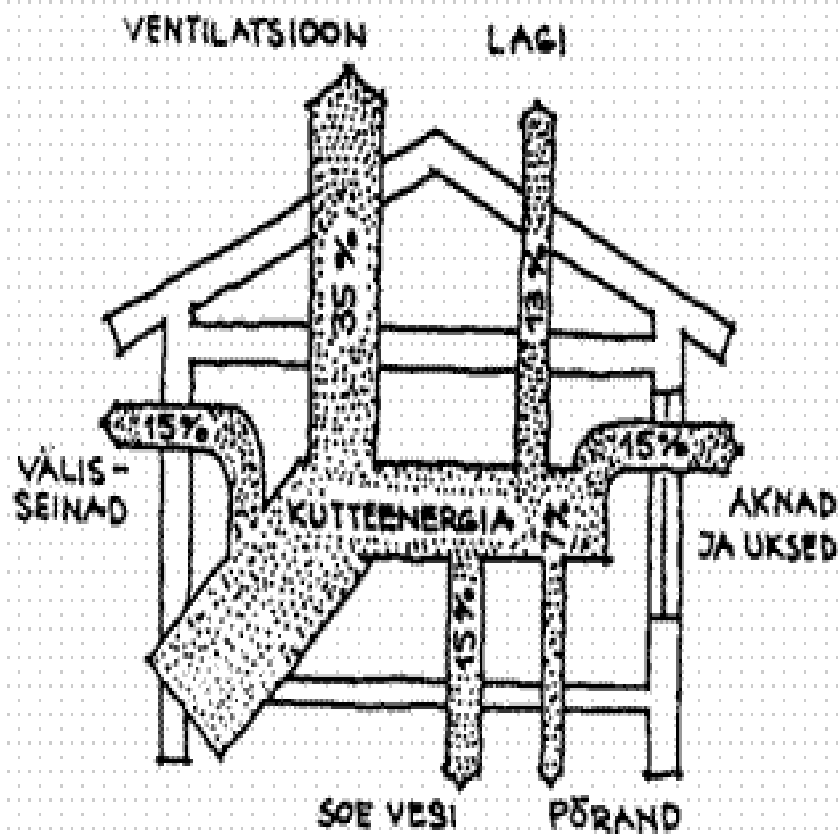
Siit tuleneb ka järeldus, et eramu ja korruselamu lisasoojendamisse tuleb suhtuda mõningase erinevusega.

Vahelagede tarindused on küll erinevad, kuid ühtne on see, et need pinnad on enamvähem horisontaalsed ja sellisel pinnal on lihtne teha lisasoojustust. Pealegi tuleb meeles pidada, et lae all on kõige kõrgem ruumi temperatuur ja sealt läheb seetõttu rohkesti küttesooja kaduma.

