

*Hoonete energiatarve ja sisekliima
Enno Abel 100907*

Raamatu sisu

- **Lähteülesanded ja tehnilised lahendused**
- **Sisekliima**
- **Hoone, selle küte, ventilatsioon ja jahutus**
- **Jahutuskoormus ja päevavalgus - fassaadi kavandamise mõju**
- **Energia tasakaal kestusgraafikul**
- **Jahutus**
- **Ventilatsioon**
- **Energiatõhusus**
- **Tasuvusarvutus**

*Hooned projekteeritakse
ja ehitakse selleks,
et täita teatud
defineeritud vajadust*

*Hooned projekteeritakse
ja ehitakse selleks, et täita
teatud defineeritud vajadust*

- *inimeste tervis*
- *inimeste heaolu*
- *inimeste kindlus*
- *ettenähtud tegevus*

**peavad olema kesksed iga
ehitusprojekti igas faasis**

Hoonete energiasäästu nõuded on rängenemas ja lähevad kindlasti tulevikus aina rangemaks.

Uued hooned peavad olema kujundatud nii, et nende faktiline energiatarve saab madal olema

Olemasolevates hoonetes on energiasäästu meetmed tulevikus möödapääsematud.



KONKREETSED OMADUSED

Neid näeb,
neid saab käega katsuda

Ehituse üldkuju

Fassaad

Katus

Seinad

Põrandad

Laed

Kandev konstruktsioon

Ruumide lahendused

Pindade materjalid

jne

**ABSTRAKTSED OMADUSED
"FUNKTSIOONID"**

**Neid ei näe,
neid ei saa käega katsuda**

Sisekliima

Temperatuur

Õhu kvalitet

ValgusLjus

Müra tase

Tehnilise teeningu kasutamisvõimalus

Vesi ja Ärajooks

Elekter

Kommunikatsioonid

Turvastus

**aga kui nad on puudulikud siis see
segab või takistab tegevust**

Kütte vajadus
Elektrivajadus

Tänapäeval kujundatud hooned peavad

- *tagama tulevate kasutajade tervist, heaolu, kindlust ja nende tegevusest tingitud vajadusi*
- *olema arhitektooniliselt kõrgel tasemel*

Samaaegselt peavad need täitma nii tänapäevaseid energiasäästu nõudeid kui ka olema ettevalmistatud tulevate rangemate nõuete rahuldamiseks

See nõuab:

- *et projekt käsitleb hoonet tervikuna igas projekti staadiumis*
- *et abstraktsed omadused on selgelt defineeritud ja projektis kesksed selle algusest peale.*
- *et kõigil projektis osalevatel on põhiline arusaamine üksteiste aladest, piiridest ja võimalustest
(tellijal, arhitekt, ehitus-, KVJ- ja elektriinsenerid)*
- *et arhitektooniliste ja tehniliste lahenduste omavahelised konsekventsid (funktsioonilised, tehnilised ja majanduslikud) on selgitatud ja kõikide osaliste poolt aktsepteeritud*

Raamatu eesmärk on, et selles kaasa aidata

- Lähteülesanded ja tehnilised lahendused
- Sisekliima
- Hoone, selle küte, ventilatsioon ja jahutus
- Jahutuskoormus ja päevavalgus
- fassaadi kavandamise mõju

Annab põhilist arusaamist

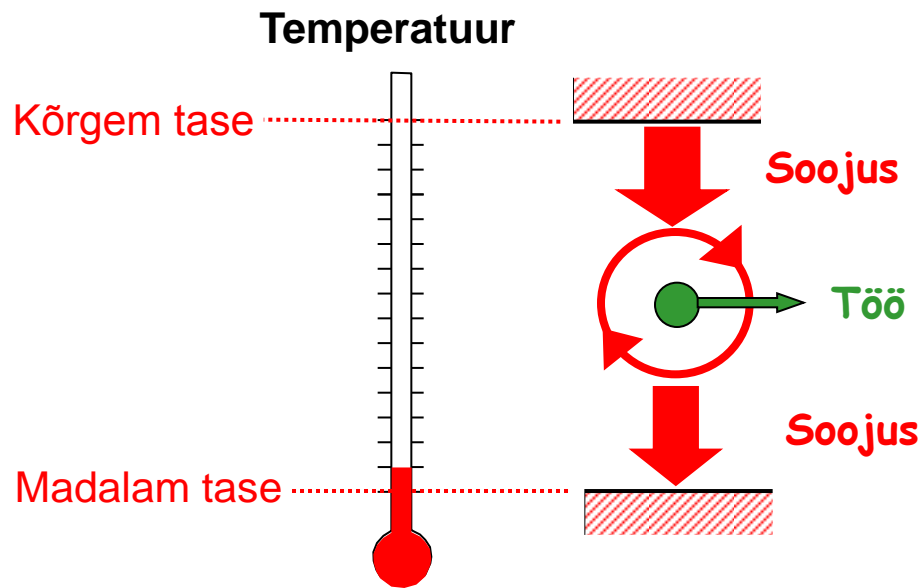
- Energia tasakaal kestusgraafikul
- Jahutus
- Ventilatsioon
- Energiatõhusus
- Tasuvusarvutus