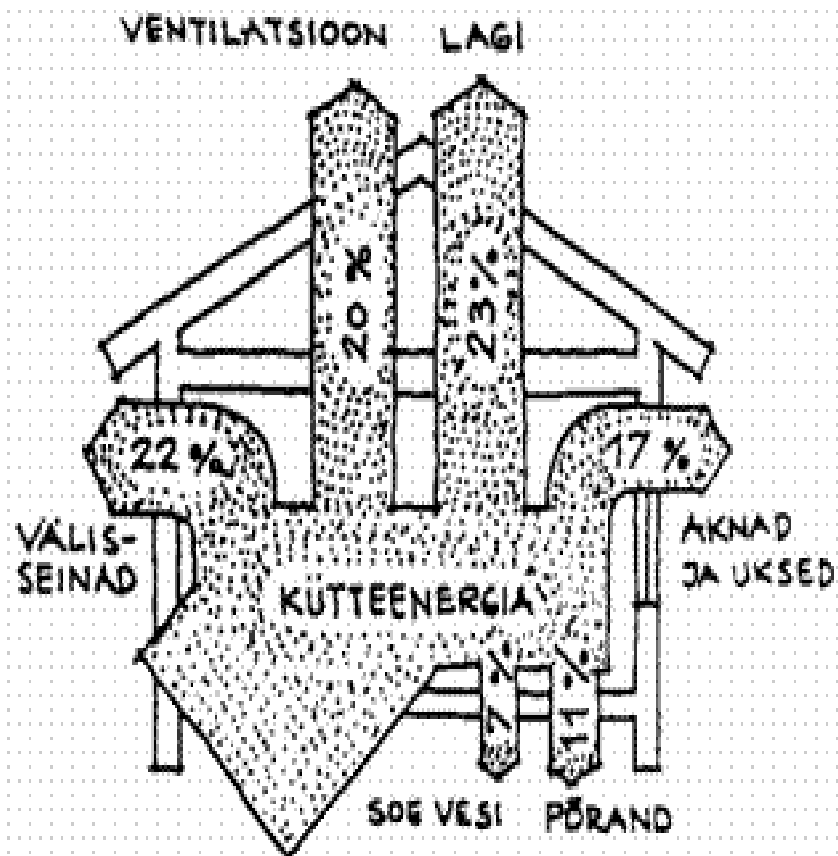


1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



a) hästi soojustatud uus elamu



b) nõrgalt soojustatud vana elamu

Soojustusmaterjalid, nende iseloomulikud omadused

Metallide soojaerijuhtivus on eriti suur tänu vabadele elektronidele – ulatab kuni $400 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Poorideta kivi soojaerijuhtivus on 2 kuni $4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Soojaerijuhtivus ja materjali tihedus on korrelatsioonis. Õhuga täidetud poorid materjalis mõjutavad suuresti soojaerijuhtivust. Õhu soojaerijuhtivus väikestes poorides on $0,026 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

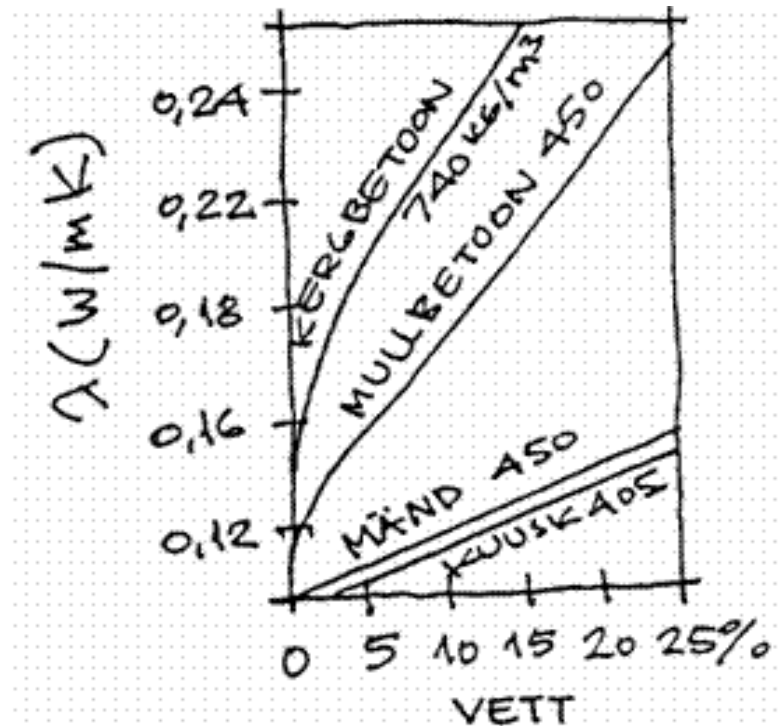
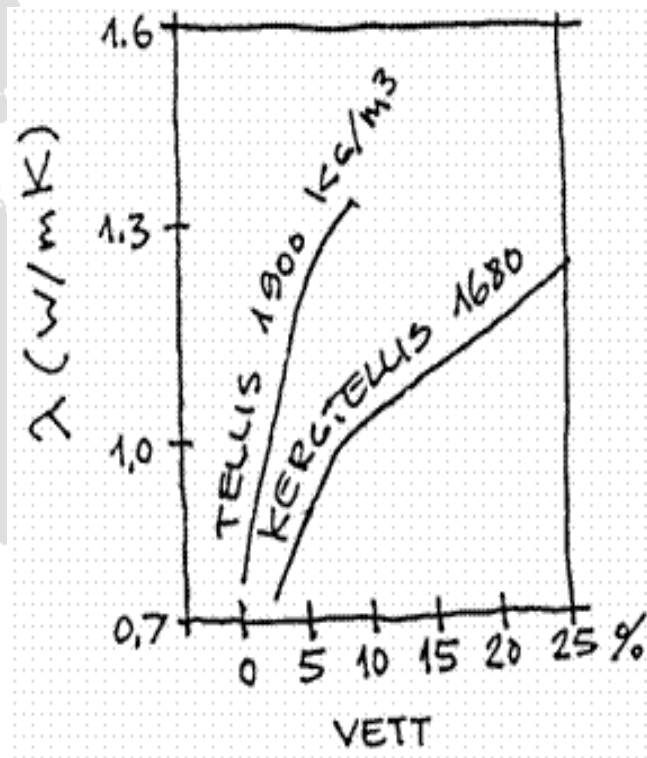
Suur osa ehitusmaterjale on kivimaterjali ja pooride segu. Teoreetiliselt võiks siis eriti poorse isolatsioonimaterjali soojajuhtivus läheneda $0,026 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ -le. Kui poore täita inertsgaasidega, siis isegi alla $0,026 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Tavalise poorse müüritellise soojajuhtivus on $0,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ lähedal.