*Suunatud
KVJ insenerile*

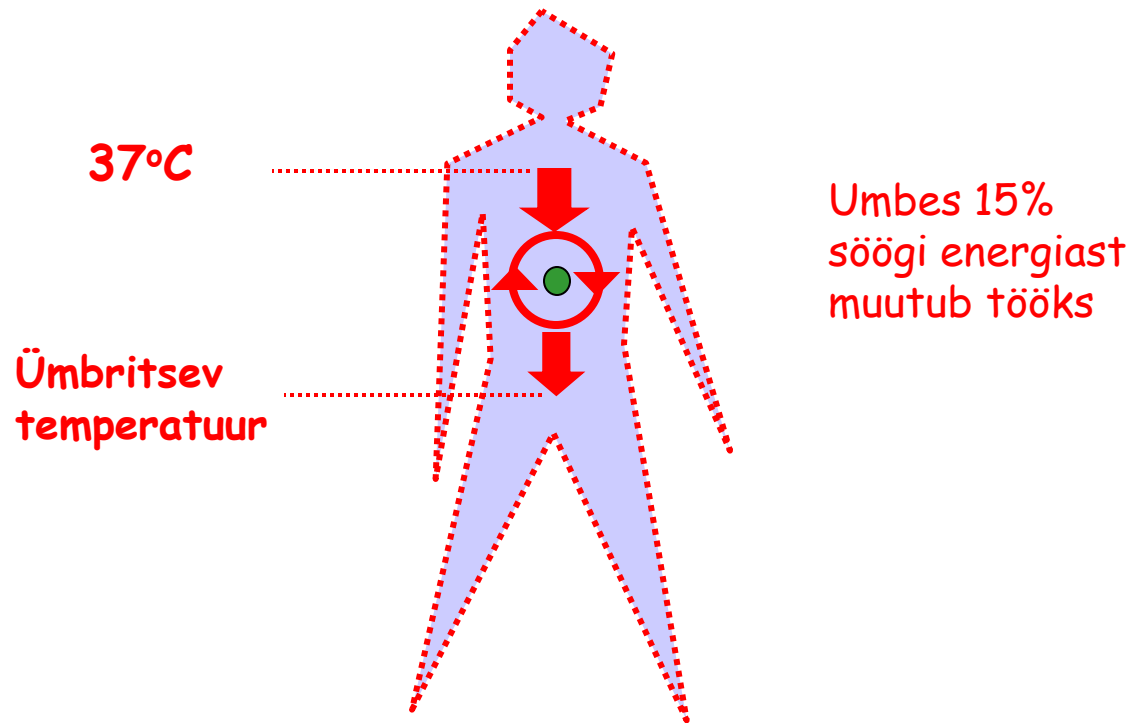
Sisekliima

Sisekliima

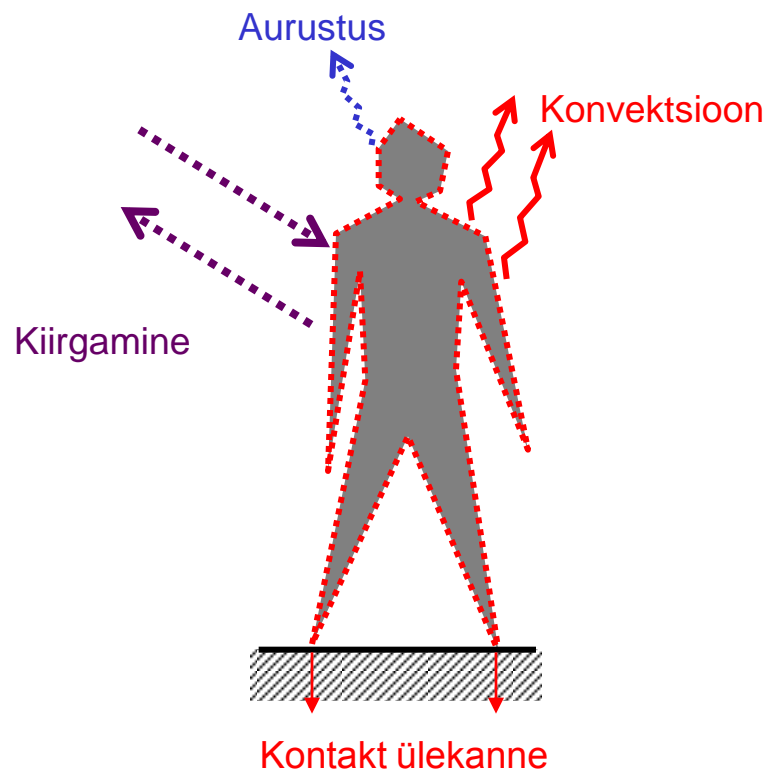
Soojuse ja töö vahekord



Sisekliima

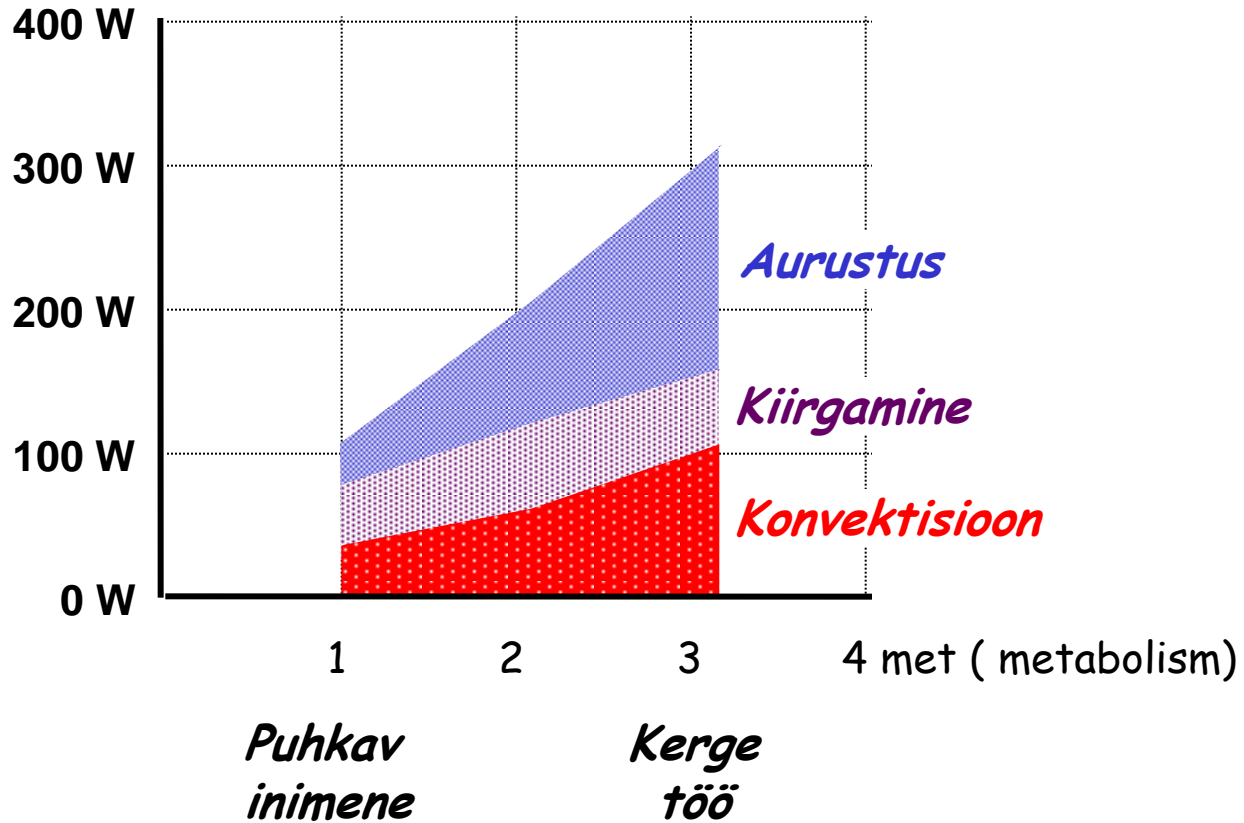


Inimese soojuse eritus

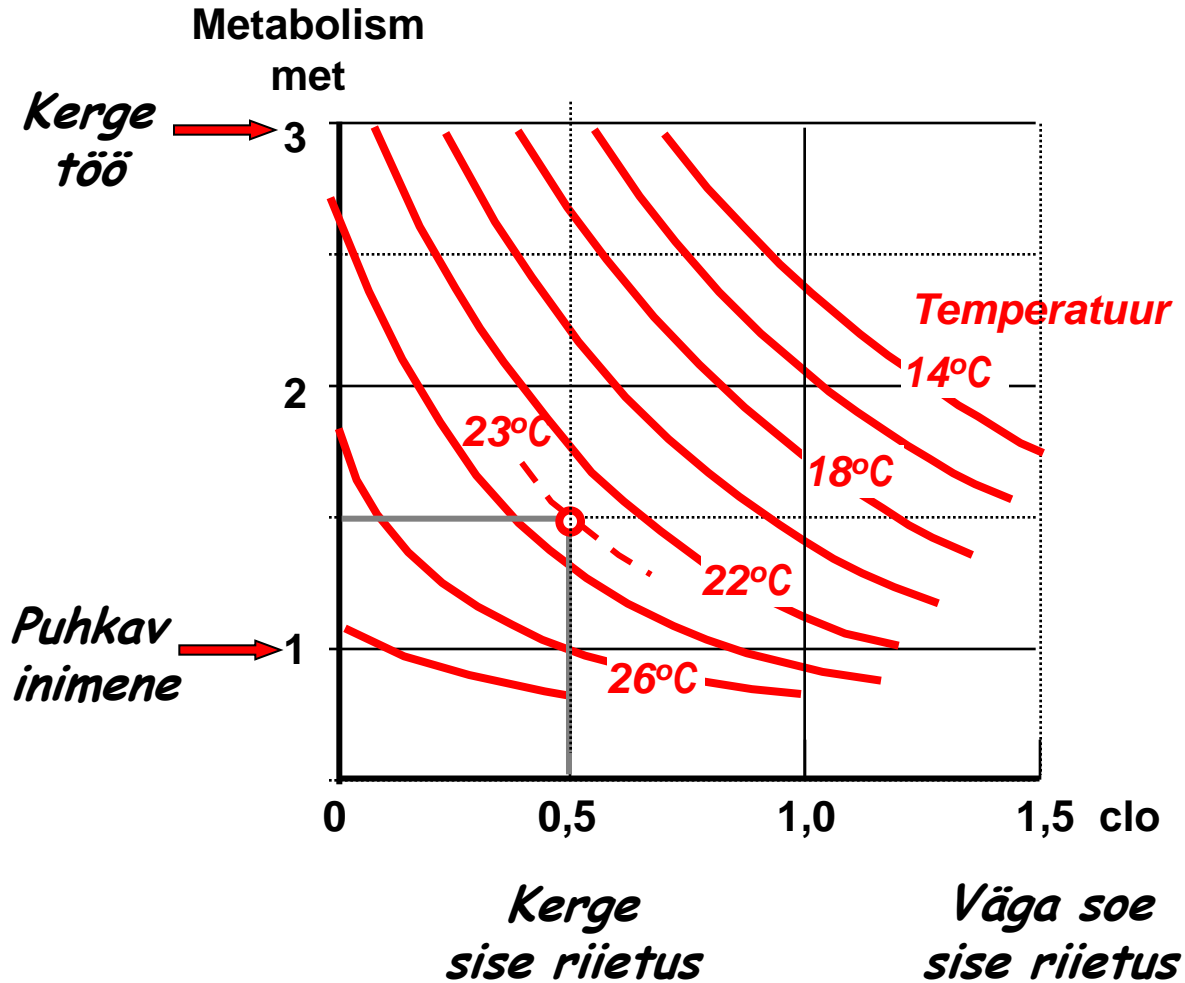


Inimese soojuste eritus

Soojuste eritus

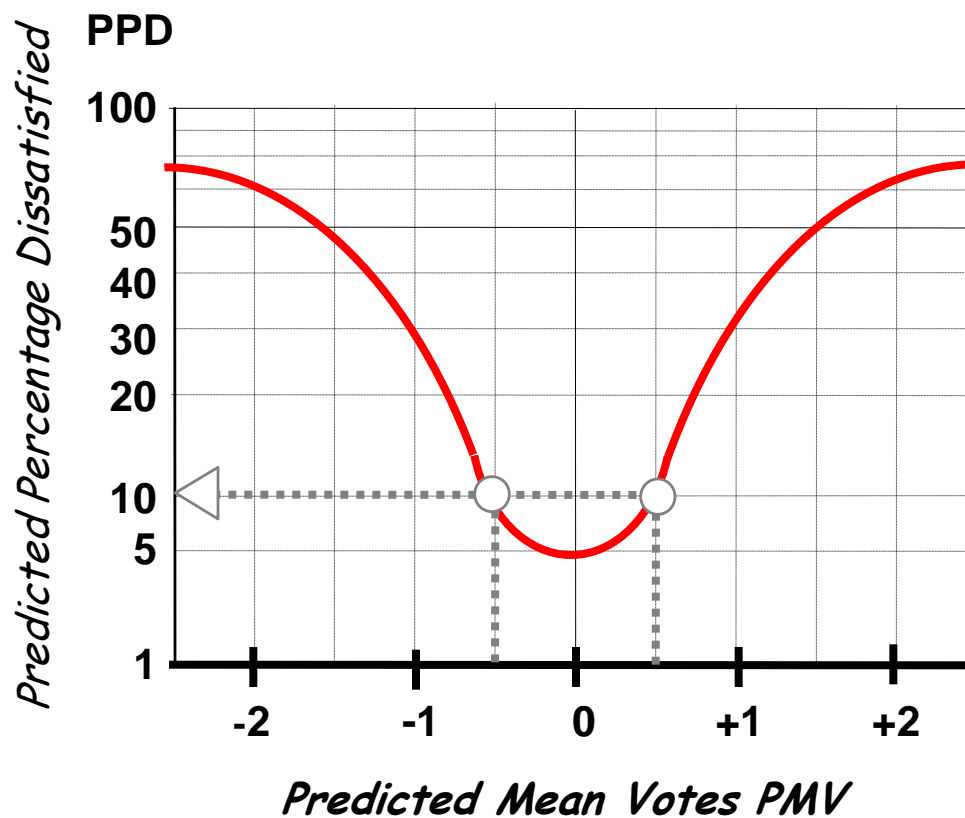


Kliima tunnetus



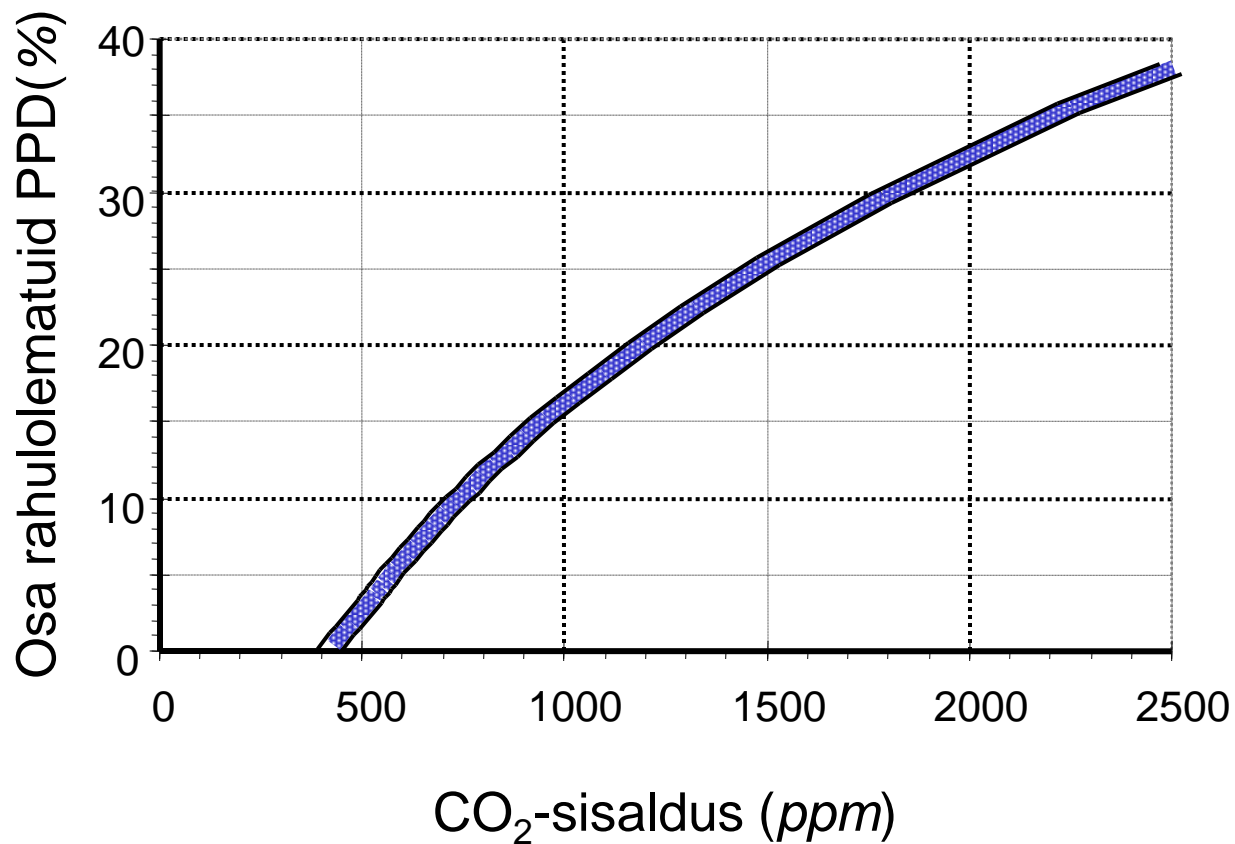
Kliima tunnetus

Osa rahulolematuid *Predicted Percentage Dissatisfied* **PPD**

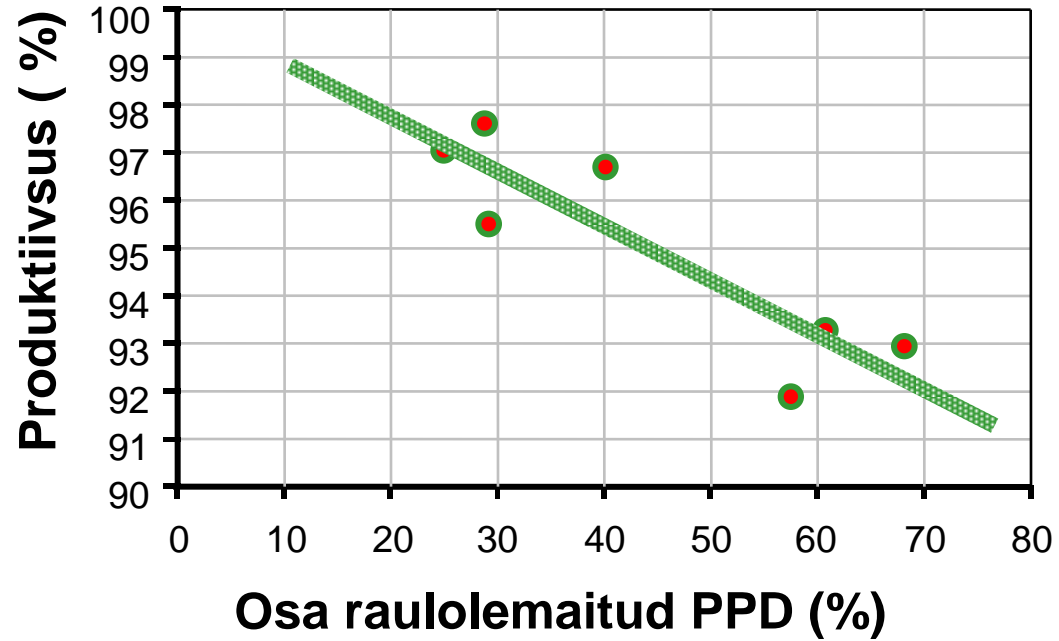


Hoonete energiatarve ja sisekliima
Enno Abel 100907

Inimese õhukvaliteedi tunnetus - CO₂ on indikaator

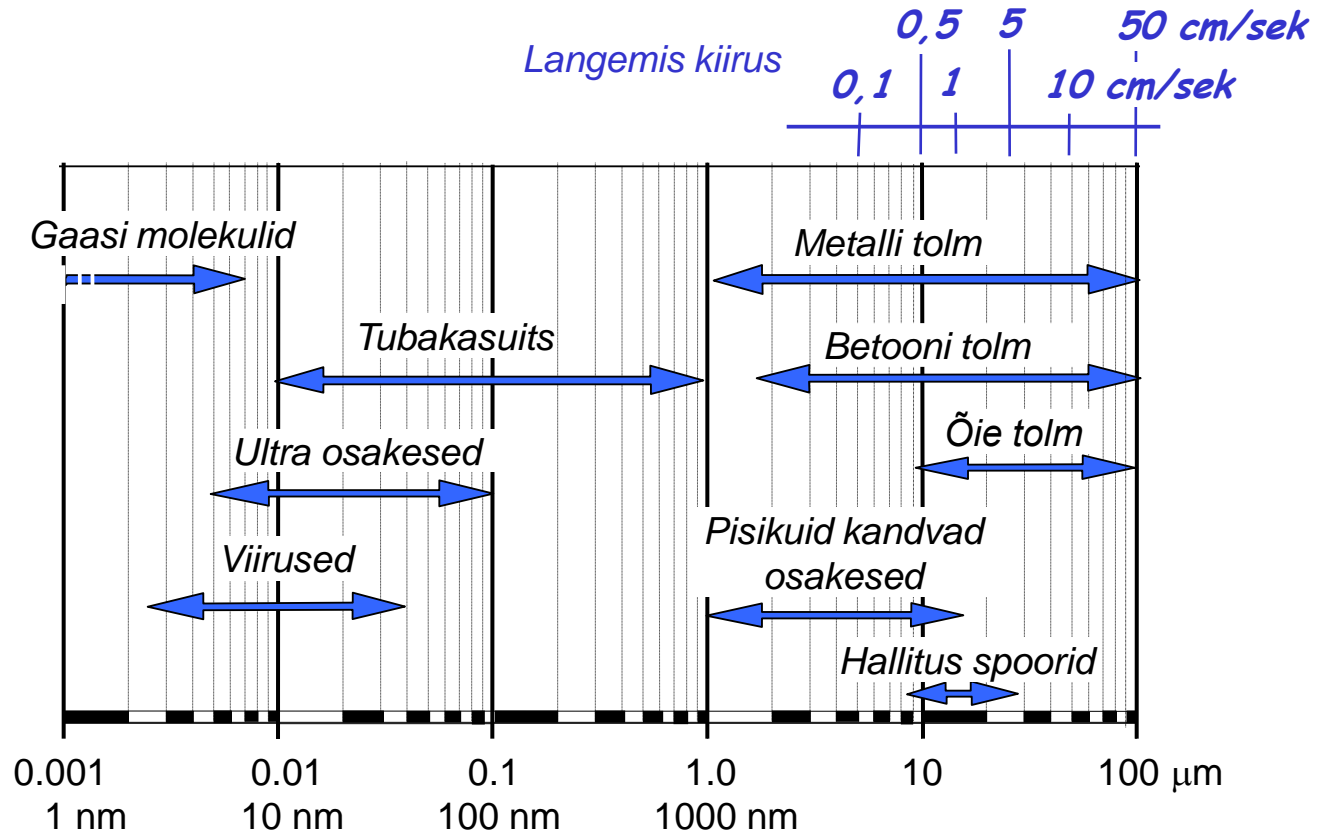


Produktiivsus vs Rahulolematus

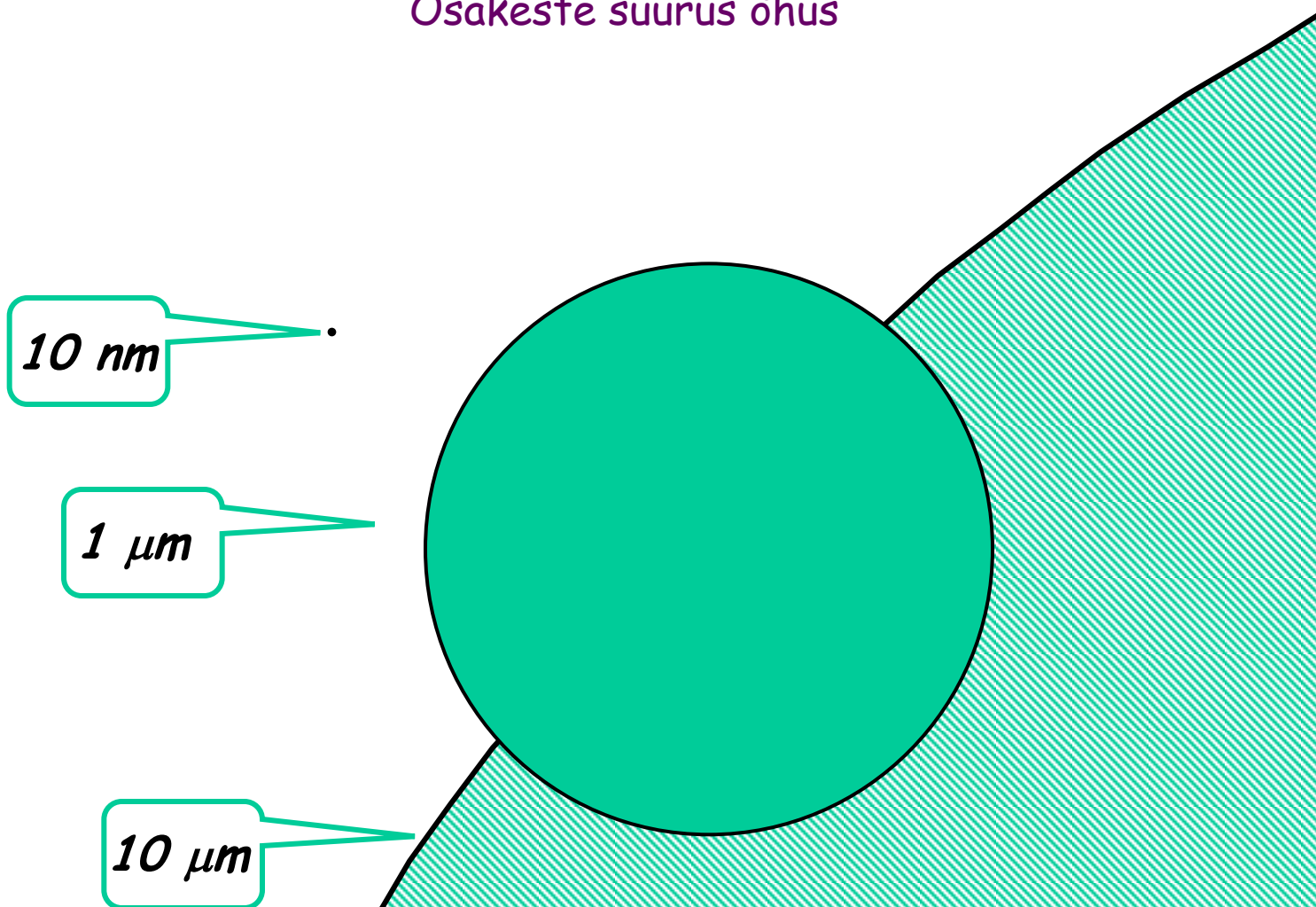


Sisekliima kapitalikulu + jooksev kulu ~	400 EEK/(m ² ·a)
Kontori ruumi üür	~ 3.000 EEK/(m ² ·a)
Inimese töö kulu	15.000 - 20.00 EEK/(m ² ·a)
1% efektiivsuse langus	150 - 200 EEK/(m ² ·a)

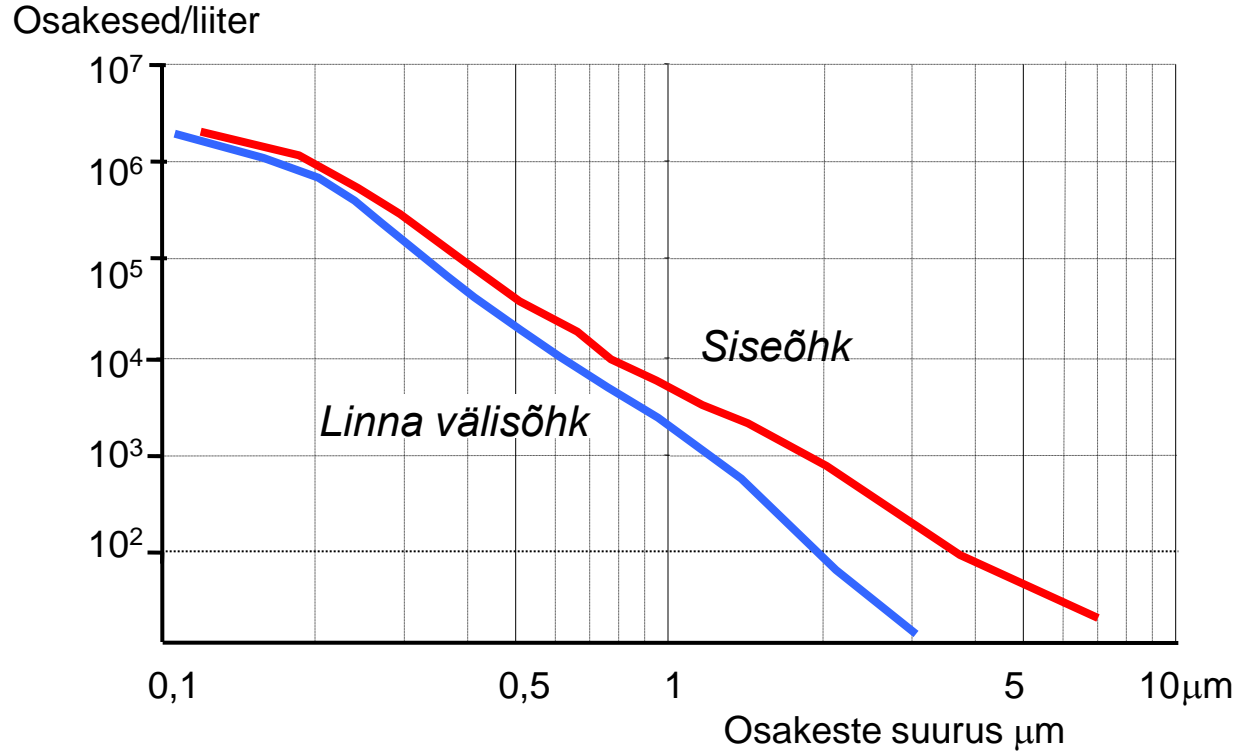
Osakeste suurus õhus



Osakeste suurus õhus



Õhu osakeste sisaldus

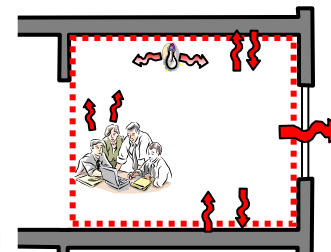


Süsteem ja süsteemi piirid

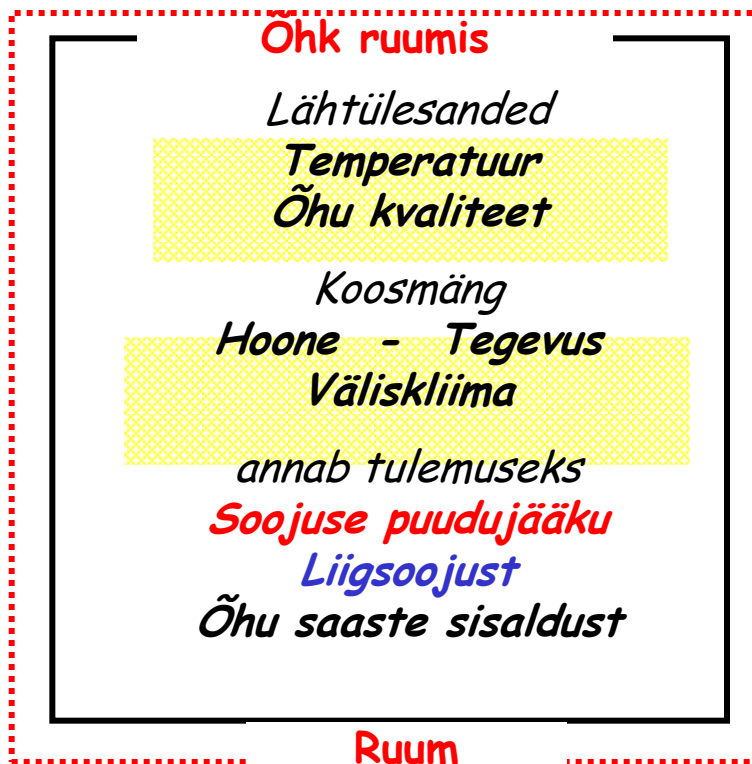
Süsteemi definitsioonid



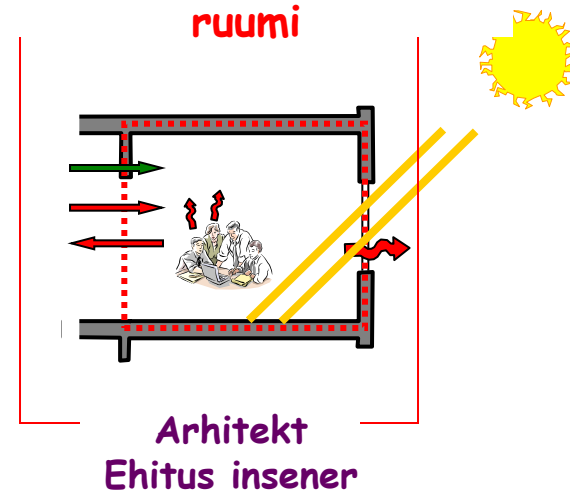
Süsteemi piir ümbritseb
ruumi õhu



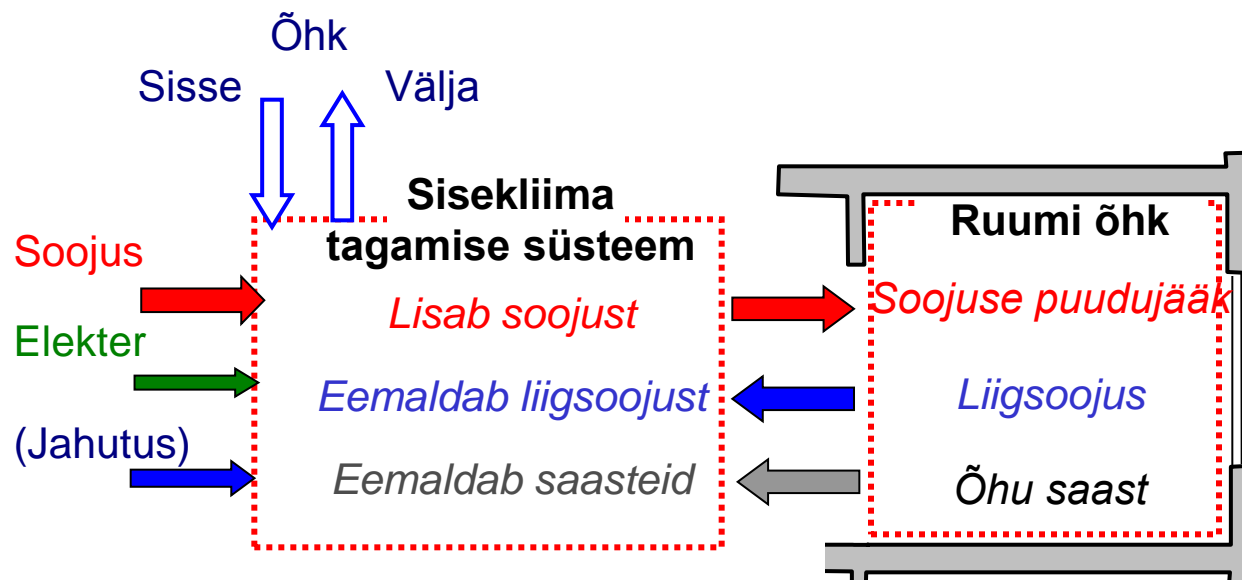
Süsteemi definitsioonid



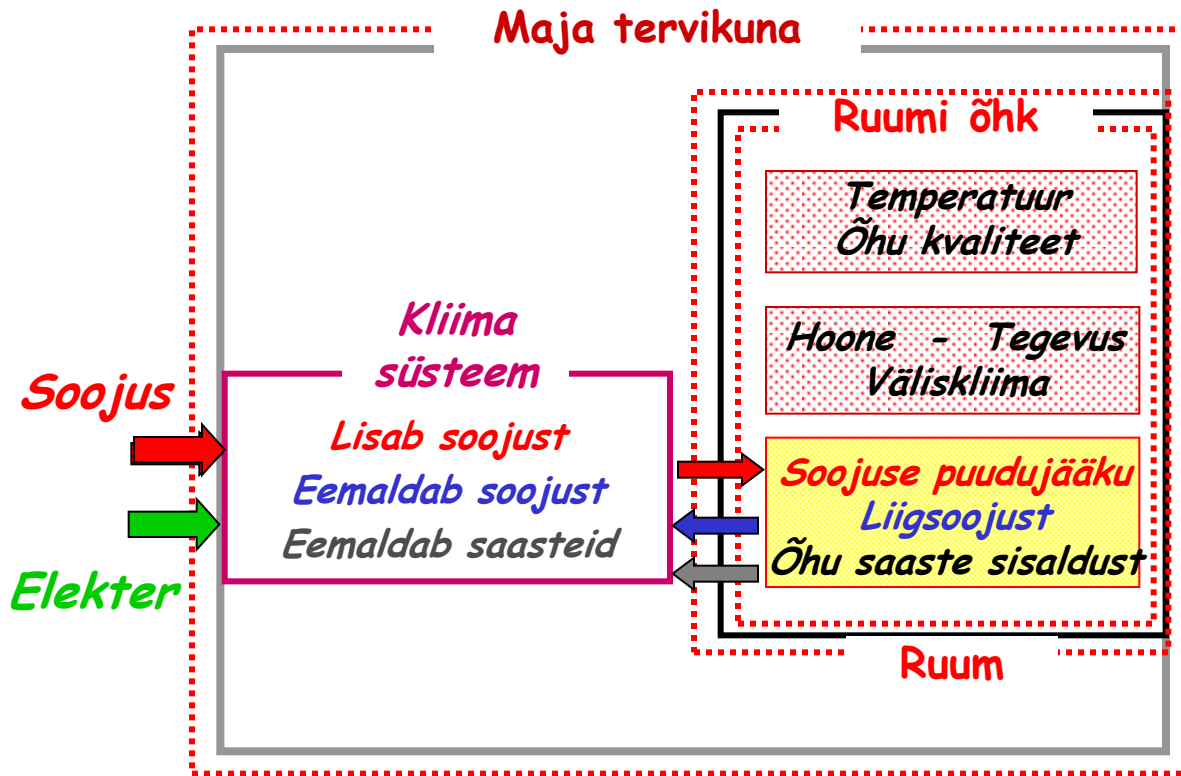
Süsteemi piir ümbritseb
ruumi



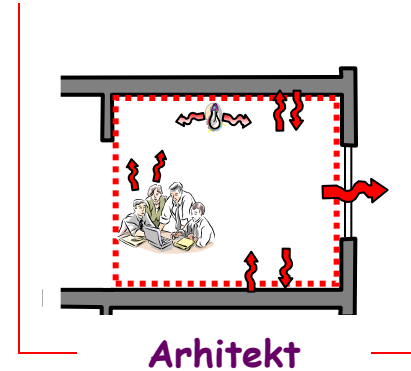
Süsteemi definitsioonid



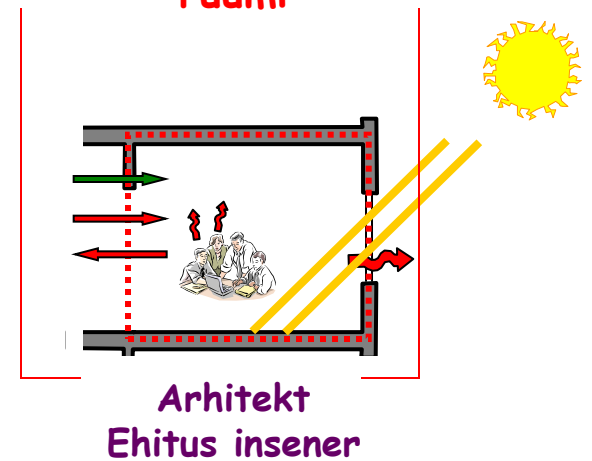
Süsteemi piirid



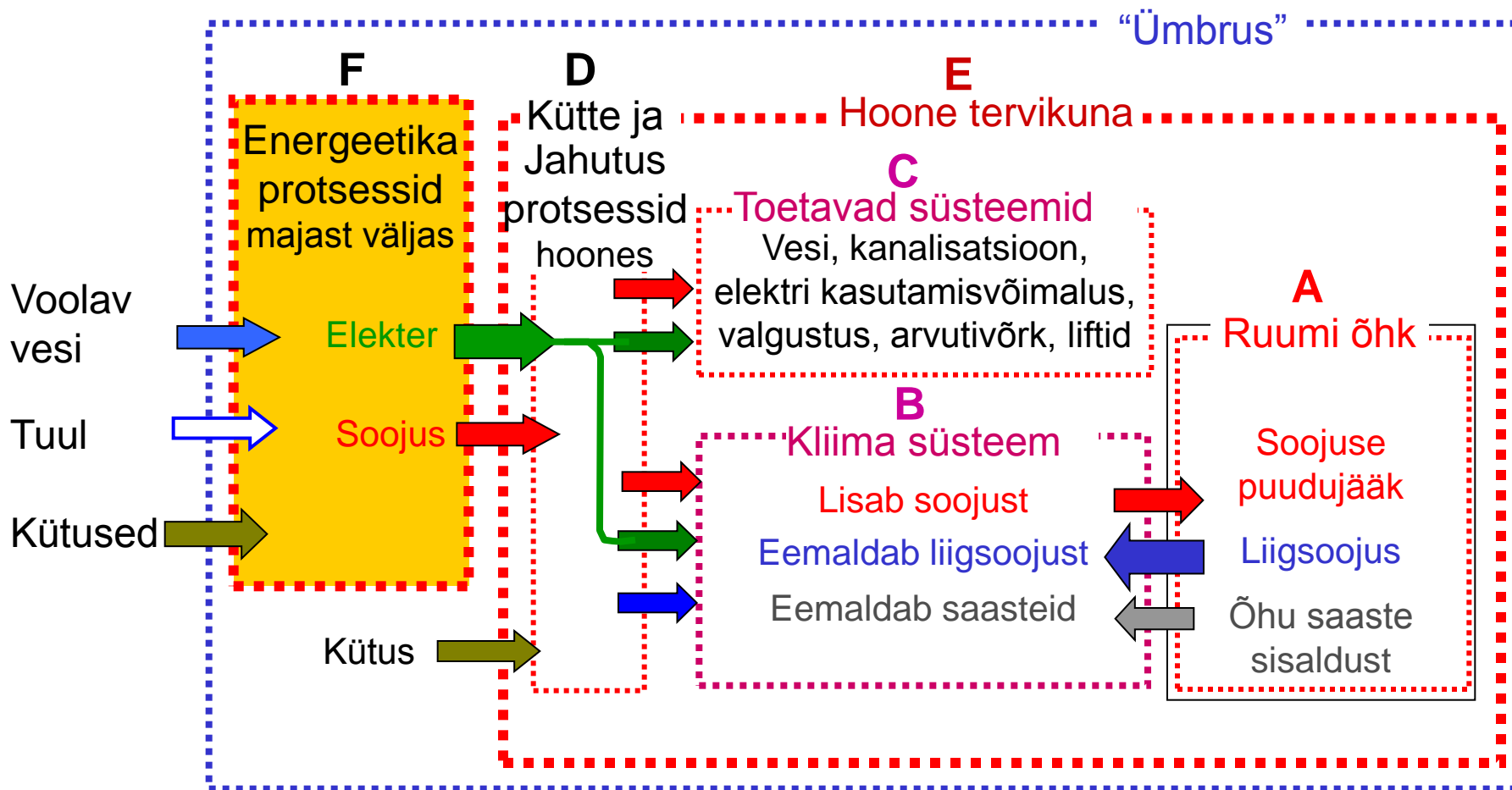
Süsteemi piir ümbritseb ruumi õhu



Süsteemi piir ümbritseb ruumi

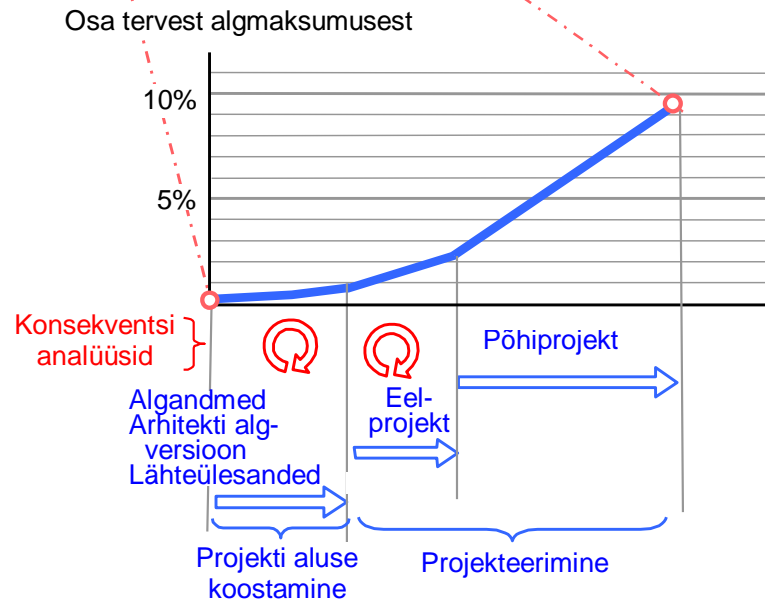
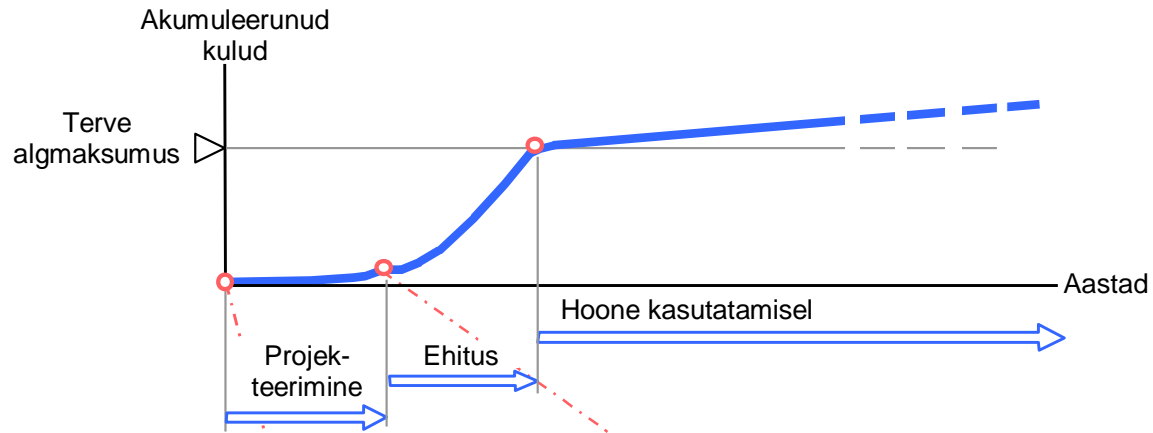


Süsteemi piirid

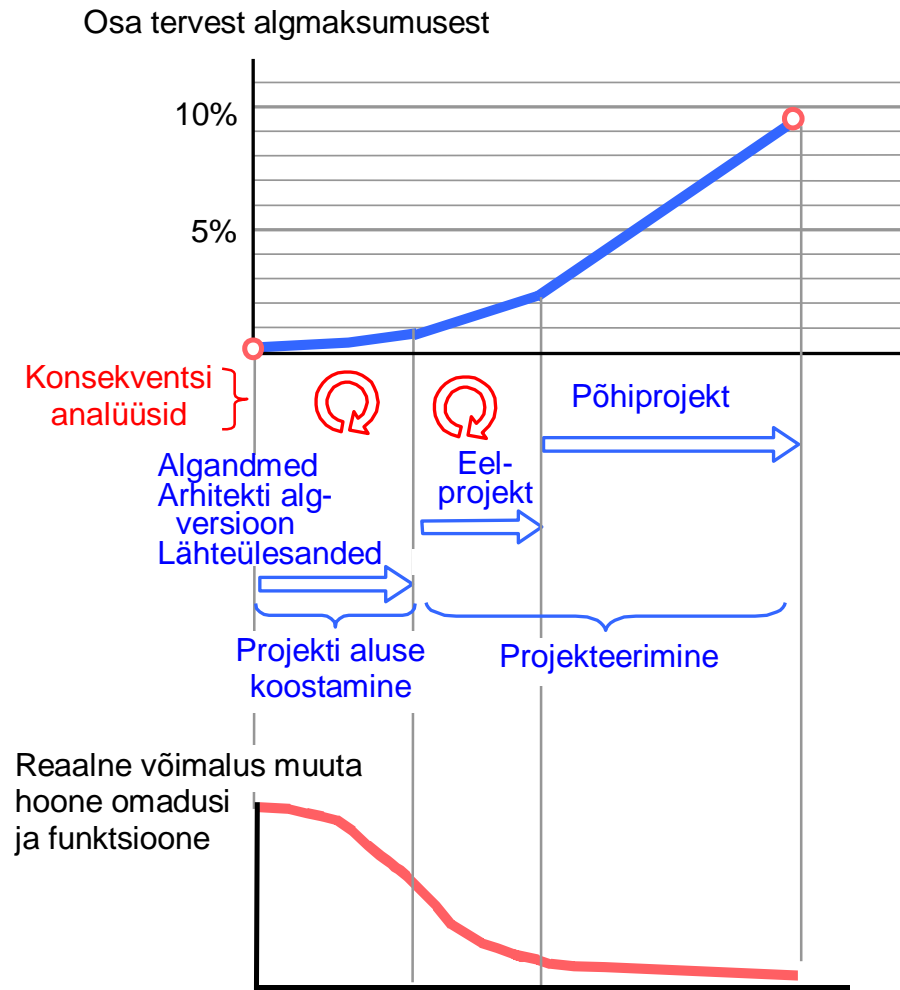


Lähteülesanded ja tehnilised lahendused

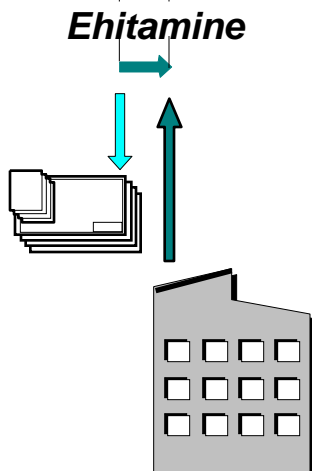
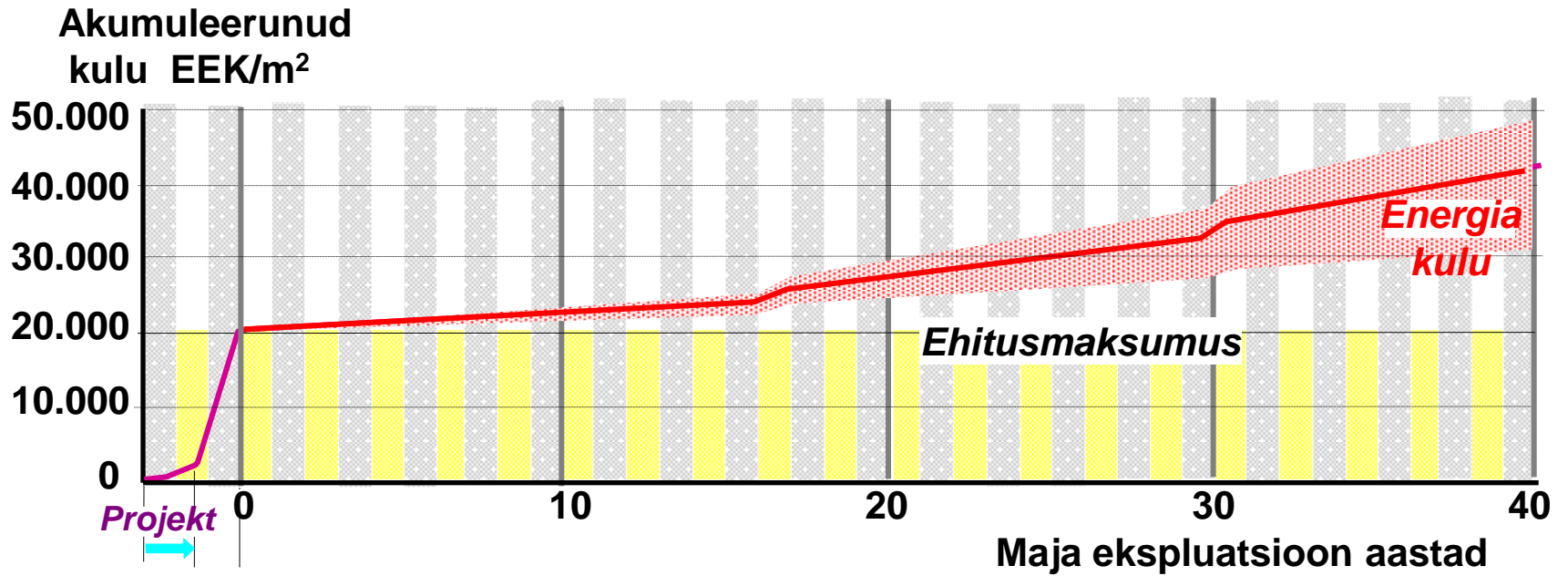
Ehitus protsess