Materjali soojuslik toimivus

Poorides olev õhk sisaldab veeauru või ka vett. Kinnises pooris oleva vee soojajuhtivus on $0,68 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, seega 25 korda suurem poorides oleva õhu soojajuhtivusest.



Hinnates üksikute elementide soojajuhtivusi on võimalik arvutada ligikaudsed aastased hoone või selle osa soojakaod.

Olgu näitena toodud ühe elamu kahekordsete tavaliste klaasidega mitteavatava akna (1,5 x 1,0 m) asendamine uuega . Hinnapakumine: uus puitraamidega mitteavatav aken koos montaažiga, $U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 2 700.- vana aken, $U = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Temperatuuride erinevus sise- ja väliskeskkonna vahel kütteperioodil Tallinnas annab 94 656 °Ch (kraadtundi).

Soojakulu aastas läbi vana akna oli: $1,5 \cdot 3,0 \cdot 94\ 656 = 425\ 952 \text{ Wh} \cong 426 \text{ kWh}$

Läbi uue akna on: $1,5 \cdot 1,4 \cdot 94\ 656 = 198\ 778 \text{ Wh} \cong 199 \text{ kWh}$

Kokkuhoid $426 - 199 = 227 \text{ kWh}$.



Kui elektrikütte puhul võiks 1 kWh hinnaks võtta 10 senti, siis lihttasuvusaeg selle akna asendamise puhul on $2700 : 227 = 7,9$ aastat. Akna asendamise tasuvusaega pikendab võrreldes eeltooduga odavama kütteenergia kasutamine, samuti avatava akna märkimisväärselt kõrgem hind. Nii võib odavama kütte ja kallima akna puhul 7,9 aastat kergesti asendada enam kui 25 aastaga.

Peale soojakulu vähenemise, on tarindi renoveerimise puhul rida muid faktoreid, mis räägivad renoveerimise kasuks. Nii on näitena toodud uue akna puhul parem esteetiline välimus, kergem käsitsemine, väiksem hoolduse vajadus jms., mis kõik kaasnevad renoveerimisega.

Analoogne soojapidavuse ja majandusarvutus tuleks läbi teha ka teiste hoone renoveeritavate tarindite kohta.



1918



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

OTSENE PÄIKESEKIIRGUS (INSOLATSIOON)

**Hindamisel tuleb juhinduda Vabariigi valitsuse määrusest:
Eluruumidele esitatavad nõuded. VVm RT I 1999, 9, 138.**

**Lühidalt öeldes kajastab see vana СНиП-i nõuet, kus
kevadisel pööripäeval peab kuni kolmetoalise korteri ühte
tuppa paistma otsene päikesekiirgus vähemalt kolme tunni
jooksul, arvestades päikese käänat ja kõrgust.**



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Õhuvahetus - ventilatsioonikaod

Olme eluruumides tekitab paratamatult saastaineid ruumi õhku. Märkimisväärne on süsihappegaasi ja veeauru lisandumine. Nii näiteks neljaliikmelise perekonna poolt aurustatud vee hulk ööpäevas (toidu valmistamine, pesu pesemine, duši kasutamine jne) ulatub 7 kuni 9 liitrini. Et ruumi õhuniiskuse sisaldus oluliselt ei kasvaks, selleks tuleb ruume ventileerida, võttes väliskeskkonnast sisse kuivemat õhku. Arvutused näitavad, et $+5^{\circ}\text{C}$ välisõhu temperatuuri juures on ruumide kubatuuri võrra toimuv õhuvahetus 2 tunni jooksul selline, mis tagab ruumi õhu püsiva niiskusesisalduse. Kui välisõhu temperatuur langeb (siis väheneb ka välisõhu niiskusesisaldus), siis piisab vähemast õhuvahetusest ja vastupidi.