Projekt



Hoone elu protsess



Lähteülesanded

Funktsiooni määravad lähtüesanded

Põhilised lähtüesanded mis tulenevad hoone otstarbest ja tegevuse iseloomust

Kui hoone ei vasta nendele lähtüesannetele, siis mõeldud tegevus ei ole teostatav

Kvaliteeti määravad lähteülesanded

Lähteülesanded mis määravad hoone kvaliteedi
- et tulemus oleks "hea" hoone

Kui hoone ei vasta nendele lähtüesannetele, siis on hoone ebakvaliteetne kuid siiski kasutatav ettenähtud otstarbeks

Funktsiooni määravad lähteülesanded –sisekliima ja kindlus

Õhutemperatuur

- alumine piir °C
- ülemine piir °C=f(töötunnid)
elamutes *ainult* alumine piir

Operatiivne temperatuur

- alumine piir

Ruumi pindade temperatuur

- alumine piir

Õhu kvaliteet (IAQ)

- osakeste sisaldus ruumiõhus ppm
- saastavate gaaside sisaldus ruumiõhus
näiteks CO₂, tööruumides

Õhu niiskus

- alumine piir %
- ülemine piir %
ainult spetsiaalsed ruumid
haiglate operatsiooni saalid,
teatud muuseumid, trükikojad

Valgus

- Päevavalgus lux
- Lambivalgustus lux
- Illuminans
- Kontrast
- Värvispektrum
bürooruumid, tööruumid,
äriruumid

Segavad faktorid

- kõrgeim müratase dB(A), dB(C)
- kõrgeim õhukiirus ruumis cm/s
vibratsioonid

Süsteemide töökindlus

Tõkked gaaside, osakeste ja mikroorganismide levimise vastu
laboratooriumid, haiglad,
tööstused näiteks meiereid

Tulekahjust pääsemise kindlus

Kvaliteeti määravad lähteülesanded

Esteetiline välimus

Effektiivne ruumide jaotus

(kasutatav pind/ /kogu pind jne)

Sobiv pinnalahendus

Minimaalne eluaja kulu

(Minimeeritud LCC)

Energia tõhusus

(Suhtarvud

$kWh_{soojus}/m^2 \cdot a,$

$kWh_{elekter}/m^2 \cdot a,$

$SFP kW/m^3 s,$ jne)

Ökoloogiline tõhusus

Tulevased muudatuse võimalused

Tehniliselt ja majanduslikult optimeeritud lahendused

Hoone vastupidavus

Lihtne kasutamine ja hooldamine

Hoonete energiatarve ja sisekliima

Enno Abel 100907

Nii Funktsioone määravad lähteülesandeid

kui

Kvaliteeti määravaid lähteülesandeid

peab täitma

aga

Kvaliteeti määravaid lähteülesandeid

ei tohi kunagi täita

Funktsioone määravad lähteülesandeid

kulul

Tehnilised lahendused

Mõned näited

- Hoone lahendused
 - Passiivne maja
 - Loomulik ventilatsioon
- Süsteemilahendused
 - Ventilatsioon
 - Soojus
 - Jahutus
 - Reguleerimine
 - Valgustus
 - Vesi ja ärajooks
 - Elekter
- Õhuhulgad eri ruumides
- Soojuse võimsus eri ruumides
- Jahutus võimsus eri ruumides
- Reguleerimis printsiip
 - Õhu voolude reguleerimine
 - Soojuse reguleerimine
 - Jahutuse reguleerimine
- Dimensioneerimine ja detailide kujundamine
- Lahendused hoones
 - (vertikaalne ja horisontaalne kanalisatsioon, masina ruumid, jne)
- Lahendused eri ruumides
- Aparaatide valik
- Komponentide valik

Süsteem - Põhjus ja tagajärg

- *Väliskliima*
- *Hoone kujundus, eriti piirdetarind*
- *Emissioonid inimestest ja tegevusest hoones*
- *Sisekliima lähteülesanded*

Määravad



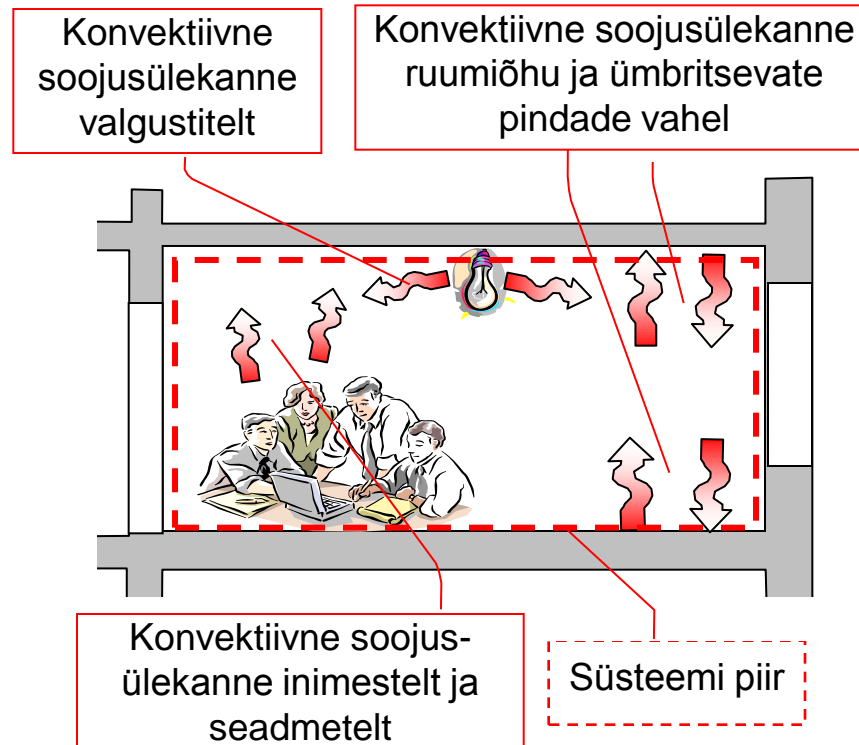
SOOJUSE
TARVET

ÜLELIIGSET
SOOJUST

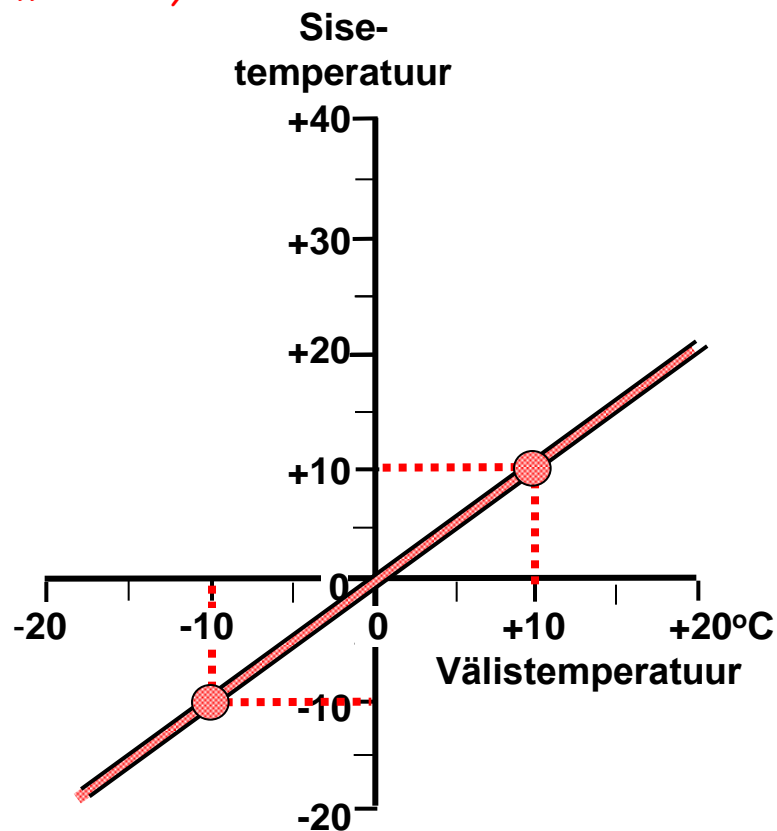
SAASTEID
ÕHUS

Vabasoojus

Soojus mida eraldavad ruumiõhku inimesed, elektri seadmed, valgustus ning ruumi pinnad, kui nende temperatuur on ruumi õhust kõrgem

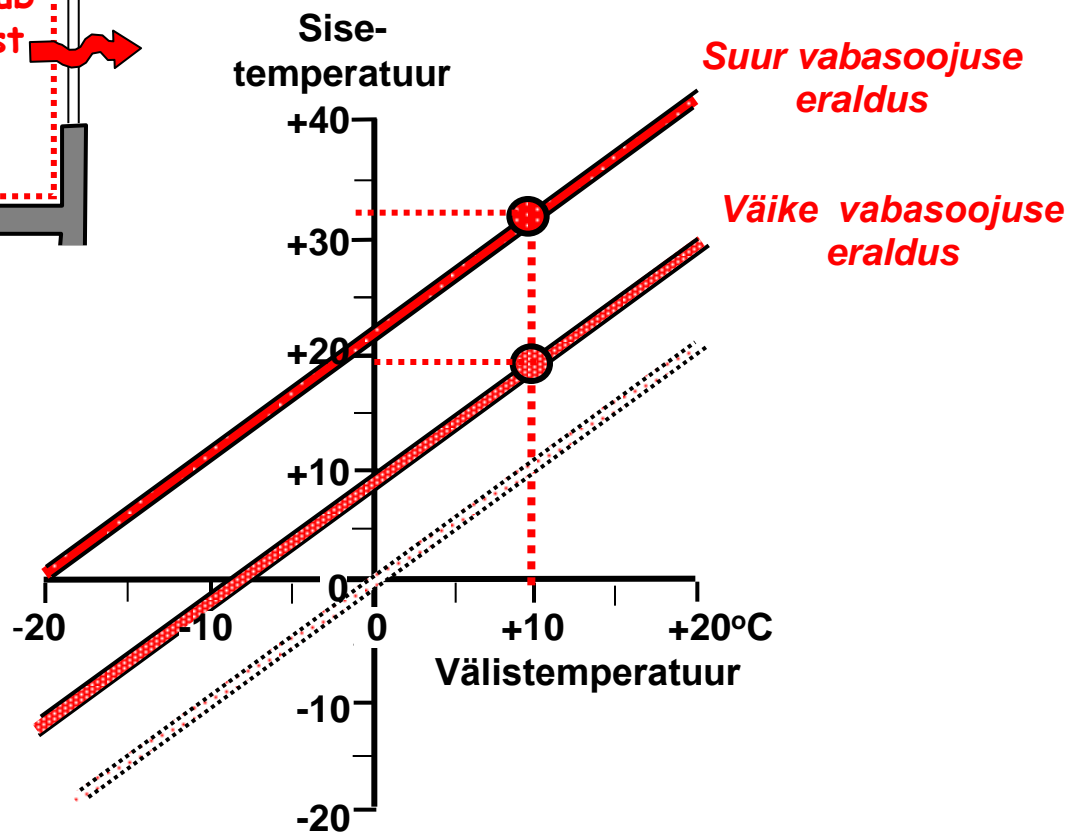
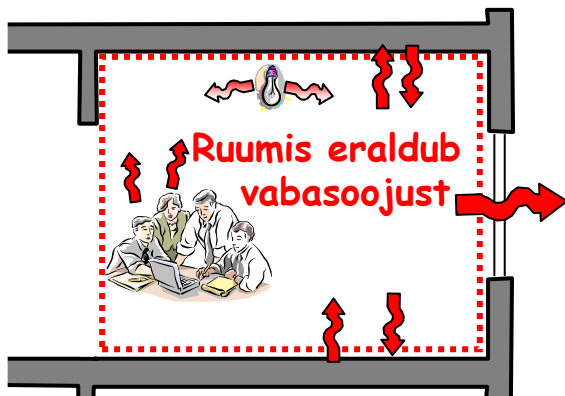


Süsteemi piir - Ruumi õhu ümber
Soojust ei lisata ega eemaldata
Õhu temperatuur võib vabalt muutuda,



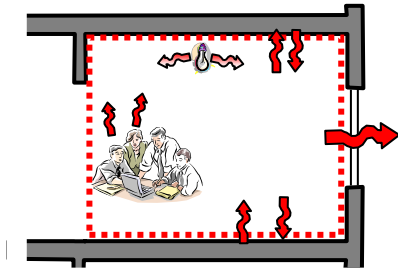
Süsteemi piir - Ruumi õhk

Õhu temperatuur võib vabalt muutuda

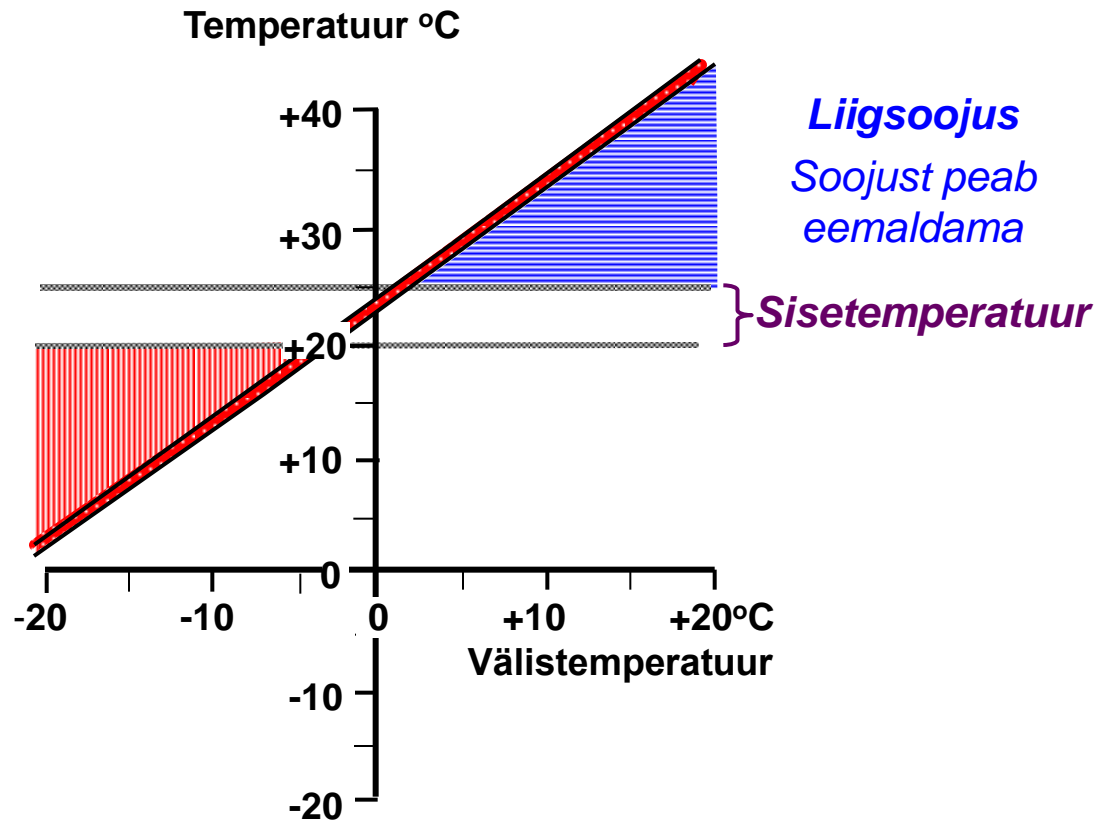


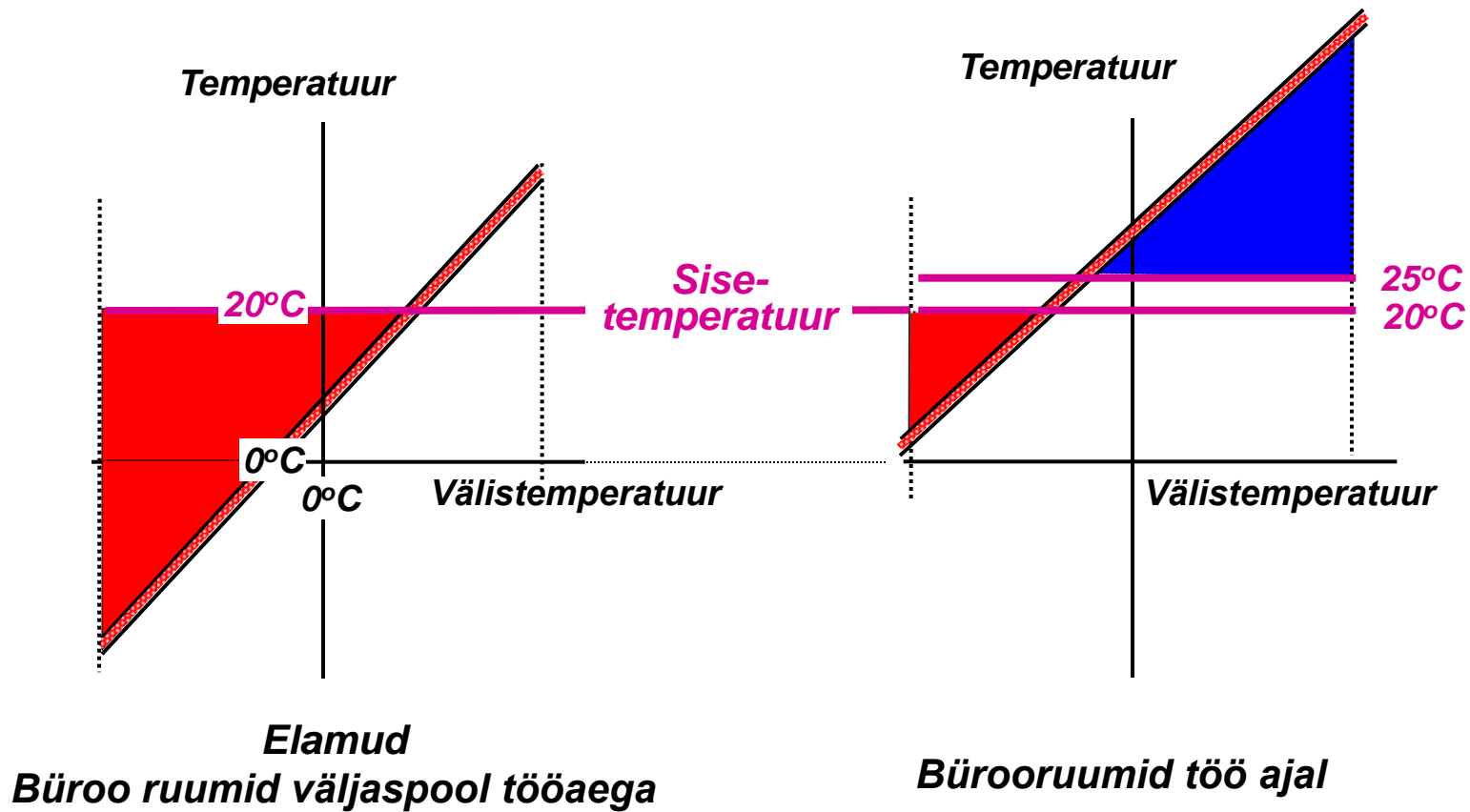
Süsteemi piir - Ruumi õhk

Õhu temperatuur peab püsima teatud piiride vahel



Soojuse puudujääk
Soojust peab lisama





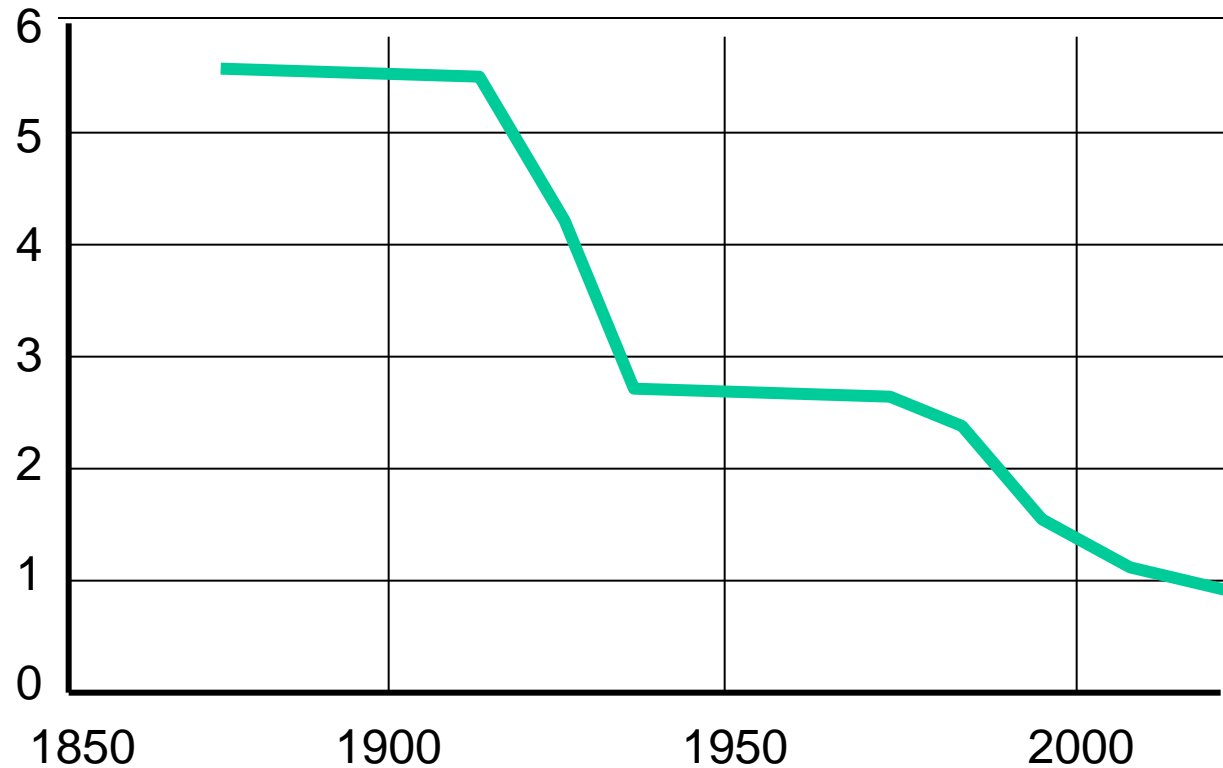
Soojuse vajaduse määrab peamiselt hoone piirdetarind

Summa

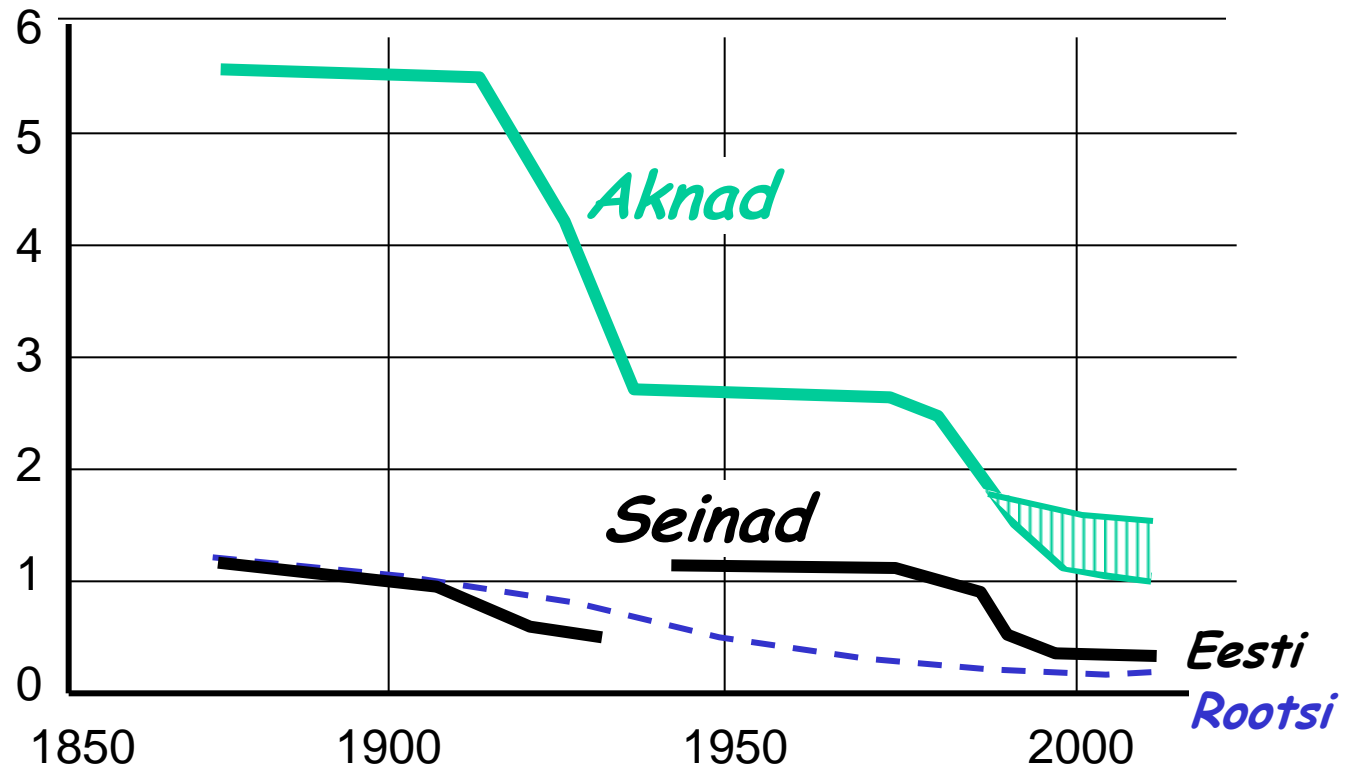
$$U(\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \times A(\text{m}^2)$$

Aknad - Klaasist tarindi osade areng

U W/(m²°C)



U W/(m²°C)



Liigsoojus = vabasoojus - soojuskadu läbi tarindi

Päikese kiirgus läbi akente määrab tavaliselt liigsoojuse arvutusliku suuruse ja sellega ventilatsiooni ja jahutussüsteemi vajaliku suuruse ja kulu



Päikese sissekiirgust määrab akente suurus ja kujundus

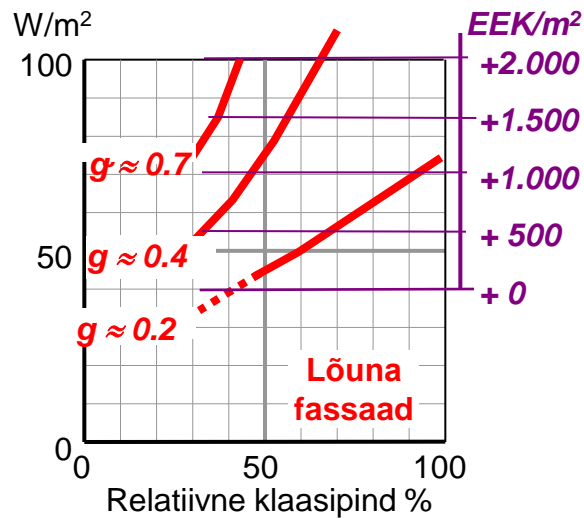
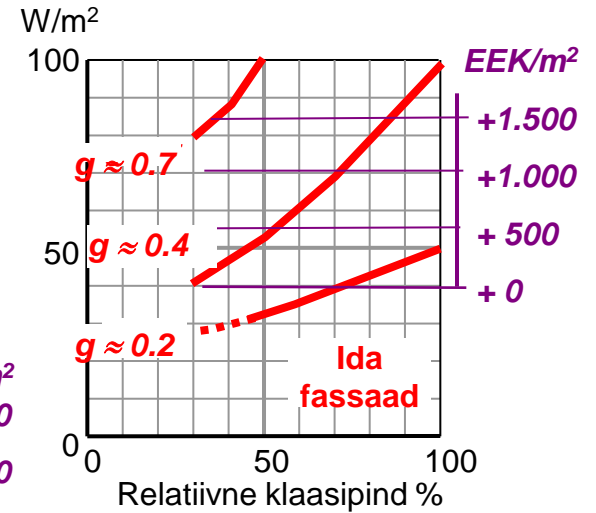
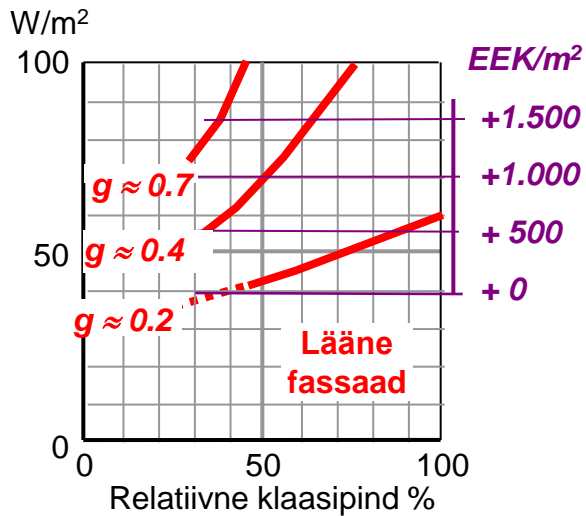
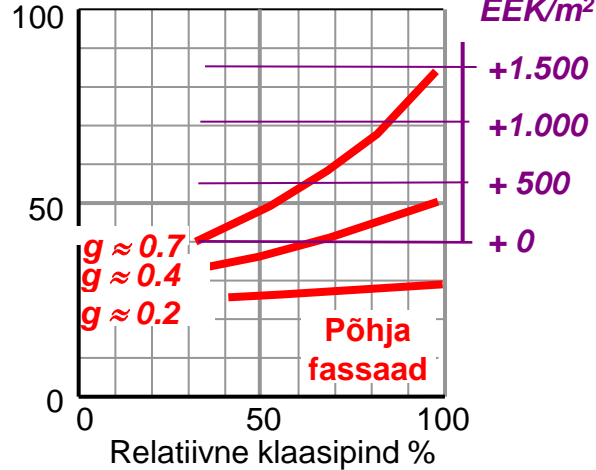


Akente suurus ja kujundus määrab ventilatsiooni ja jahutussüsteemi suuruse ja kulu

Arvutuslik jahutuse vajadus

Sisekliima tagamis
süsteemi hinnatõus

W/m² EEK/m²



*Liigsoojust eemaldatakse
veega jahutatud laepalkidega*

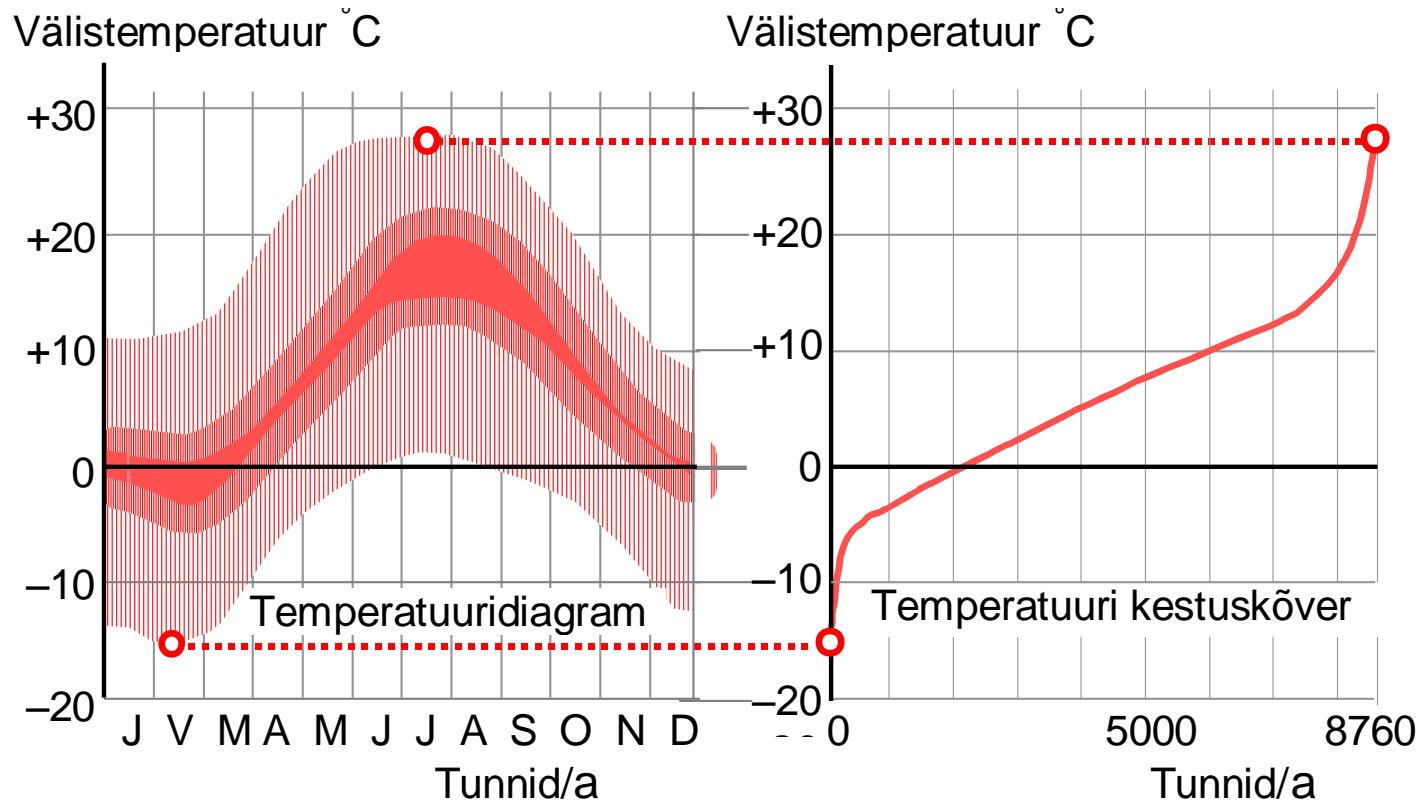
*Hoonete energiatarve ja sisekliima
Enno Abel 100907*

Päevavalgus

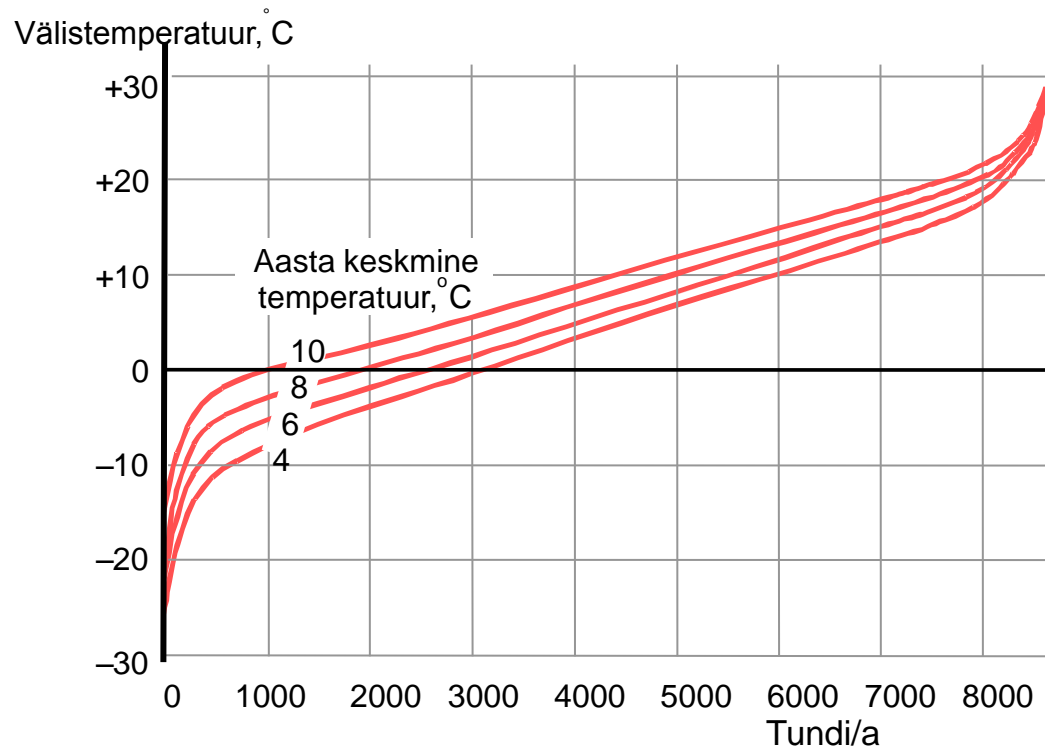
Hendrik Voll

Kestuskõver

Kestusgraafik



Teatu koha aasta keskmine temperatuur määrab selle kestusgraafiku

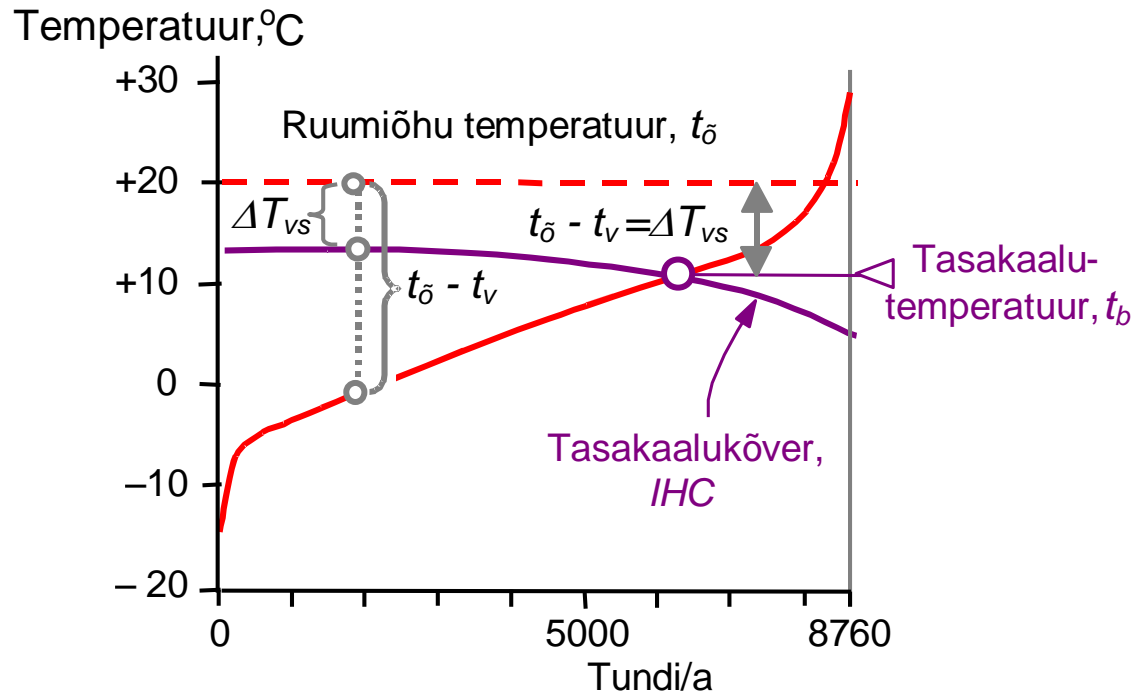


*Hoonete energiatarve ja sisekliima
Enno Abel 100907*

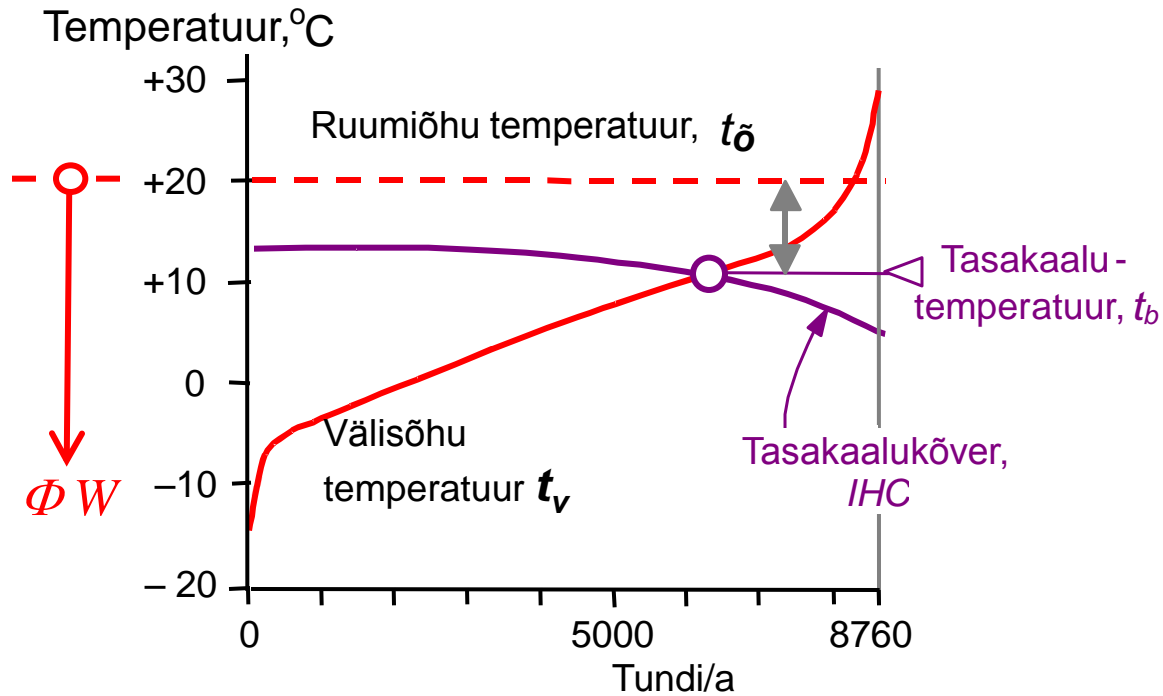


$$(t_{\delta} - t_v) = \frac{\Phi_{tr} + \Phi_{Lo}}{(K_{tr} + K_{Lo})}$$

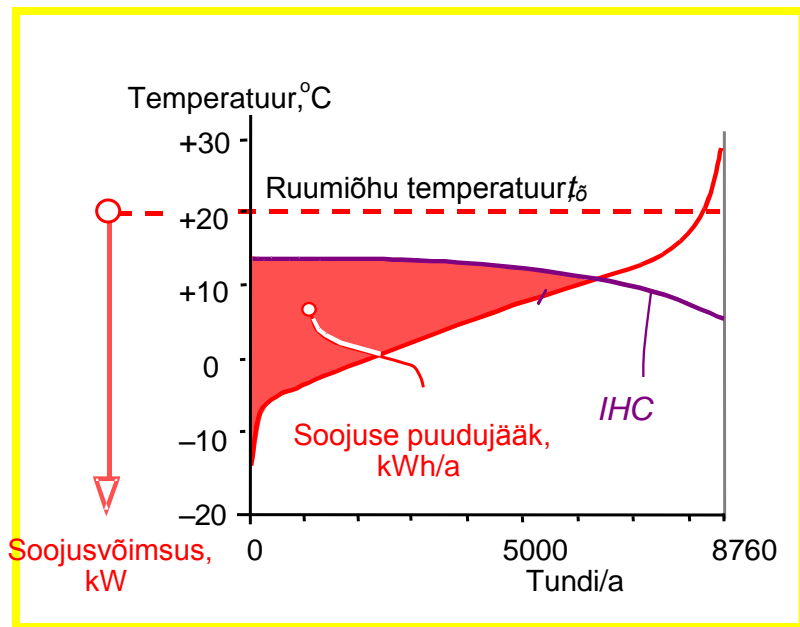
$$\Delta T_{vs} = \frac{\Phi_{vs}}{(K_{tr} + K_{Lo})}$$



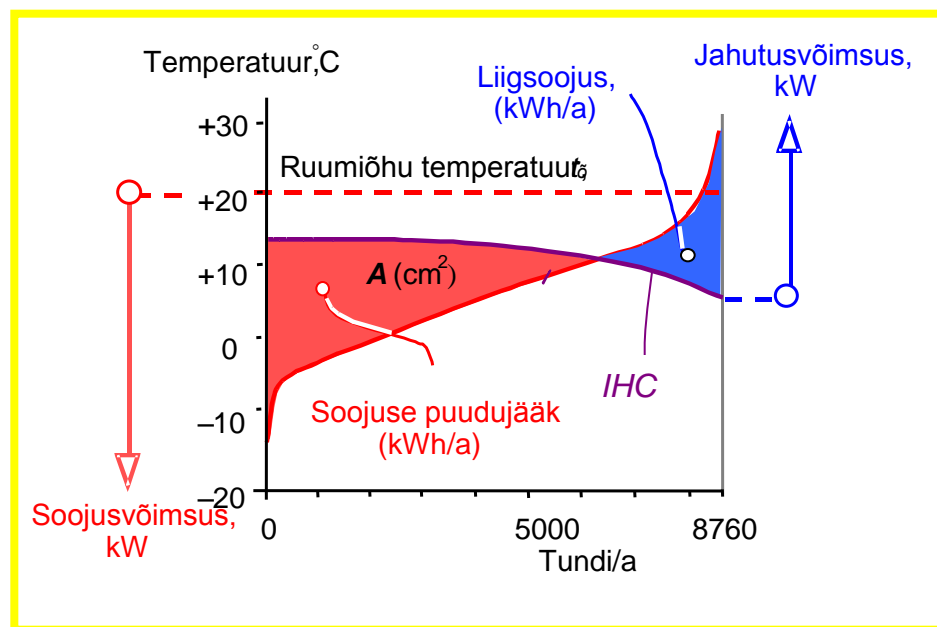
$$\Phi = K \cdot (t_{\delta} - t_v) = K \cdot \Delta T$$



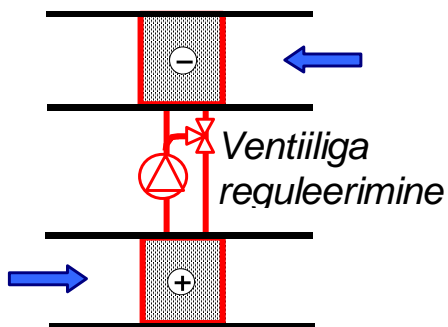
Elamu



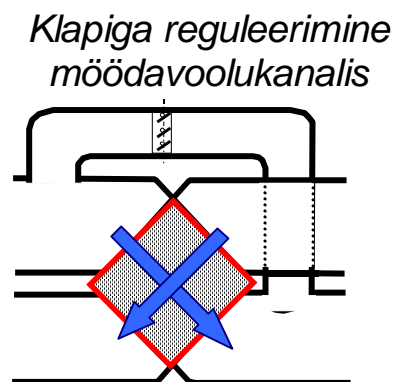
Ühiskondlik hoone - töö ajal



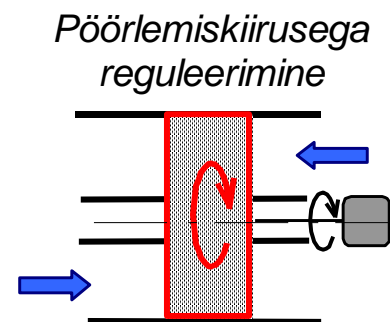
Soojustagastid



Kaudne rekuperatiivne
Vahesoojusandjaga tagasti
 $\eta_T \approx 0.5 - 0.6$

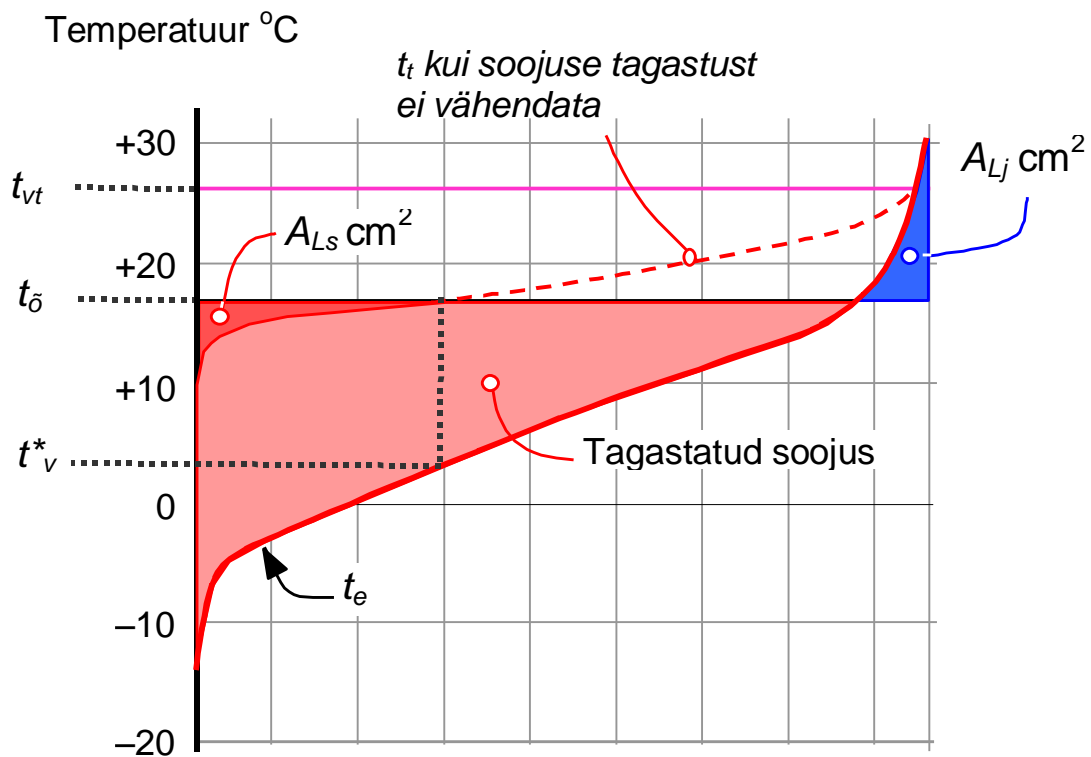


Otsene rekuperatiivne
Plaatsoojustagasti
 $\eta_T \approx 0.6 - 0.7$



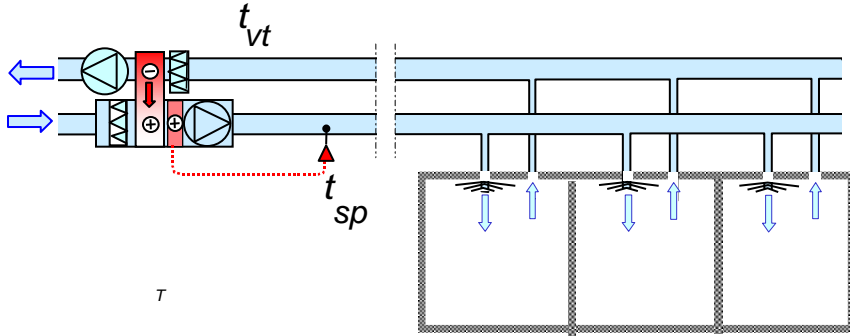
Regeneratiivne
Pöörlev soojustagasti
 $\eta_T \approx 0,7 - 0.8$

Soojuse tagasti

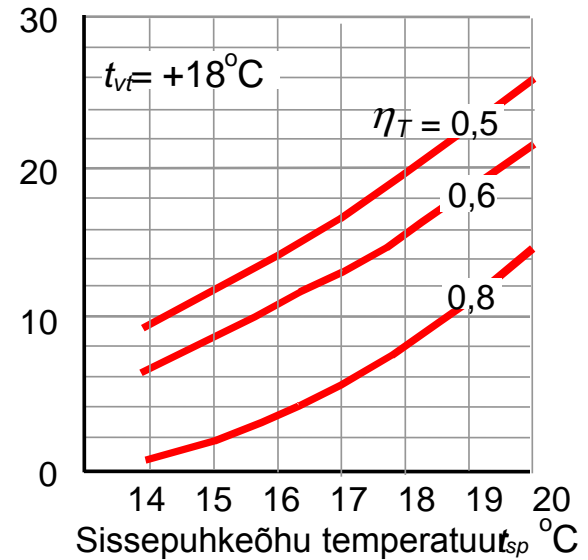


Soojuse tagasti

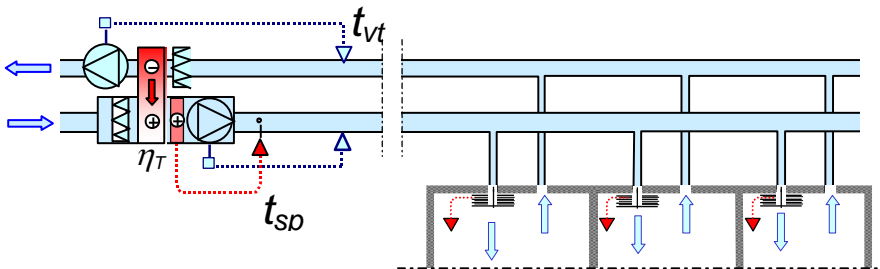
Konstantne õhuvool CAV



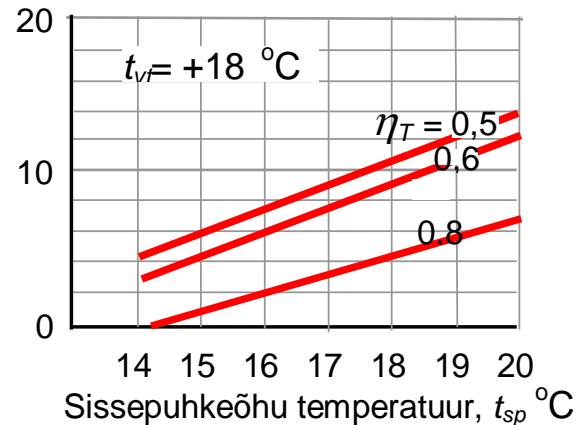
Soojuse tarve
 $\frac{\text{MWh/a}}{\text{m}^3/\text{sek}}$



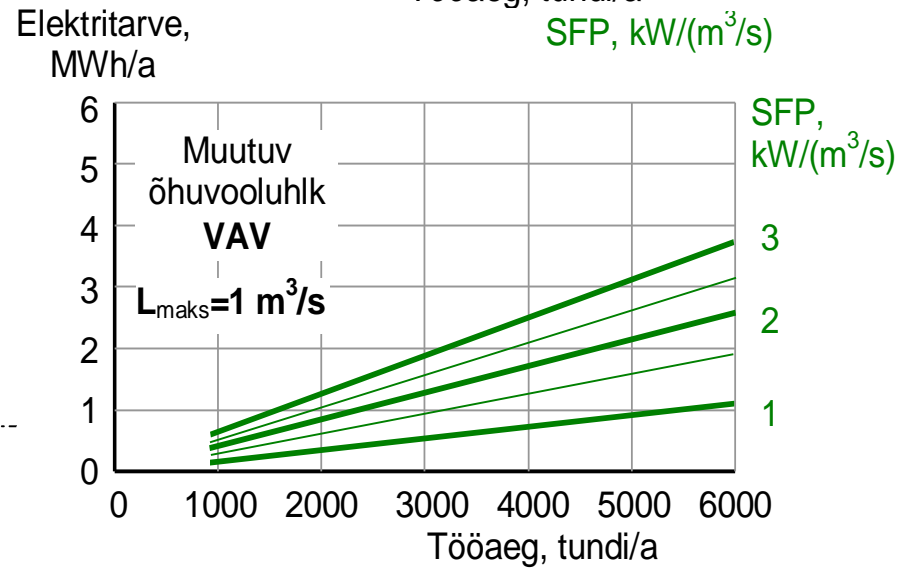
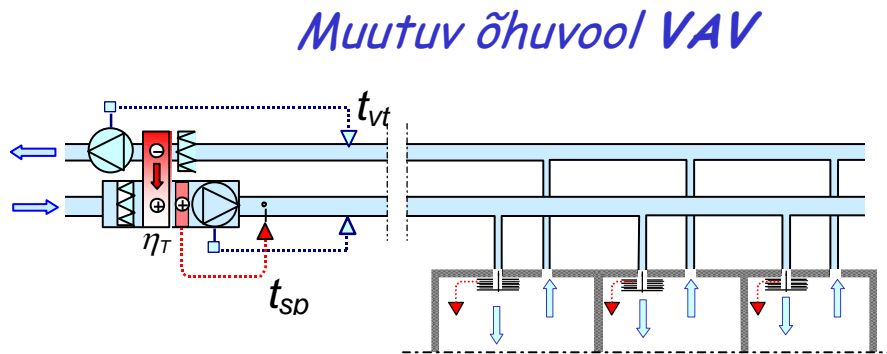
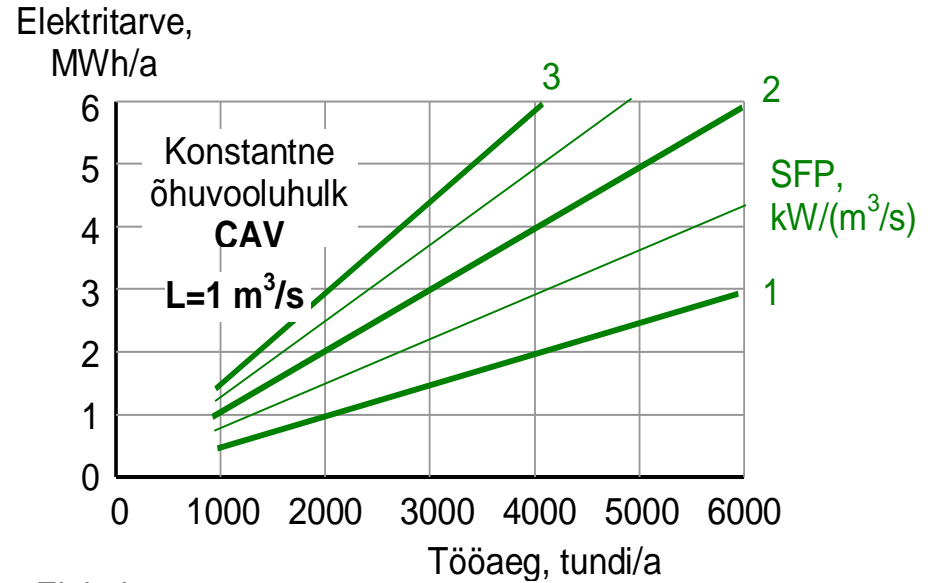
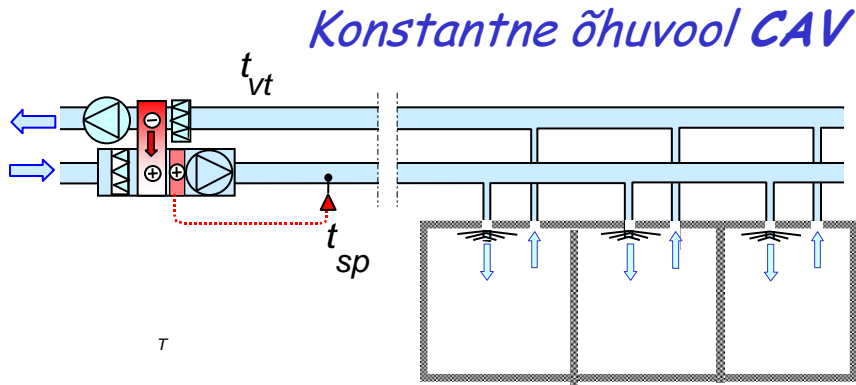
Muutuv õhuvool VAV

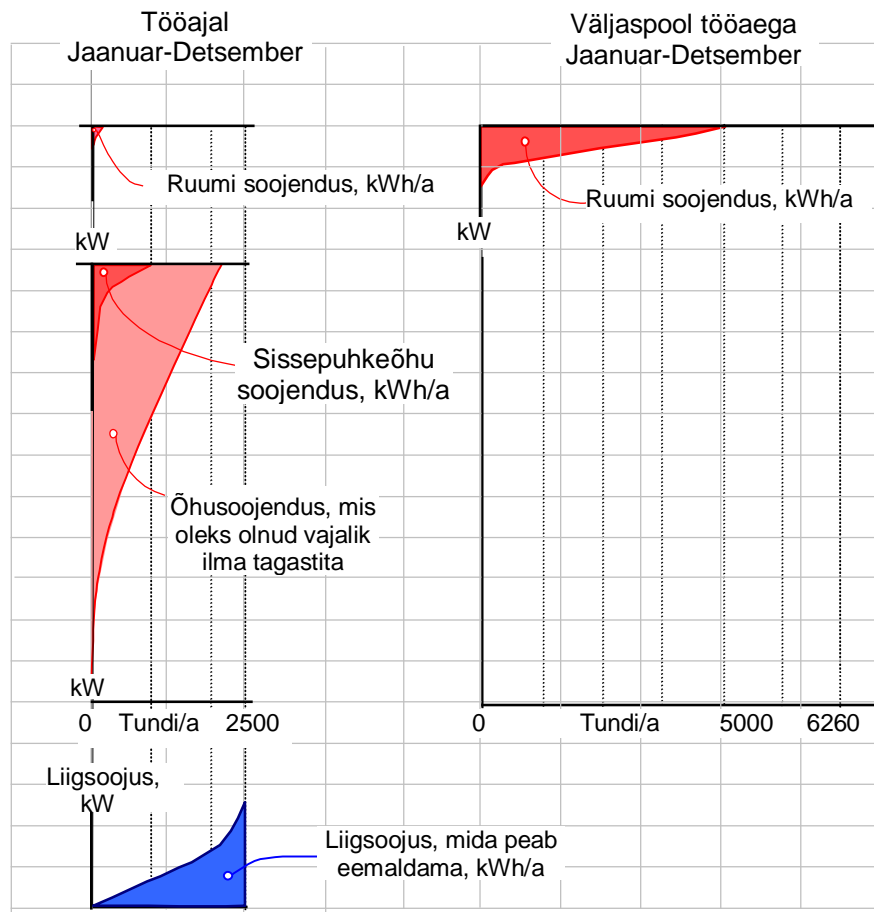


Soojuse tarve
 $\frac{\text{MWh/a}}{\text{m}^3/\text{s}}$



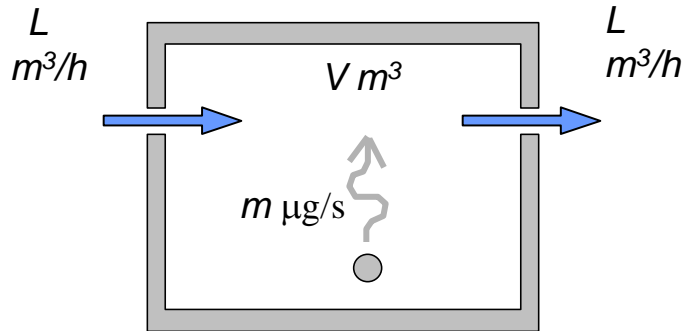
Ventilaatorite elektritarve



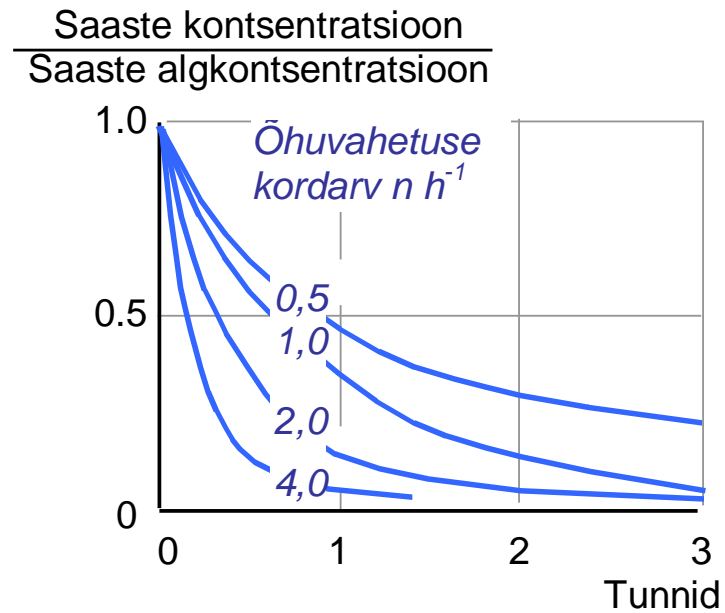


VENTILATSIOON

Ventilatsiooni protsess



Õhuvahetuse kordarv
 $n = L / V \text{ h}^{-1}$



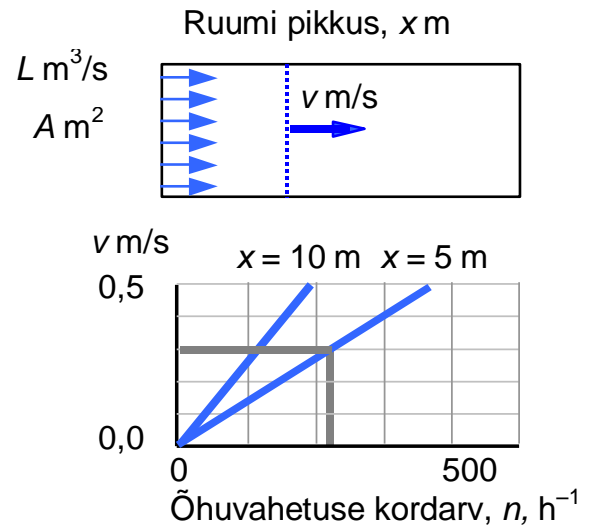
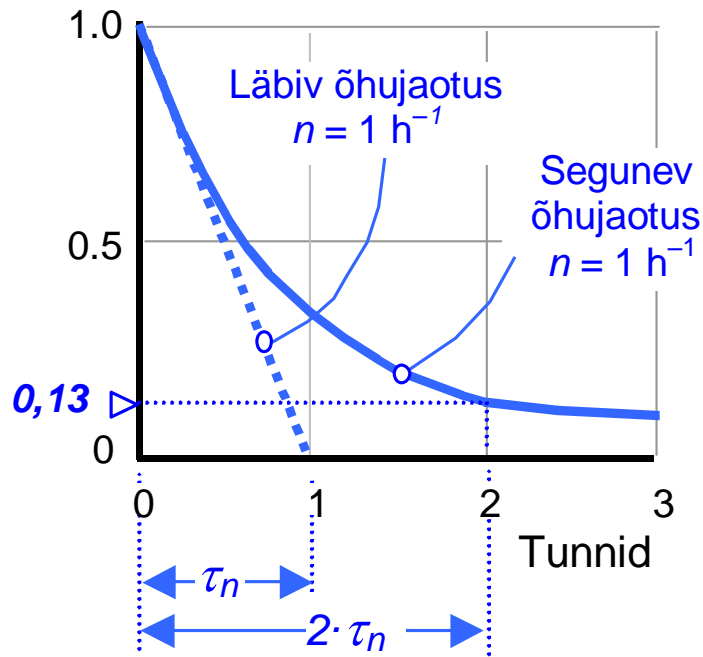
Ventilatsiooni efektiivsus

Saaste eemaldamise tõhusus

Õhu keskmine eluiga

Õhuvahetuse efektiivsus

Saaste kontsentratsioon
Saaste algkontsentratsioon



Vajaliku õhuvoolu hulga määrab üks järgnevast:

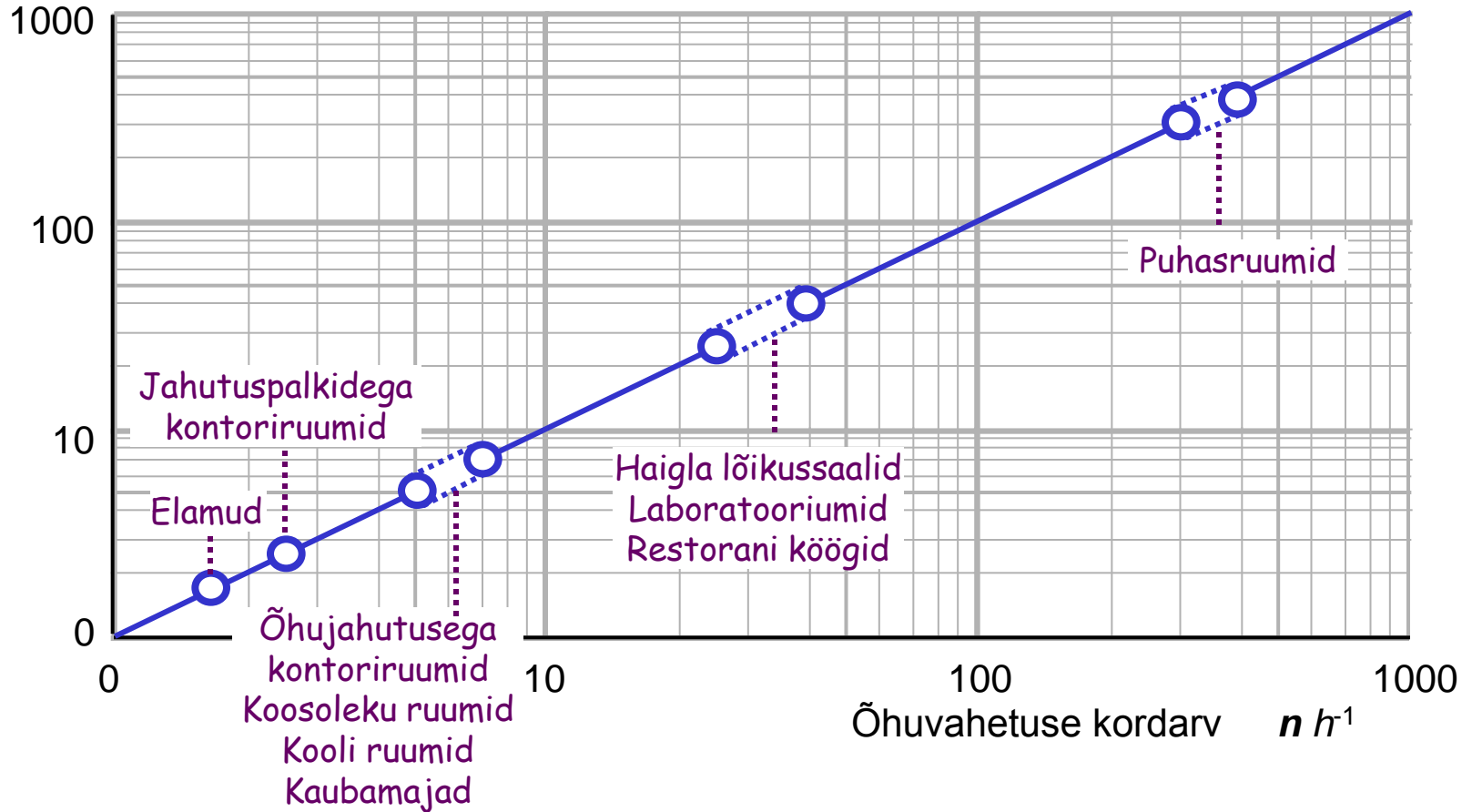
- hea õhukvaliteedi nõue, sõltuvalt inimeste tervisest ja heaolust;
- ruumiõhu temperatuuri ülemise piiri nõue;
- punktväljatõmmete õhuvooluhulk;
- spetsiaalsetest tegevustest ja protsessidest olenev õhu puhtuse nõue

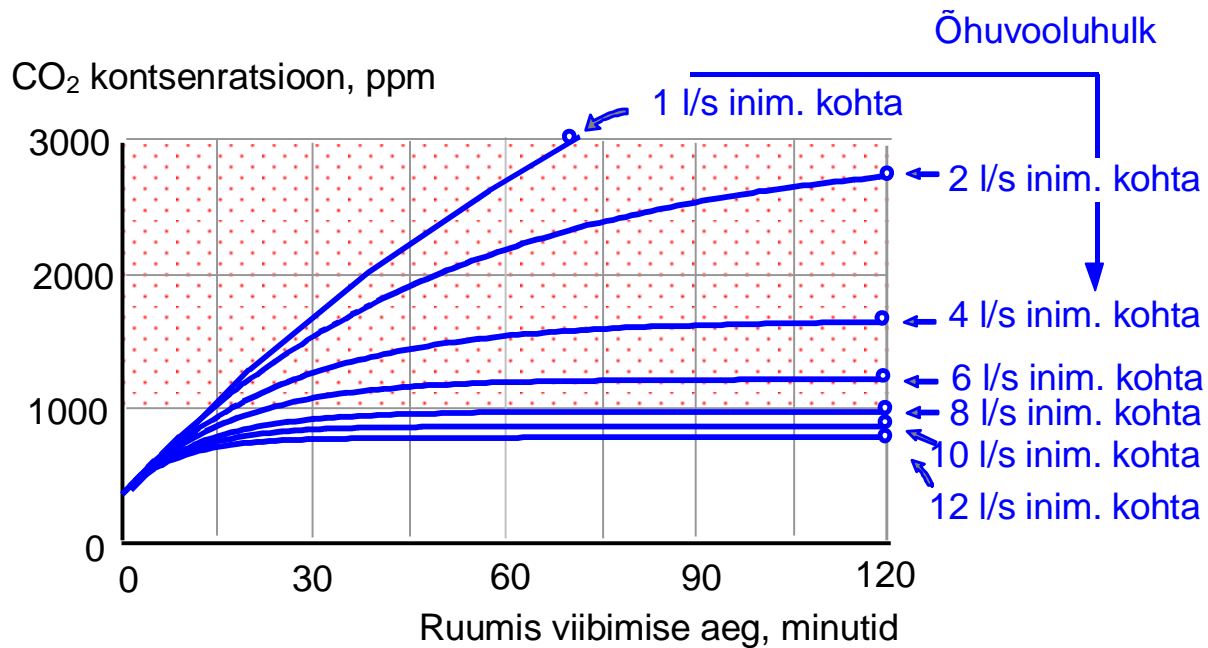
Vajalik õhuvooluhulk

Logaritmiline maastaap

Õhuvahetuse kordarv

$n h^{-1}$





Majanduslik väärtustamine

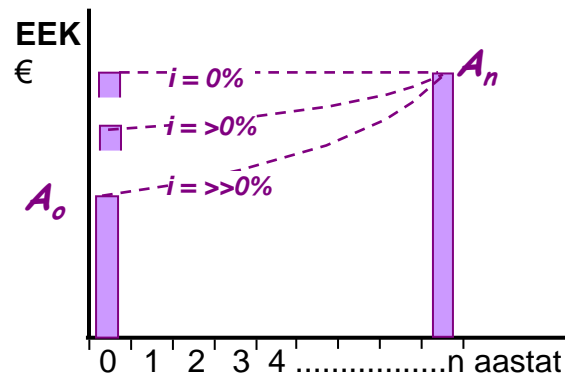
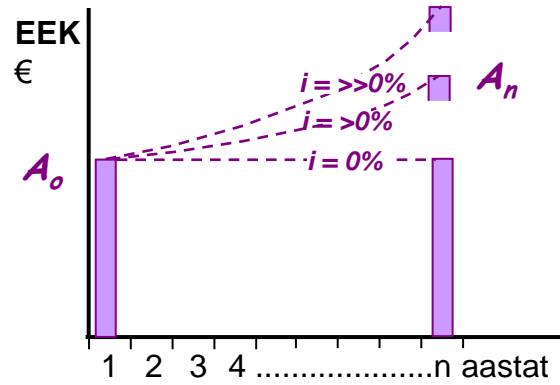
Eesmärk

1.

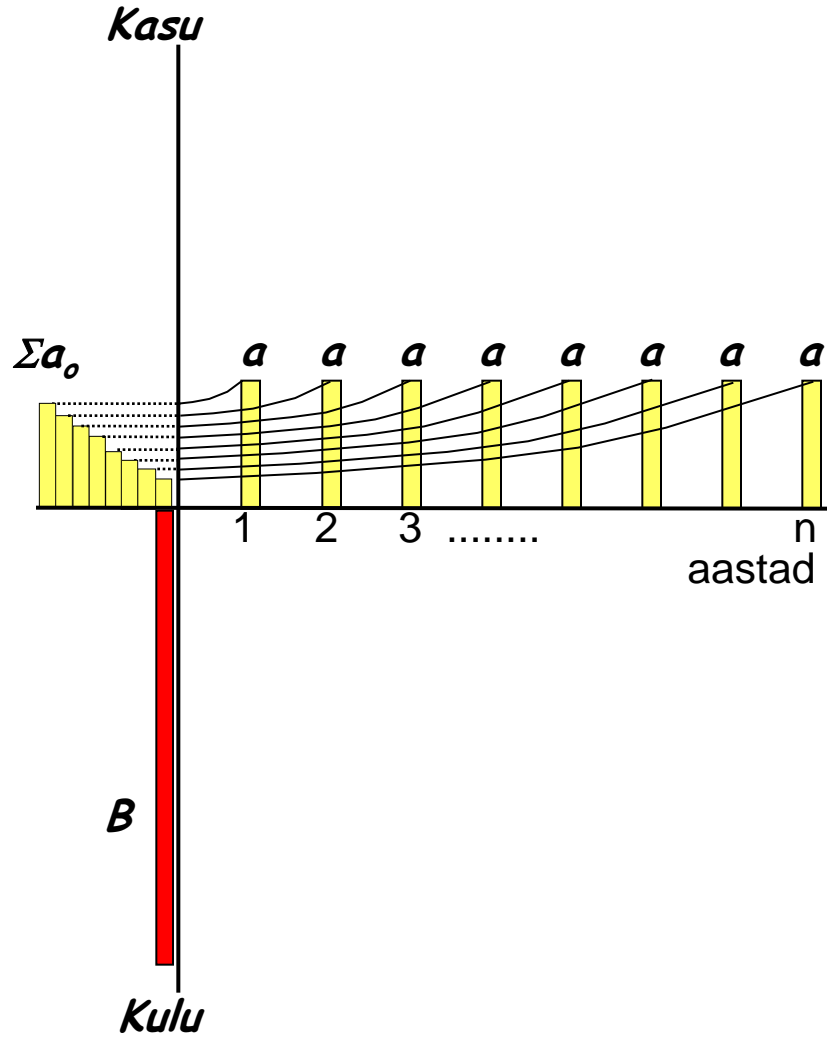
Põhjendada investeeringuid

2.

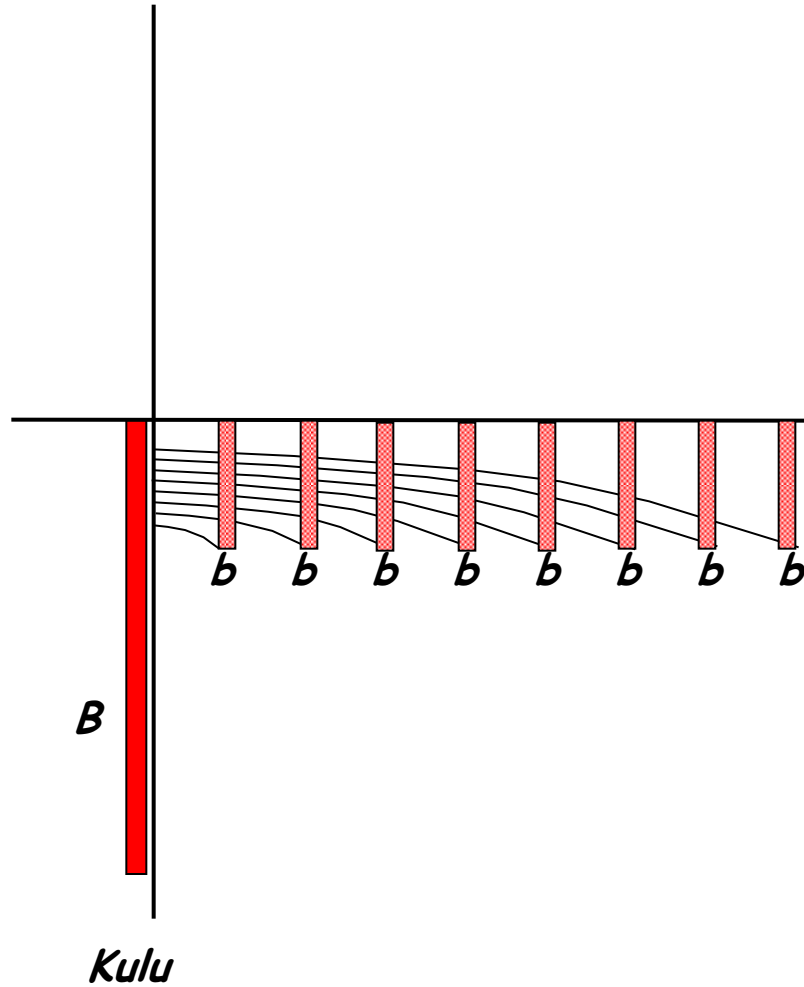
Optimeerida süsteeme ja komponente



Diskonteeritud väärtus



Kasu Kapitali aastakulu

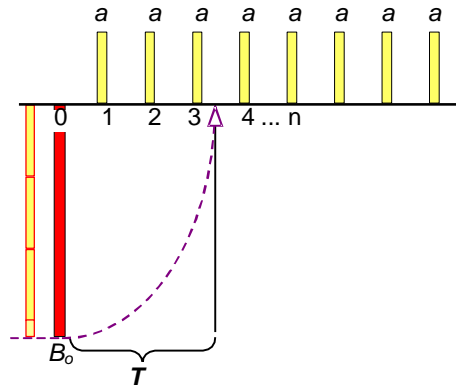


Investeeringu otsuse alus

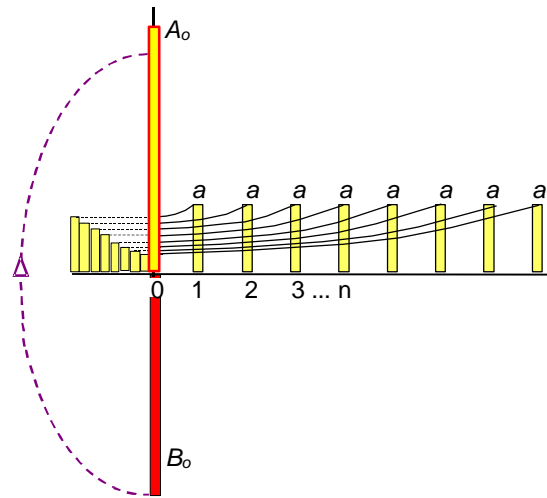
Tasuvusaja meetod
Nüüdsväärtuse meetod
Vordse aastamaksete meetod
Tulu sisenormi meetod

Investeeringuotsuse alused

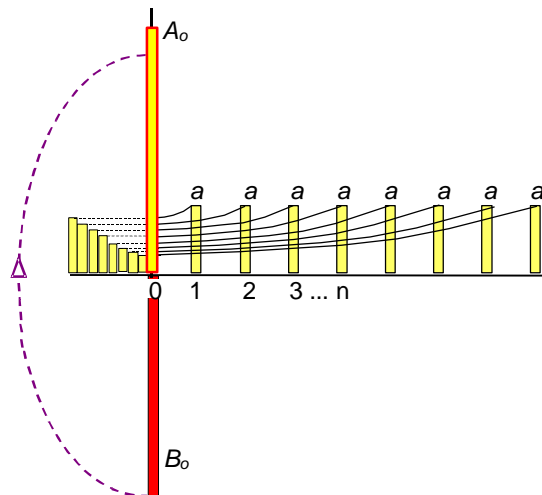
Tasuvusaja meetod



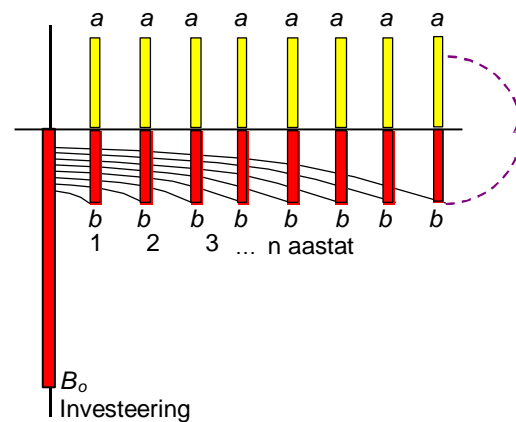
Nüüdisväärtuse meetod



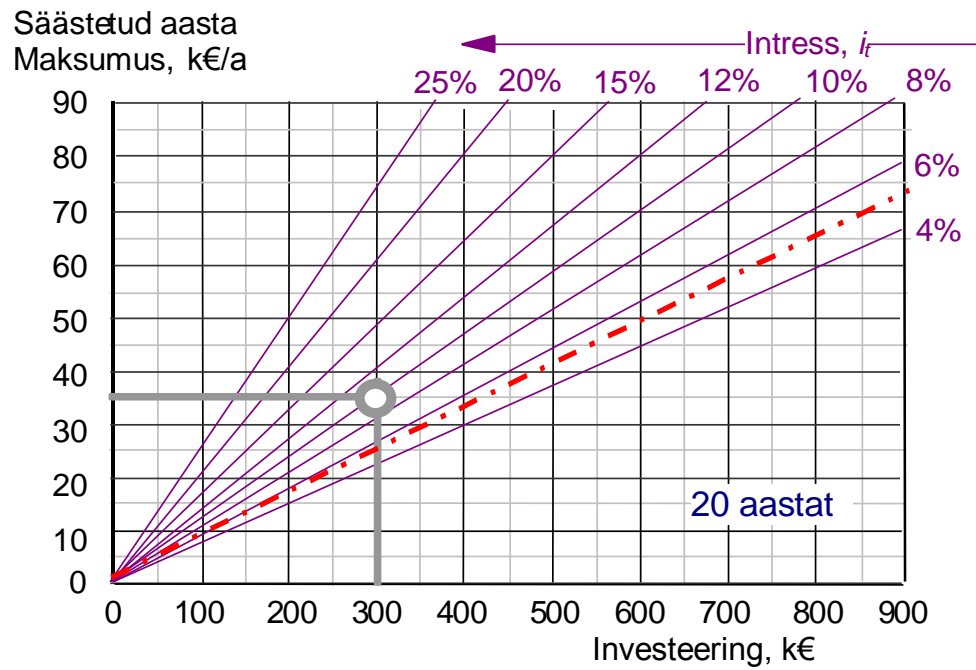
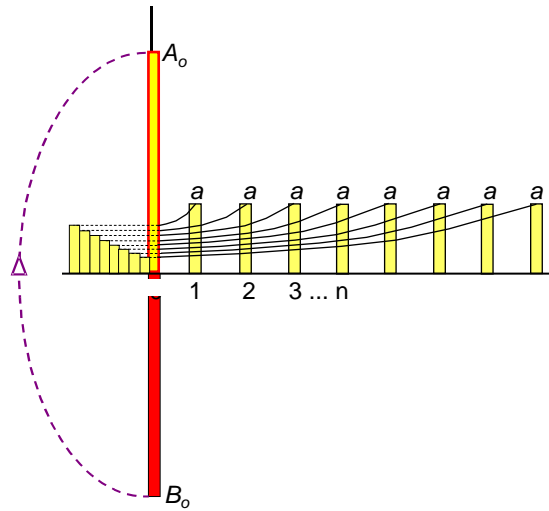
Nüüdisväärtuse meetod



Võrdsete aastamaksude meetod



Tuku sisenormi meetod

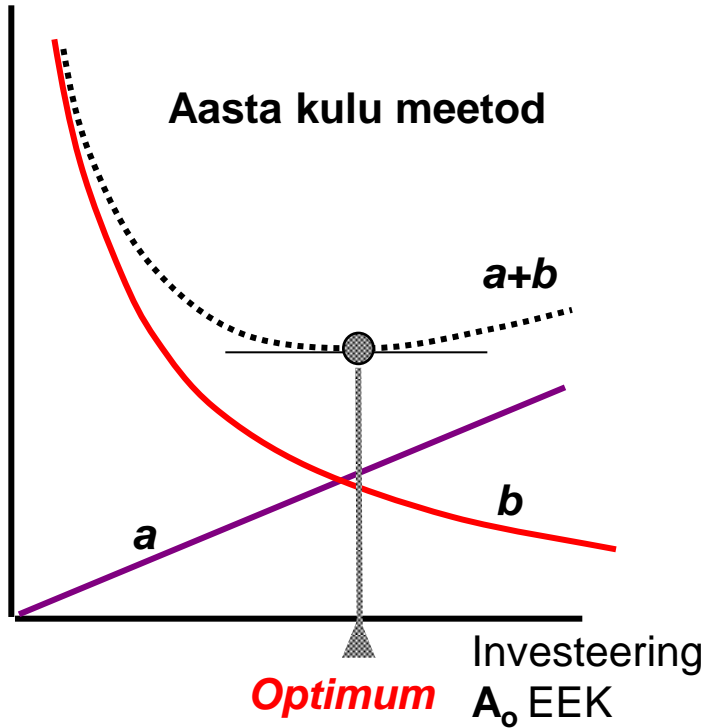


Optimeerimine

Aastakulu meetod
KMarginaalse kulu meetod
Eluea kulu LCC

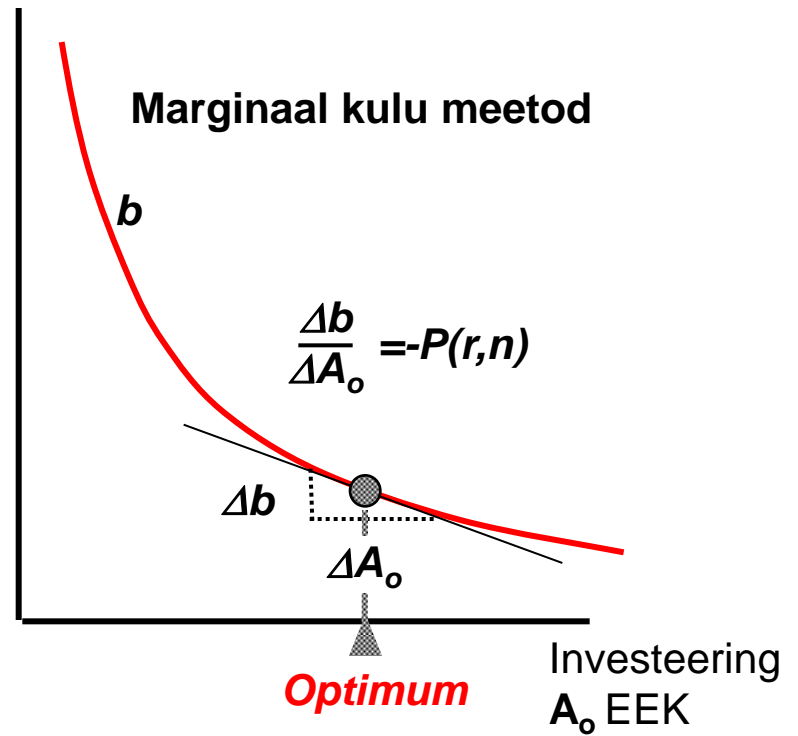
Optimeerimine

Aasta kulu
EEK/aastas



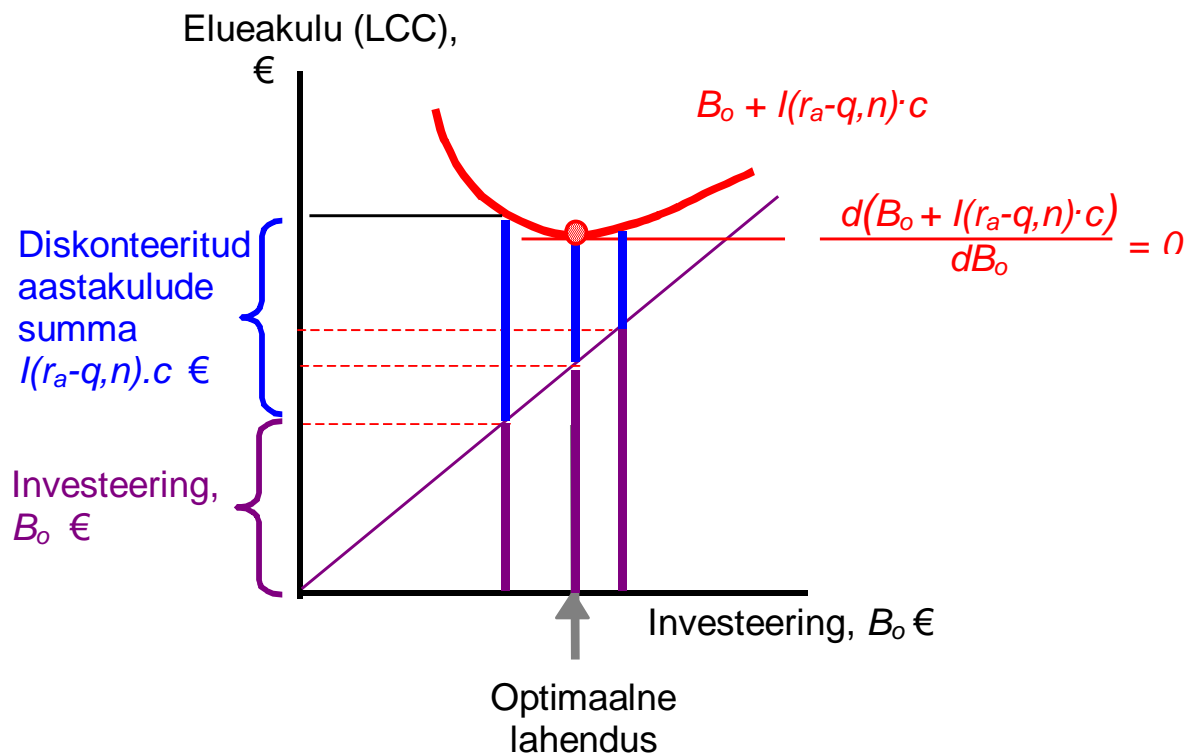
Terve hoone

Energiakulu
EEK/aastas



Hoone osa

Optimeerimine

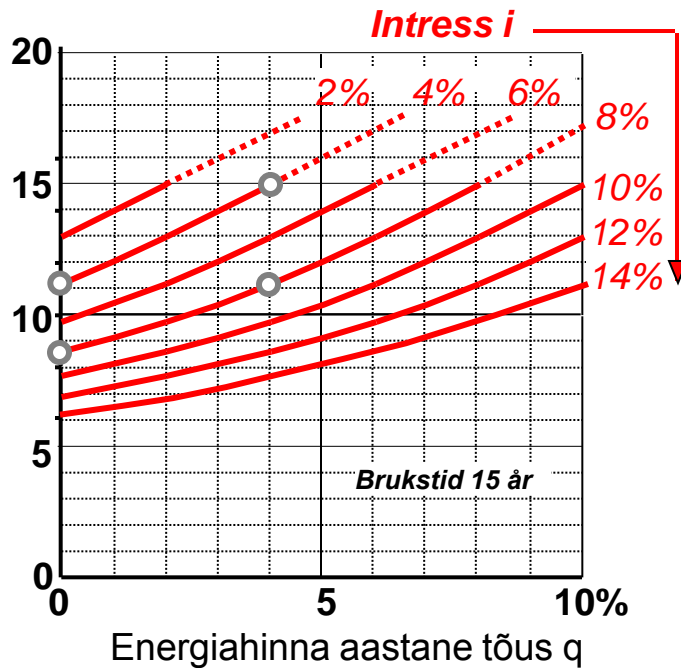


Investeeringu otsus

**Energia säästu väärtus
tänapäeva hinnaga**

100.000 EEK/aastas

Võimalik investeering Ao EEK
Energiasääst b EEK/aastas



Majanduslik investeering

Energia hinna tõus

0%

4%

Intress 4% 1.100.000 1.500.000

Intress 8% 900.000 1.100.000