Õhuvahetus ruumides põhjustab paratamatu energia kulu.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Loomulikul tõmbel toimiv ventilatsiooni süsteem on ehituslikult odavam, kuid ekspluatatsioonis ebaratsionaalne.

Külma ilmaga, mil õhuvahetuse määr peaks olema väiksem, on tõmme ventilatsioonikanalites tänu suurele temperatuuride vahele väljas ja ruumides, eriti tugev.

Seepärast võime öelda, et vanades suurpaneelmajades, kus on loomulikul tõmbel töötav ventilatsioonisüsteem, ligi kolmandiku kütteenergiast kulub ruumide ventileerimisele. Reguleeritava sundventilatsiooniga saaks energia kulu märkimisväärselt vähendada.

Piirdetarindite soojapidavuse suurendamine võimaldab protsentuaalselt enam kütteenergiat kasutada ventilatsiooniks ja seega saada parem sisekliima.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Järgnevas pöörame lühidalt tähelepanu loomulikul tõmbel töötavale ventilatsioonile, sest seda tüüpi ventilatsiooni on siiani meie elamutes ja ka avalikes hoonetes lõviosa. Loomulikul tõmbel töötava ventilatsiooni väljatõmbe kanalid asuvad siseseintes (soojemad seinad) ja enam saastatud õhuga alal.

Värske õhk, mis pääseb ruumi põhiliselt läbi akende pilude, peab liikuma vähema saastega ruumidest (tubadest) suurema saastega ruumidesse.

Siin kohal juhiks tähelepanu momendi situatsioonile Eestis, kus toimub palju vanade akende asendamist uutega. Teatavasti vanade akende õhutihedus oli sageli sedavõrd väike, et peale värske õhu pääseb ruumi ka tolmu ja liiv. Uued aknad on aga hermeetilised, nendest kõige odavamatel puudub isegi tihendi pingest vabastamise või mõni muu mikroventilatsiooni süsteem.



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Seega vana ventilatsiooni süsteem koos uue odava aknaga lakkab töötamast, sest värsket õhku pole ruumi kuskilt tulemas.

Sellises korteris või hoones saastub õhk, tõuseb õhu relatiivne niiskus, jahedatel pindadel kondenseerub veeaur ja tekib hallitus. Tulemuseks on nn. “haige” hoone (“*sick building syndrome*”), kus inimesel tekib enneaegne väsimus, allergia või isegi astma.

Akna kaudu peaks saama loomuliku väljatõmbega ventilatsiooni intensiivsust reguleerida. Näiteks aknad sulgeda tuulepoolel küljel, vastasküljel aga jätta tihendite vahele õhupilu.

Inglise Standard BS 5250 soovitab loomuliku tõmbega ventilatsiooni süsteemi korral ühe toa akna õhupilu suuruseks orienteeruvalt 4 000 mm², ehk ruudukujulisel aknal (külje pikkus 1 m) 1 mm laiust õhupilu.



1918



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutused on näidanud, et õhu relatiivne niiskus keskmise niiskuskoormusega korteri puhul (4 inimest, korteri maht ca 200 m³) on normikohane, kui õhuvahetuse kordarv n on 0,5 1/h meie kliimas välisõhu temperatuuril +5°C lähedal. Kui välisõhu temperatuur on kõrgem, siis peaks õhuvahetust suurendama, madalama välisõhu temperatuuri juures piisab ka väiksemast õhuvahetusest.

Aastane energia kulu ventilatsiooniks Q_v on arvutatav järgmise valemiga:

$$Q_v = (1/3) n V (\Delta T \cdot t) / 1000 \quad \text{kWh,}$$

kus:

V - köetava ruumi maht, (m³);

($\Delta T \cdot t$)- kraadtundide arv aastas, või kraadipäevi x 24;

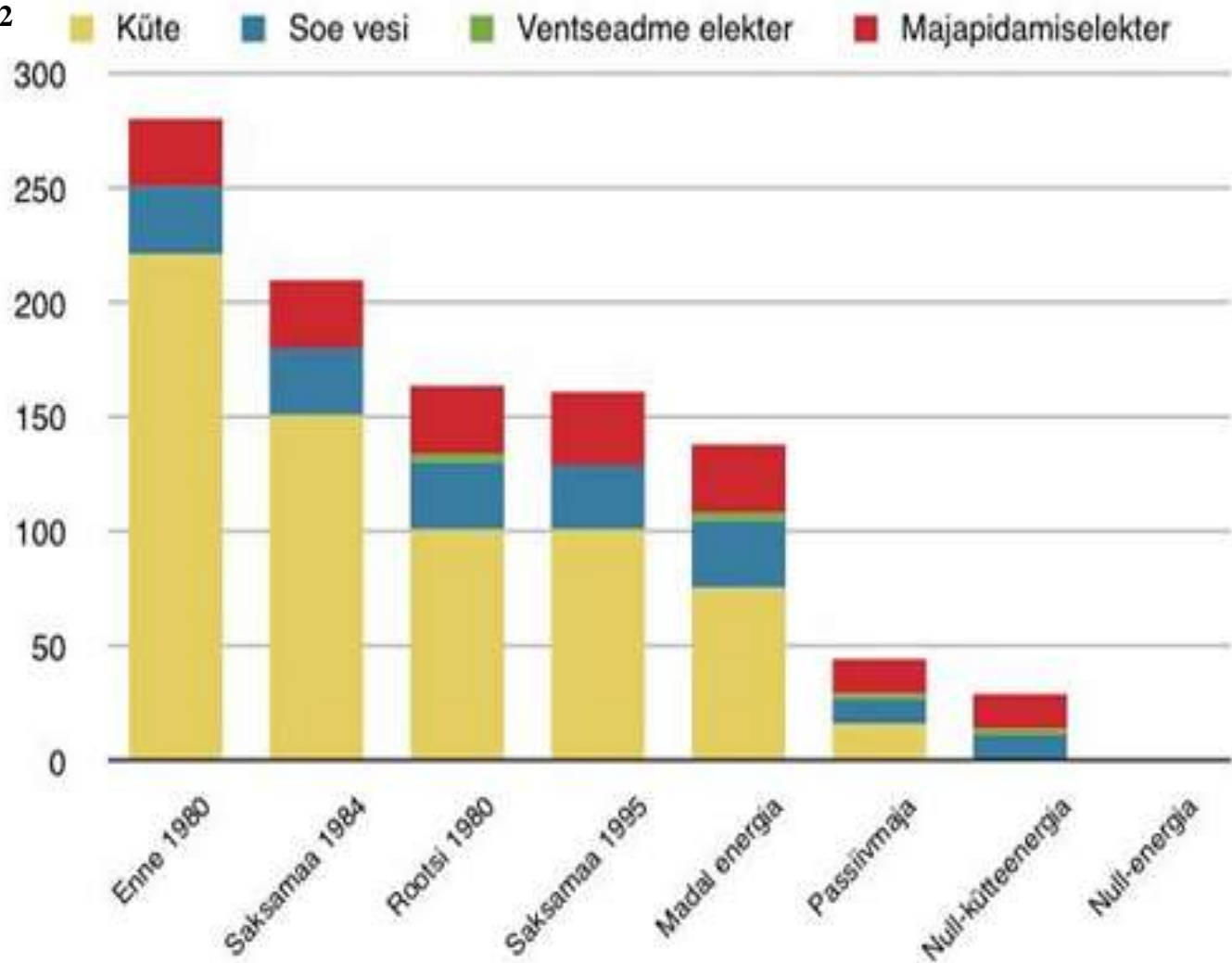
n - õhuvahetuse kordarv, 1/h.

ETTEVAATLIKKUS RENOVEERIMISEL VÕIMALDAB VÄLTIDA VIGU

- **Renoveerimise edu tagamiseks on vaja kaaluda kõiki planeeritavaid meetmeid,**
- **Põhirõhk on olgu meetmetel, mis säästavad ka energiat,**
- **Hea siseõhuga hoone eluiga on ka pikem,**
- **Kondenseeruv niiskus on kahjulik nii hoonele kui ka inimestele,**
- **Märjad pinnad on soodsaks kohaks hallituse tekkeks,**
- **Saastekomponentide eemaldamiseks peab olema piisav õhuvahetus,**
- **Renoveerimismeetmed võivad mõjuda hoonele ja selle elanikele nii positiivselt kui ka negatiivselt,**

Tagasivaade tulevikku

kWh/m²
aastas



1918



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Täna tähelepanu eest!

Kaido Hääl, 03.09.2013



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY