

Keskkonnasoojuse rakendamine hoonetes

Alo Mikola
Tallinn Tehnikaülikool

2015



Sisekliima

- Sisekliima on ruumis valitsevate keemiliste ja füüsikaliste tegurite kogum
- Sisekliima mõjutab inimeste enesetunnet, tervist ja töövõimet



Sisekliima tegurid:

- Sisekliima hõlmab õhku ja suuremaid õhukeskkonna näitajaid
- Õhutemperatuur, kiirguspindade temperatuur, õhu suhteline niiskus, õhu liikumise kiirus, õhu puhtus, müratase, magnetväljad, ioonide tase ja valgustustihedus.
- Mõju avaldavad ka näiteks inimese liikumise aktiivsus, riietus, sugu ja vanus.



Õhu omadused

- Õhu koostis normaaltingimustel (760 mm Hg, 0 °C)
 - Lämmastik 78,1 %
 - Hapnik 20,95 %
 - Argoon 0,93 %
 - Süsihappegaas 0,03 %
- Niiske õhk on kuiva õhu ja veeauru segu
- Kehtivad ideaalgaaside segu seadused



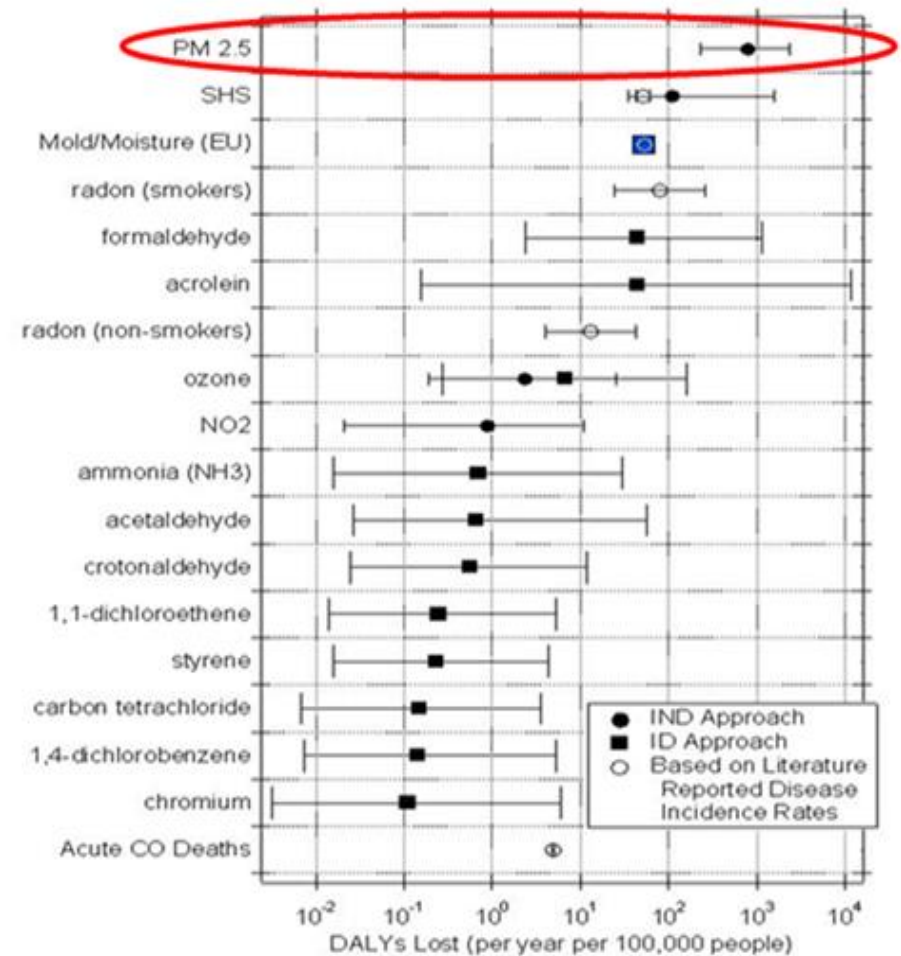
Õhu puhtus

- Lisaks õhu keemilisele puhtusele ei tohi seal olla lisaaineid:
 - erinevaid gaase ja auruksid
 - tolmu
 - baktereid
 - lõhnavaid aineid
- Viimase kümnendi uuringud näitavad, et eriti ohtlikud on õhus olevad peenosakesed (PM10, PM2.5, PM1.0)
- Peenosakesed kogunevad kopsu ja on kantserogeense mõjuga



Siseõhu peenosakesed

- **PM2.5, PM10** sees ja väljas
- Halvast siseõhu kvaliteedist kaotatud eluaastad (DYLY indeks)





Õhu soojuslik-niiskuslikud omadused

- Õhu temperatuur
- Suhteline niiskus(oluline on vahet teha õhu niiskussisalduse ja suhtelise niiskuse vahel)
- Õhu liikumise kiirus
- Operatiivne temperatuur

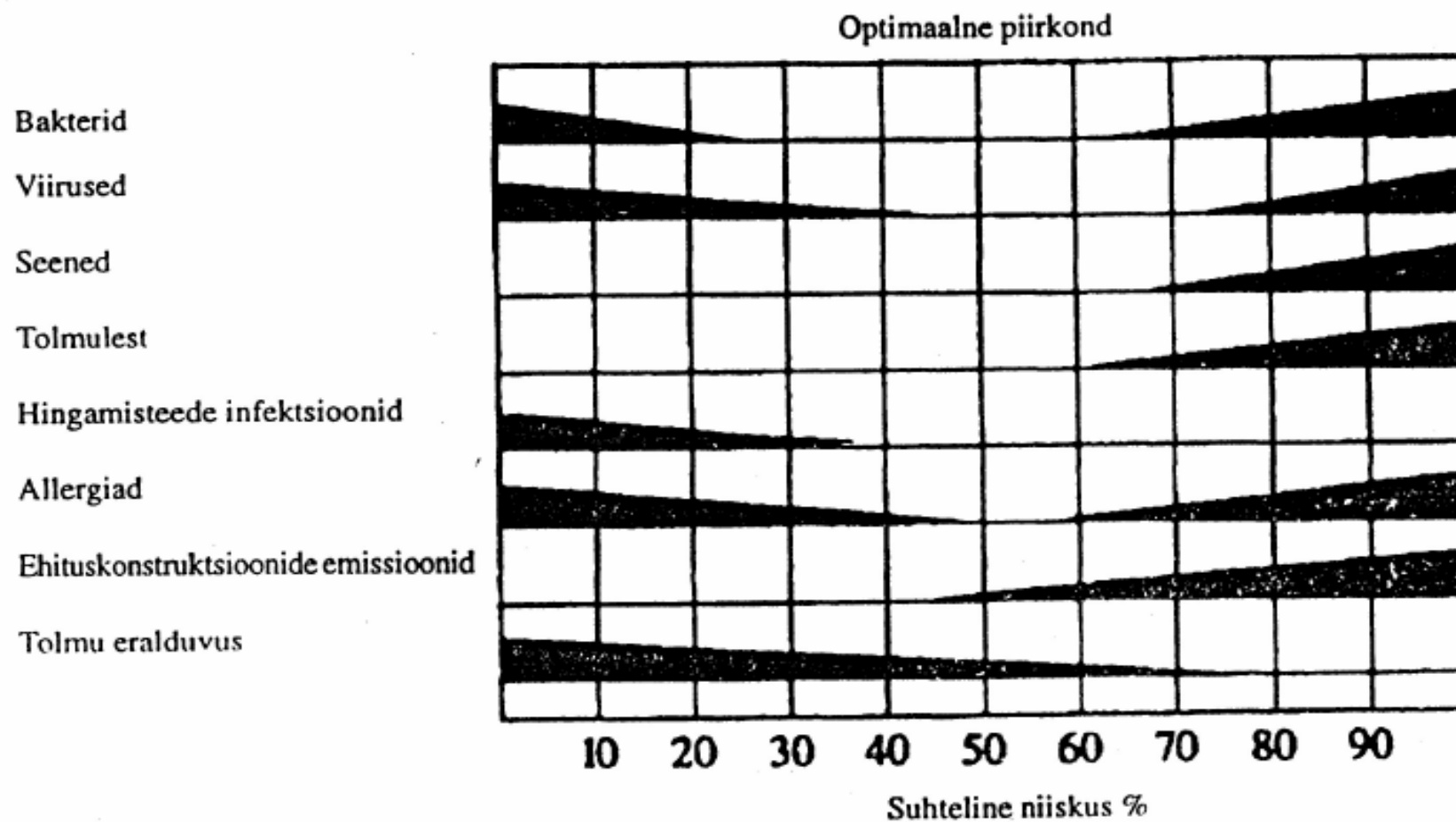


Õhuniiskus

- Õhuniiskuse tunnetuseks puudub otsene haistmismeel
- Alla 20 % RH mõjutab limaskestasid
- Mõjutab kahjulike ainete emissioone
- Liiga kõrge suhteline niiskus võib põhjustada hallitust, piirdetarindite kahjustumist

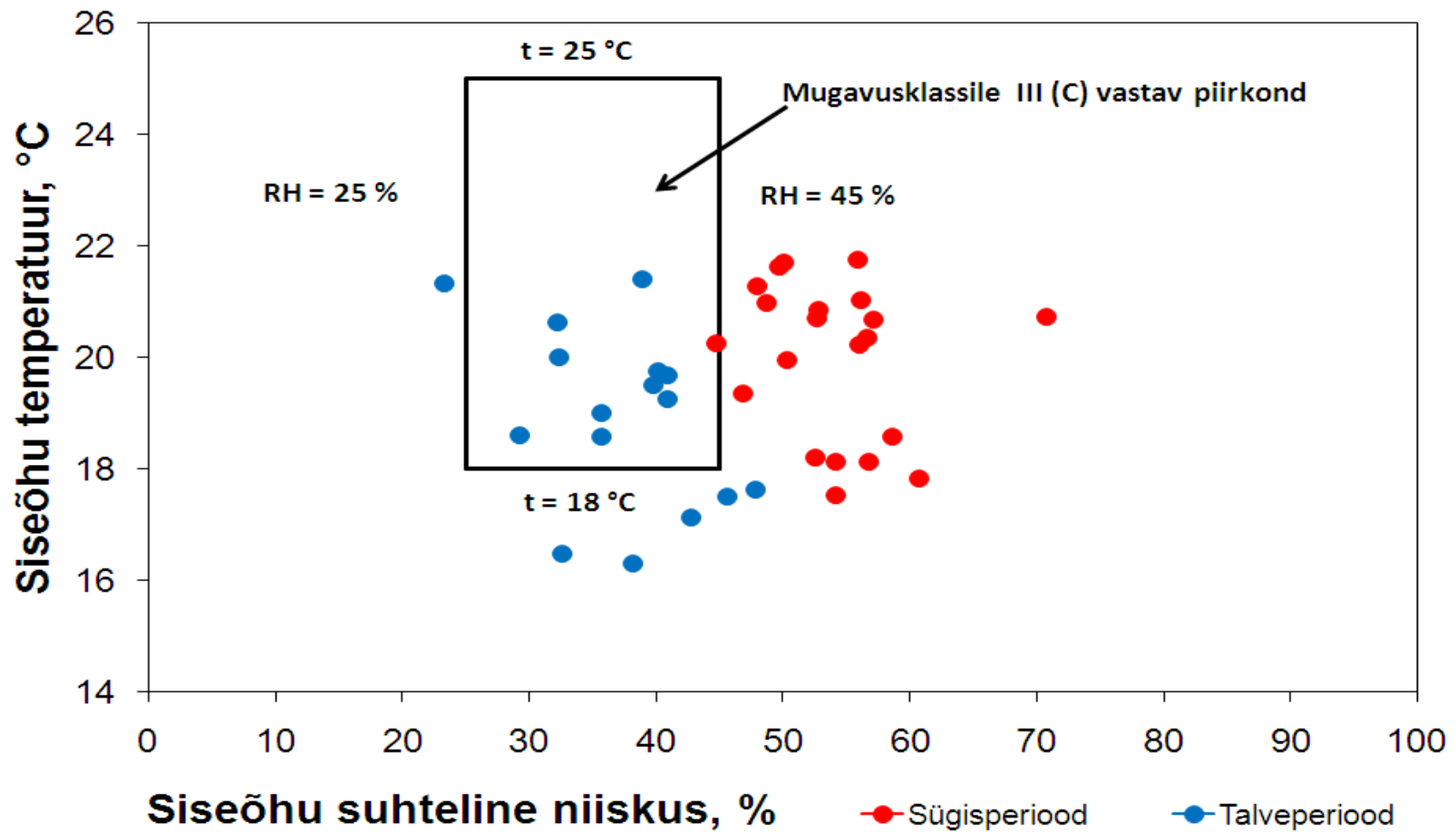


Suhteline niiskus





Siseõhu suhteline niiskus





Ruumiõhu kvaliteet

- Siseõhu kvaliteedi peamiseks hindamiskriteeriumiks on ruumiõhu CO₂ sisaldus
- Samas tuleb jälgida ka formaldehüüdide, tolmu, tubakasuitsu ja radooni taset.



Siseõhu CO₂ sisalduse hindamis- kriteeriumid

Sisekliima klass	Siseõhu CO ₂ sisaldus välisõhu tasemel 350 ppm, ppm		
	EVS-EN 15251	CR 1752	EVS 839(kehtetu)
I (A)	700	810	1000
II (B)	850	1010	1250
III (C)	1150	1540	1500

✓ *Välisõhu CO₂ sisalduseks on ca 350 ppm*

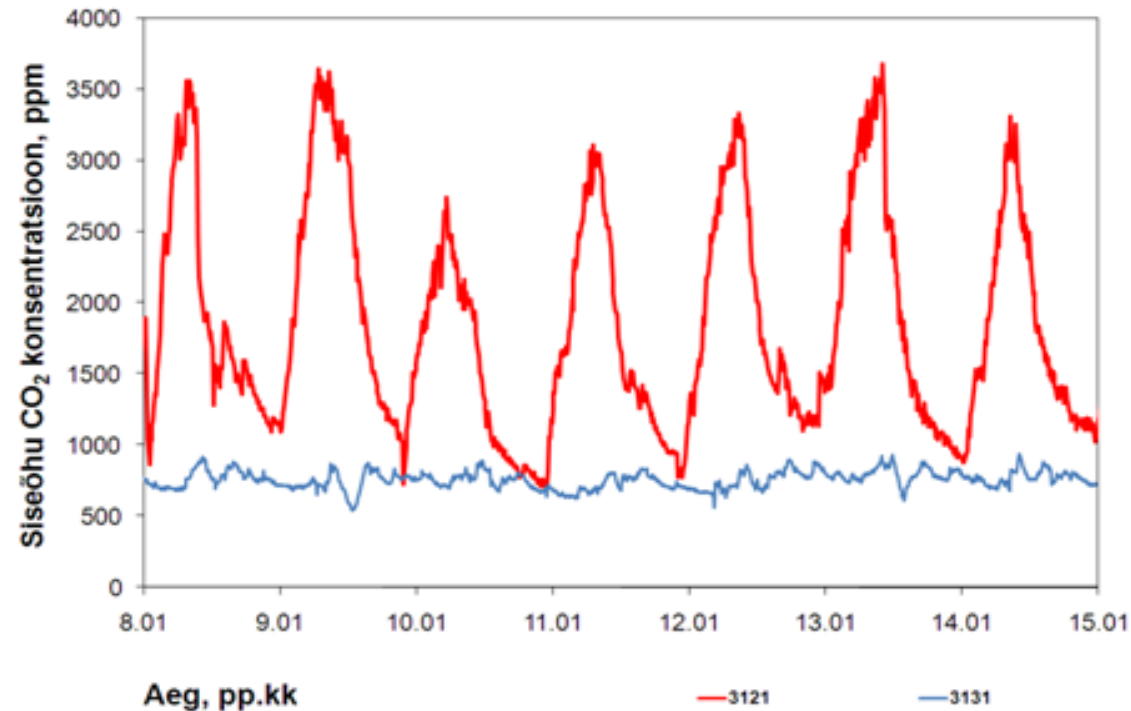


Sisekliima klasside kirjeldus (EVS-EN-15251)

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



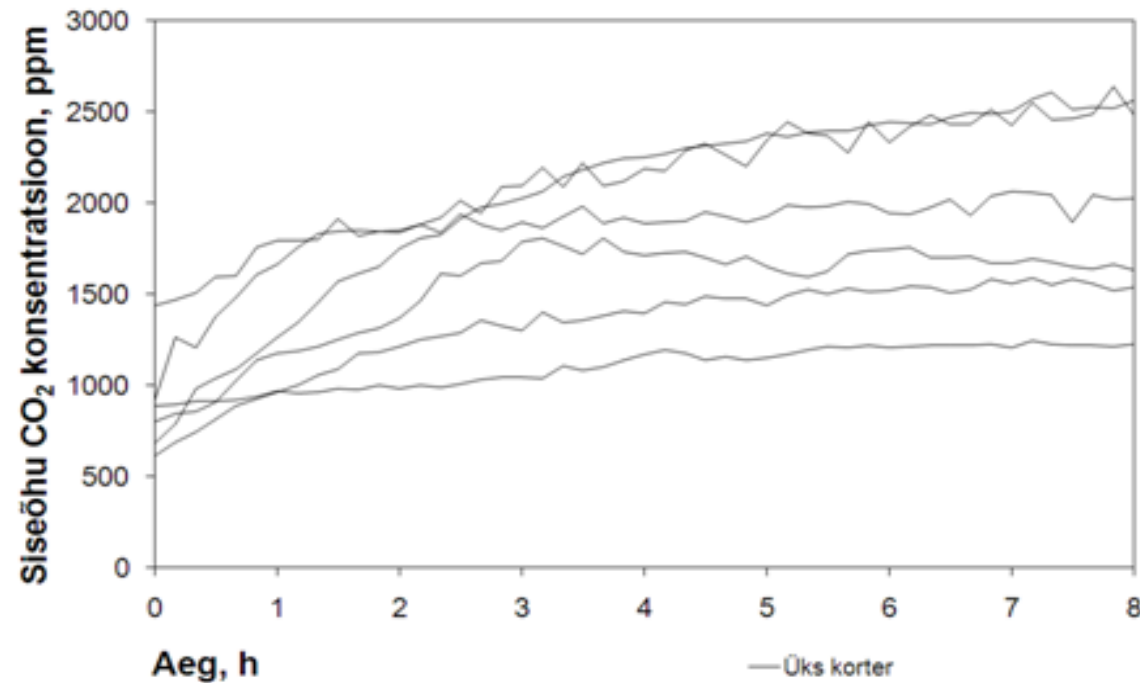
CO₂ konsentratsioonid erinevates korterites nädalapikkusel perioodil



Iseloomulikud perioodid!!!! Näide: Erinevates korterites varieerusid mõõtetulemused väga suurtes piirides.



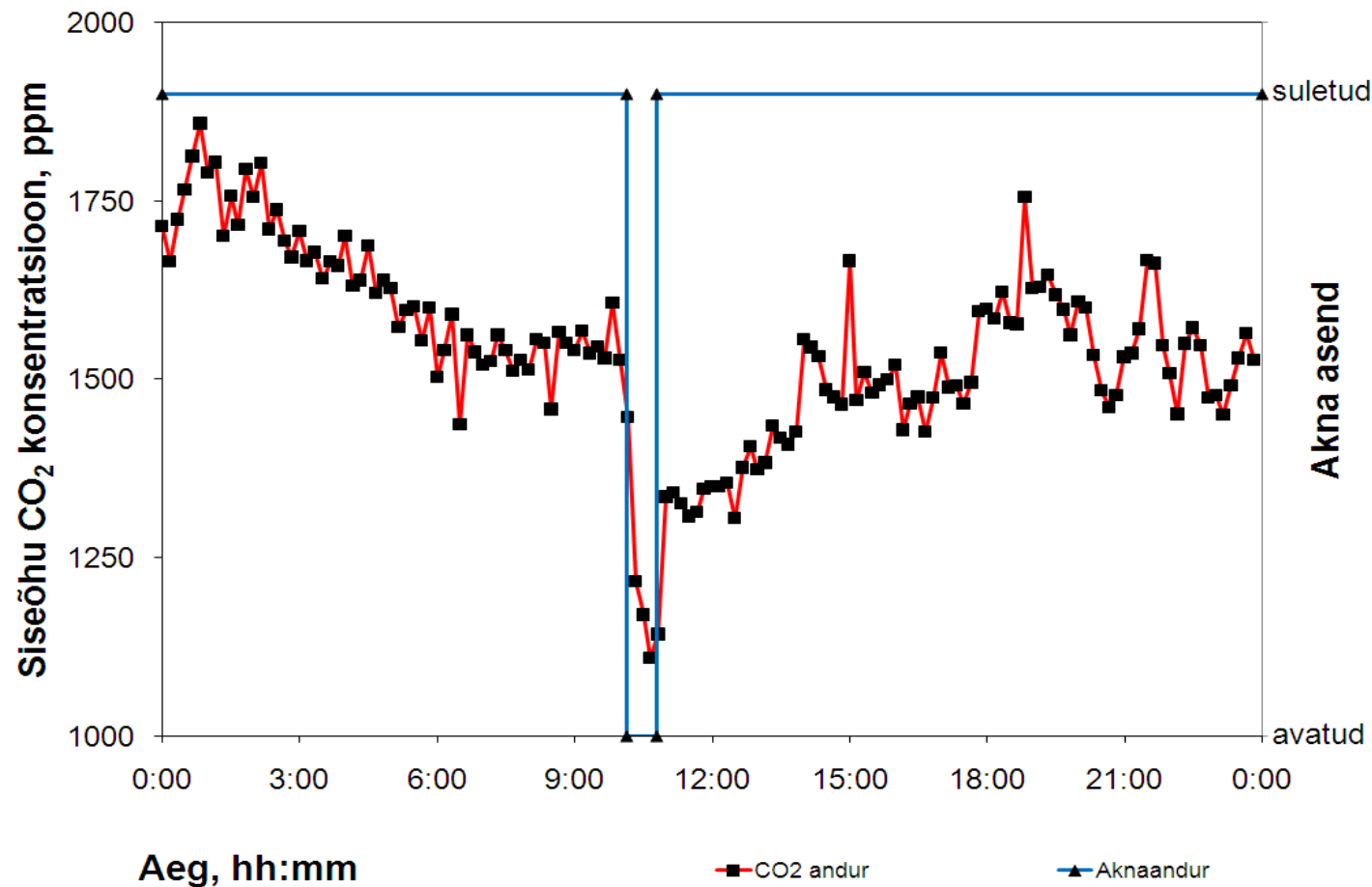
Ööperioodi tüüpilised CO₂ konsentratsiooni muutused



CO₂ konsentratsiooni muutused tulevad kõige selgemalt välja ööperioodi vältel.

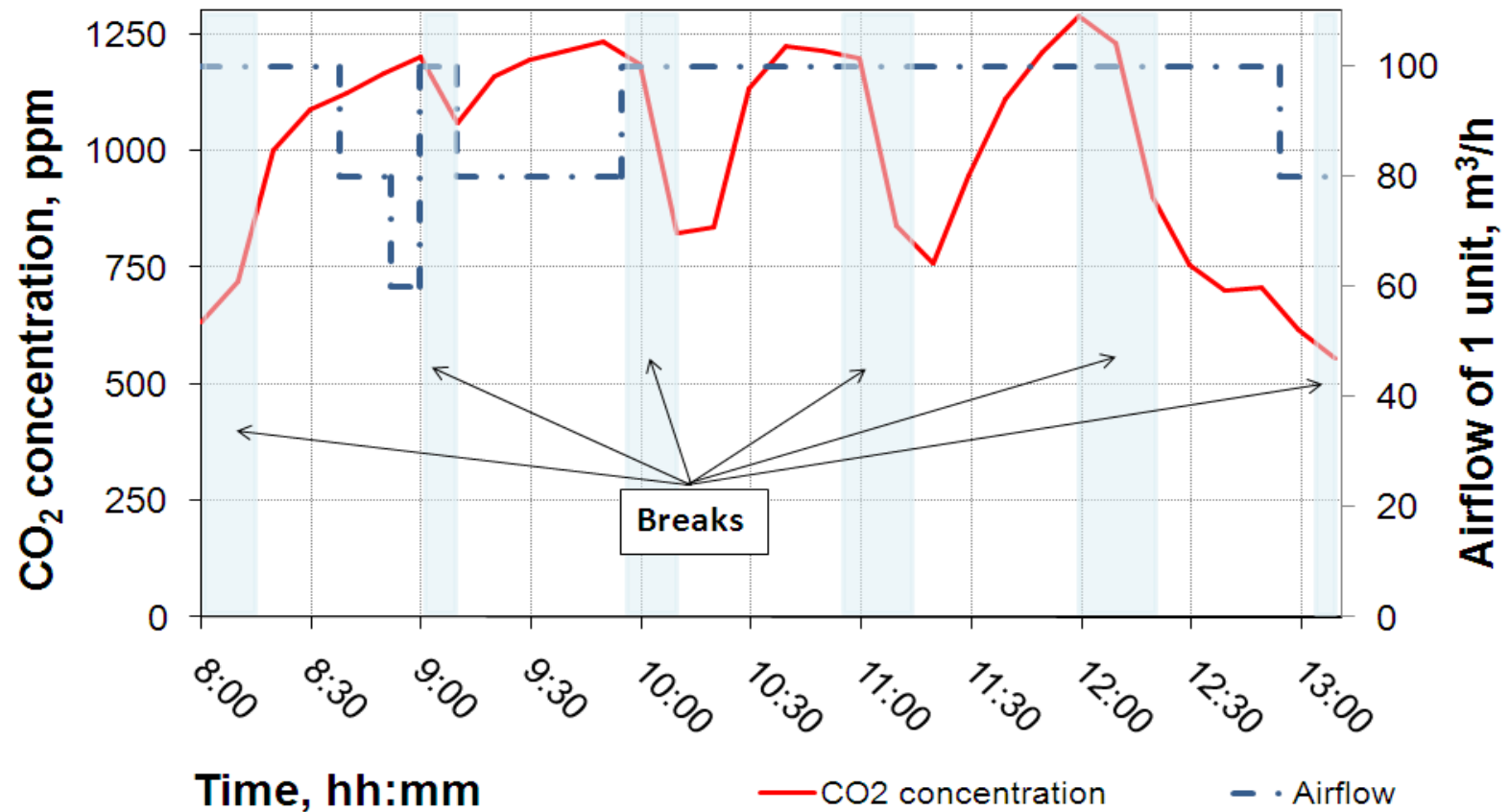


Näide CO₂ kontsentratsiooni muutustest ühe ööpäeva jooksul, aknaandur



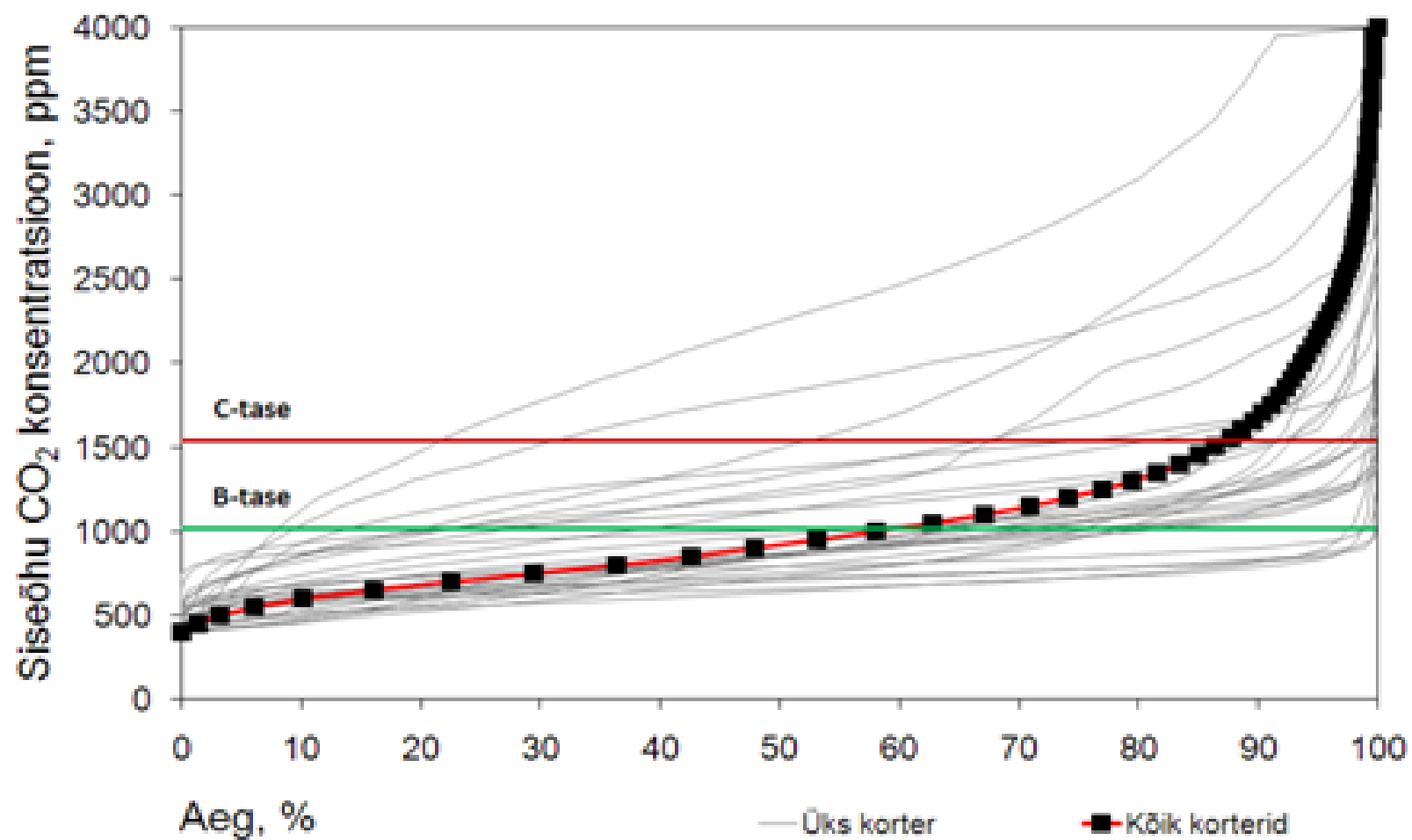


Klassiruum, näide



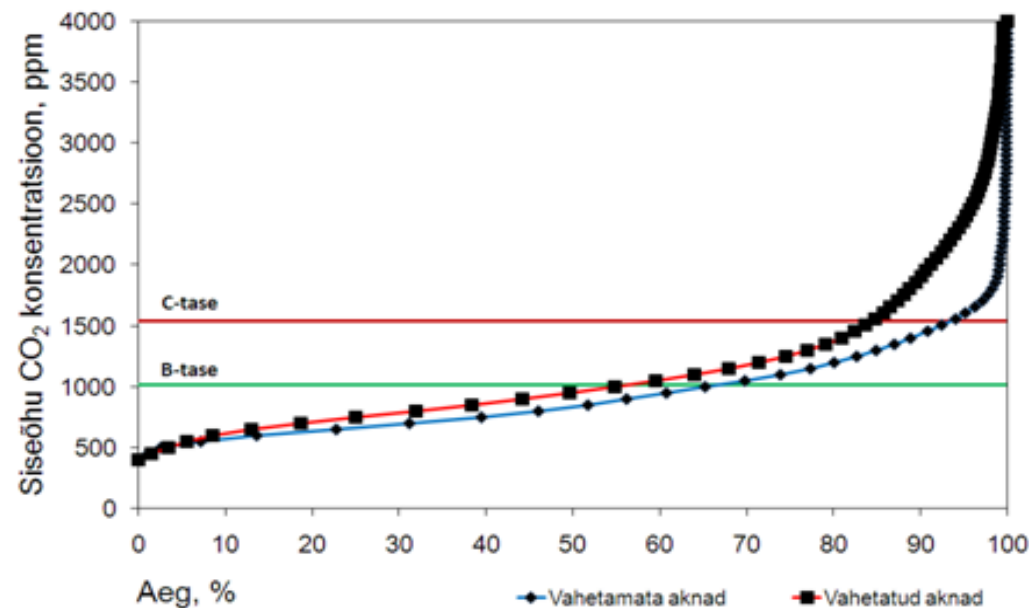


Kumulatiivne graafik





Akende vahetuse mõju, näide



Sisekliima klass	Tasemele vastavaid kortereid, %	
	Vanad aknad	Uued aknad
II (B)	22	15
III (C)	56	25



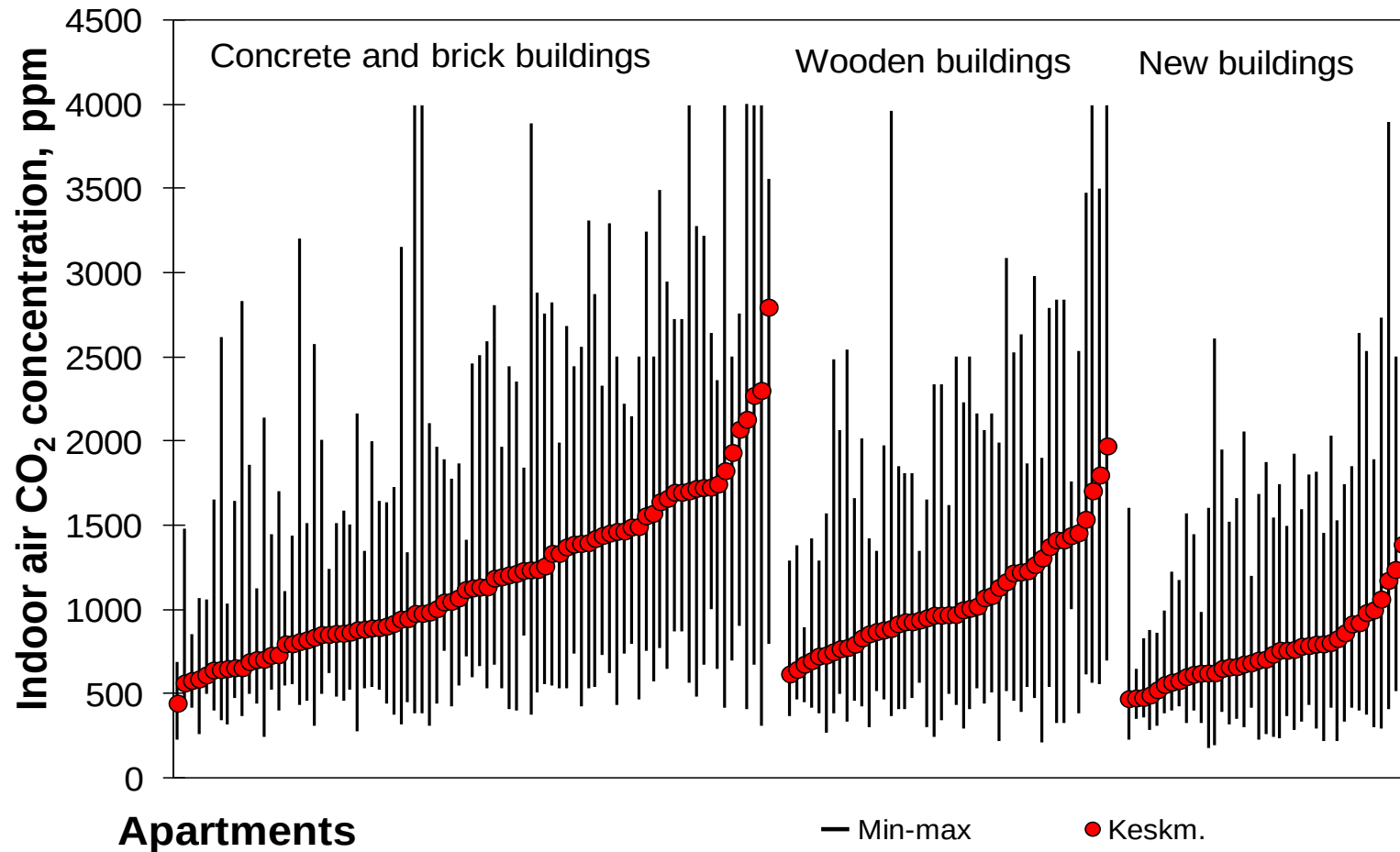
Lubatud kõrvalekalded

Hoone sisekliimat kujundavad parameetrid vastavad kindlaksmääratud klassile kui (EVS-EN 15251:2007):

Sisekliimat kujundavad parameetrid ei ületa kehtestatud sisekliima klasside vahemike väärtusi 95 %-lise hõivatusega alal mitte üle 3 % (või 5 %) kasutamise ajast tundides päevast, nädalast või aastast.

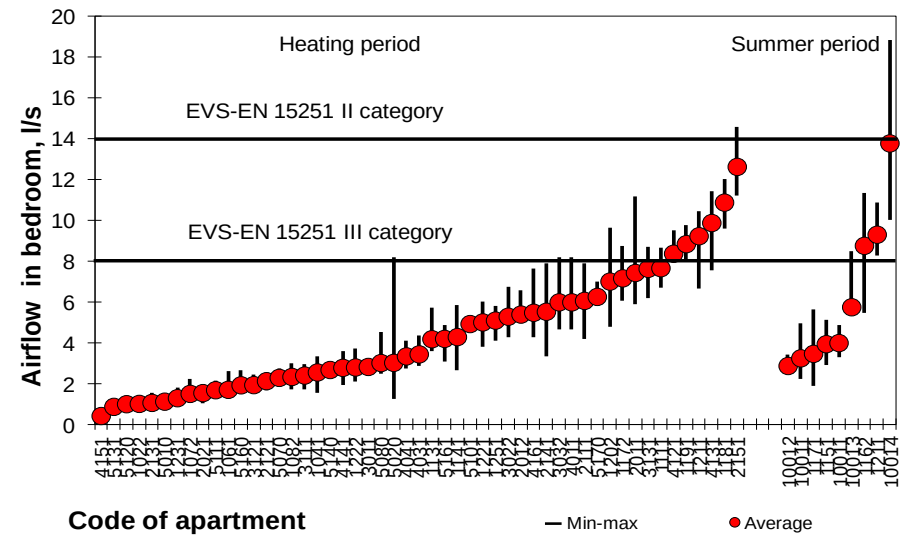
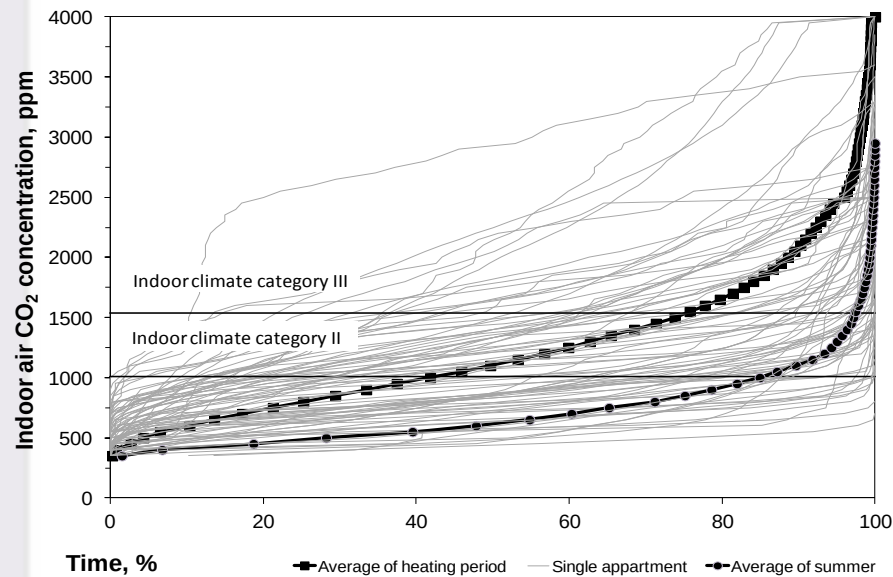


Siseõhu CO₂ sisaldus vastavalt uuringutele





Siseõhu kvaliteet ja ainevahetuslik CO₂ meetod



$$md\tau + LC_V d\tau - LC d\tau - VdC = 0.$$



Põhimõisted

■ Ventilatsioon

Seadmete ja meetmete kogum selleks, et õhuvahetuse abil saavutada ettenähtud sisekliima parameetrid (saavutatakse õhu puhtus)

■ Õhu konditsioneerimine

Seadmete ja meetmete kogum selleks, et luua sisekliima, kus temperatuur, õhu kvaliteet ja niiskus on inimesele optimaalsed (saavutatakse soovitud sisekliima parameetrid)



Põhimõisted

- **Õhu konditsioneerimine haarab:**

- Õhu soojendamist
- Õhu jahutamist
- Õhu niisutamist
- Õhu kuivatamist
- Õhu puhastamist

- **Ventilatsioon haarab:**

- Õhu talvist soojendamist
- Õhu puhastamist



Põhimõisted

- Õhu konditsioneerimine tagab järgmised sisekliima parameetrid:
 - Siseõhu temperatuur
 - Niiskussisaldus
 - Õhu puhtus



Põhimõisted

- **Kastepunkti temperatuur**

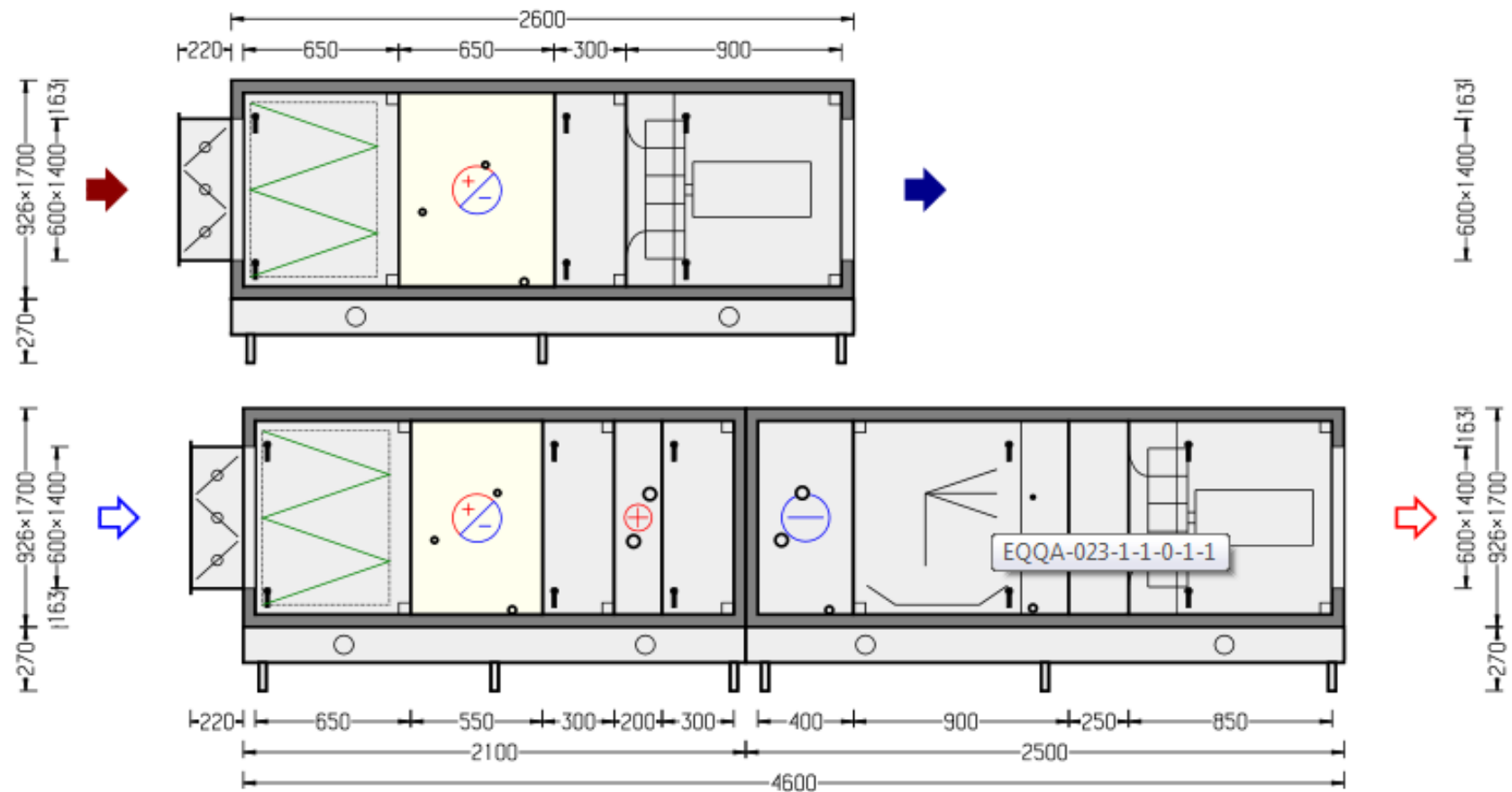
Näitab veeaurudega küllastamata niiske õhu sellist temperatuuri, milleni õhk tuleb samal niiskussisaldusel jahutada, et see oleks küllastunud veeaurudega

- **Õhukonditsioneer**

Seade, mis realiseerib õhu konditsioneerimisel kasutatavad õhu töötlemise viisid



Õhukonditsioneer





Ventilatsiooni ülesanne

- Tervisliku ja mugava sisekliima loomine
- Tehnoloogiliste protsesside eelduste loomine (“puhtad ruumid”)
- Ruumiõhu saasteainete sisalduse hoidmine mõistlikul (tervisele ohutul) tasemel
- Vahel seotud ka ruumide kütmise ja/või jahutamisega



Ventilatsioonisüsteemide liigitus I

■ Õhuvahetuse põhjustaja järgi:

- loomulik ventilatsioon
- sundventilatsioon

■ Süsteemi individuaalsuse järgi:

- ühised (tsentraalsed) süsteemid hoone osadele või hoonele
- lokaalsed

■ Reguleeritavuse järgi:

- Konstantse õhuvooluhulgaga süsteemid (nn CAV)
- Muutuva õhuvooluhulgaga süsteemid (nn VAV)



Ventilatsioonisüsteemide liigitus II

■ **Õhuvahetuse skeemi järgi:**

- Üldvahetuslik (läbiv, segunev, tõrjuv, kihistuv, tsonaalne)
- kohtventilatsioon

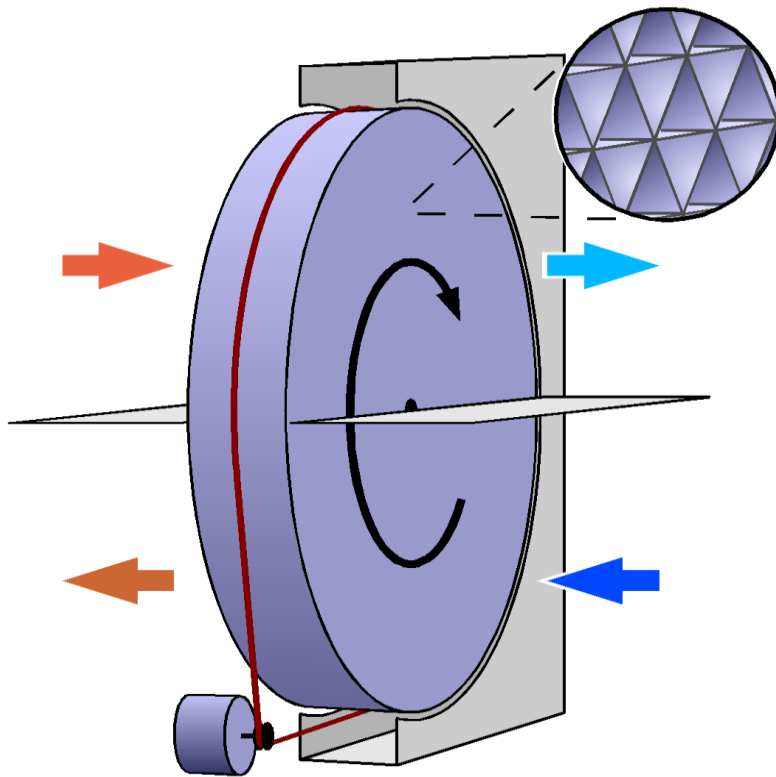


Soojustagastid

- Regeneratiivsed (0,7 – 0,9)
- Rekuperatuuvsed
- Rootorsoojustagati
- Plaatsoojustagasti
 - Ristivoolu plaatsoojustagasti (0,5 – 0,6)
 - Vastuvoolu plaatsoojustagasti (0,8)
- Vahesoojuskandjaga soojusagasti (0,4 – 0,55)
- Soojuspumbal baseeruv soojustagasti



Soojustagastid



Rootorsoojustagasti

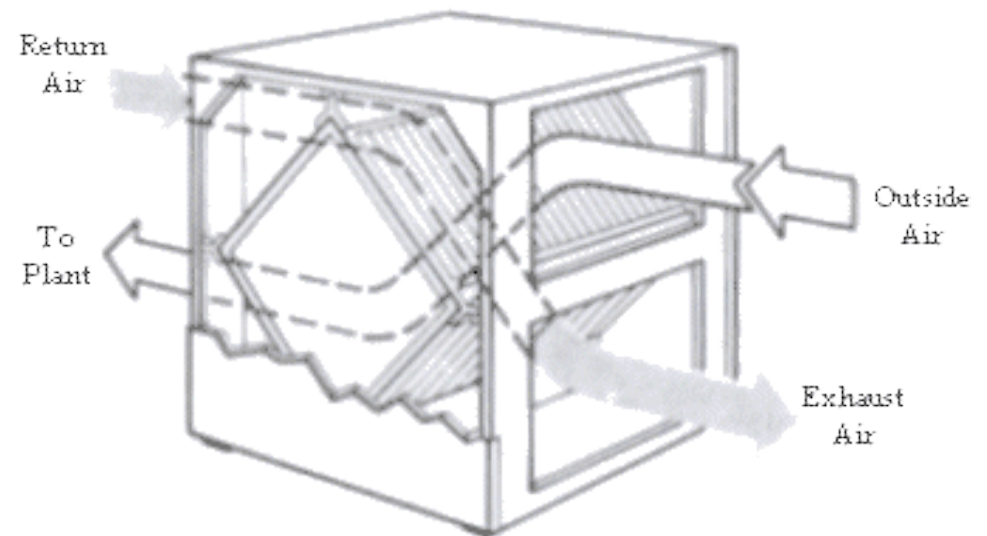
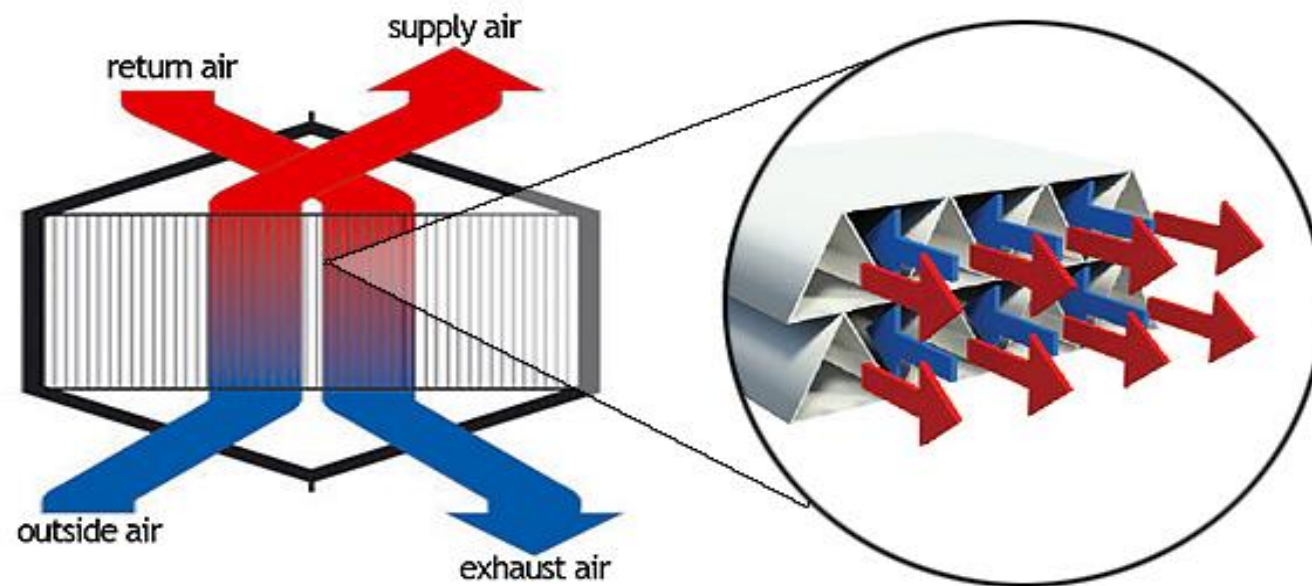


Plate Type Heat Exchanger

*Ristivoolu
plaatsoojustagasti*



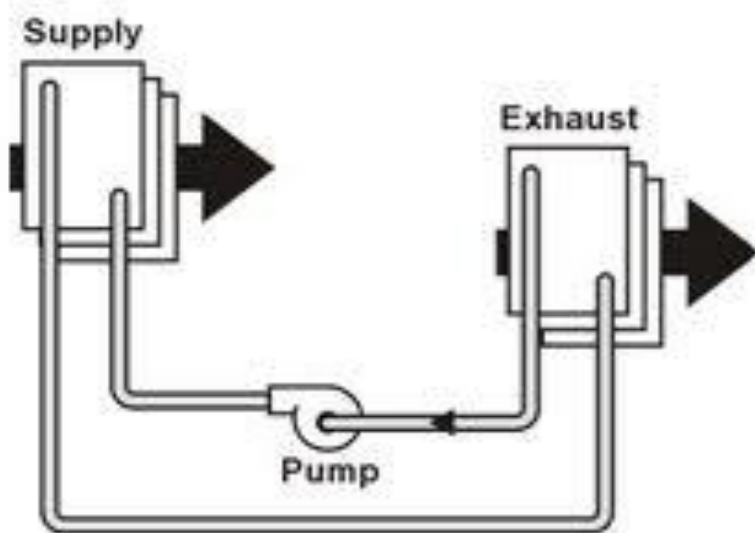
Soojustagastid



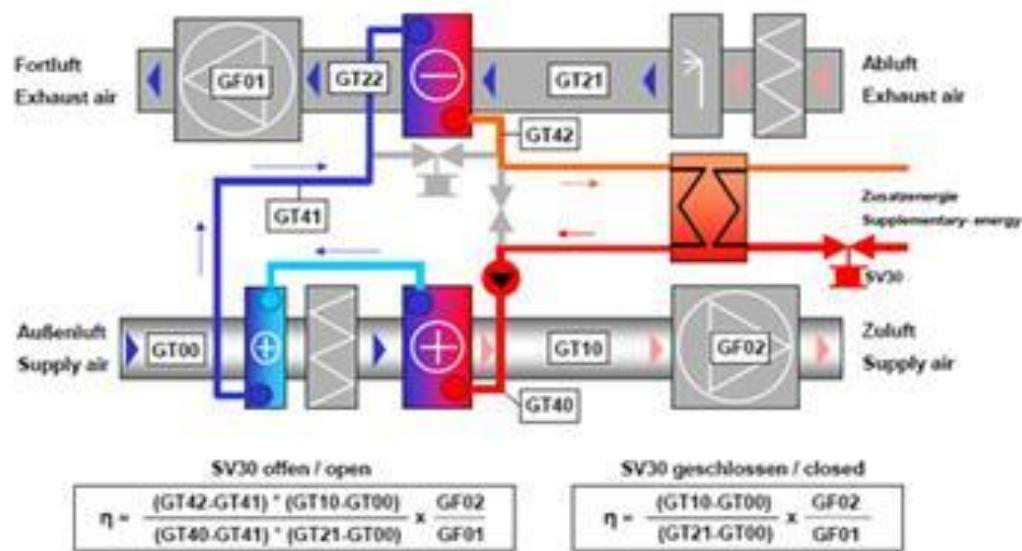
Vastuvoolu plaatsoojustagasti



Soojustagastid



*Vahesoojuskandjaga
soojustagasti*



*Econet vahesoojuskandjaga
soojustagasti*



Soojustagastid



*Soojuspumbal baseeruv
soojustagasti*



Soojustagasti valiku alused

- Maksimaalne võimalik kasutegur
- Maksimaalne võimalik aastane energiatagastuse suhtarv
- SP ja VT õhuvooluhulkade segunemise lubatus
- Konstruktiivsed võimalused



Soojustagasti efektiivsus

- Soojustagastite puhul räägitakse temperatuuri ja niiskusülekanne ja kogusoojuse entlpiia suhtarvudest
- Temperatuuri suhtarv:

$$\eta = \frac{t_{PT}^{SP} - t_{ET}^{SP}}{t_{ET}^{VT} - t_{ET}^{SP}}$$

- Niiskusülekanne suhtarv:

$$\eta = \frac{x_{PT}^{SP} - x_{ET}^{SP}}{x_{ET}^{VT} - x_{ET}^{SP}}$$



Soojustagasti efektiivsus

- Kogu soojuse entalpia suhtarv:

$$h = \frac{h_{PT}^{SP} - h_{ET}^{SP}}{h_{ET}^{VT} - h_{ET}^{SP}}$$

- ET- enne soojustagasti
- PT – peale soojustagastit

- Energia tagastamise suhtarv:

$$\eta_Q = 1 - \frac{\text{Aastane soojusvajadus soojustagastiga}}{\text{Aastane soojusvajadus ilma soojustagastita}}$$



Mis seade on soojuspump?

- Soojusenergia võib suunduda külmemalt termodünaamiliselt kehalt kuumemale külmamasina või soojuspumba abil, kuid selleks tuleb teha tööd (tegu ei ole igiliikuriga)
- Külmamasin või soojuspump toimivad seega soojusvõimendina
- Seadme nimetus sõltub sellest, kas oluline on eraldada ruumist sooja (külmamasin) või toota ruumi sooja (soojuspump).

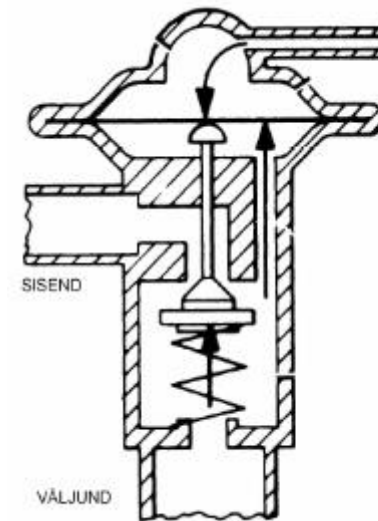


Soojuspumba põhiosad

- Soojuspump koosneb neljast põhiosast:
 - kompressor
 - välisosa, kütmisrežiimis on välisosa aurustiks ja jahutusrežiimis kondensaatoriks
 - siseosa, kütmisrežiimis on siseosa kondensaatoriks ja välisosa aurustiks
 - paisventiil



Kompressor



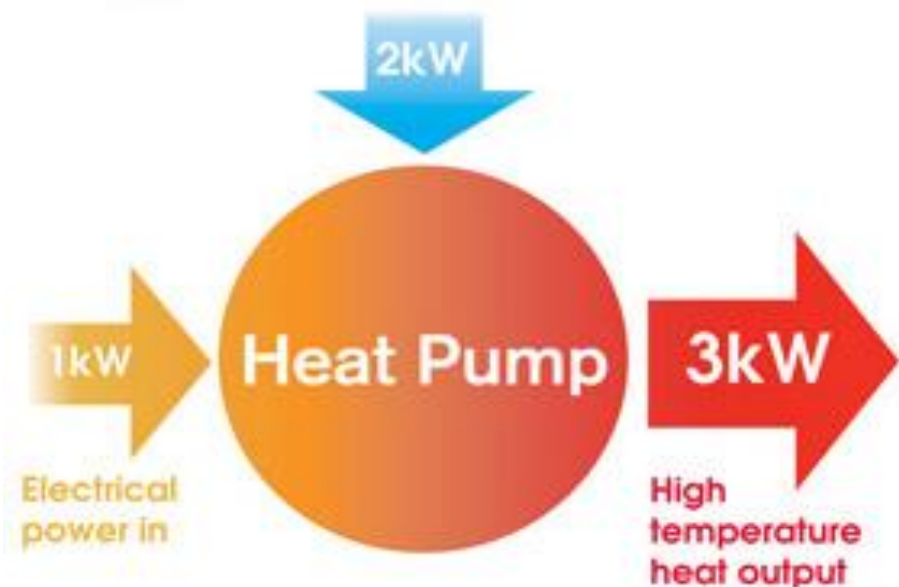
Paisventiil





Soojuspumba COP

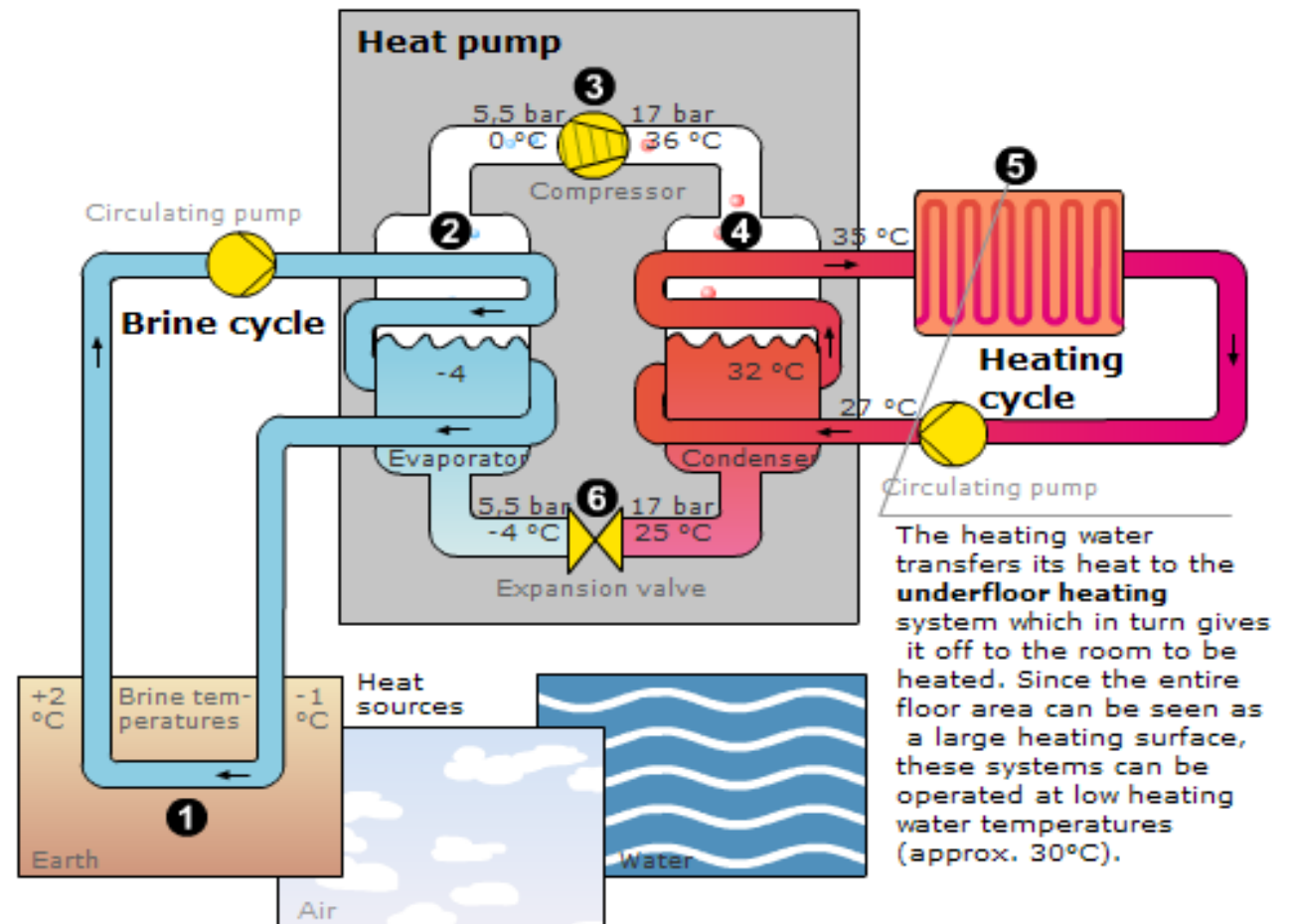
- Soojuspumba soojustegur “3” tähendab seda, et 3 kWh soojus saamiseks kulub 1 kWh elektrienergiat ja 2 kWh energiat saadakse ammutatavast keskkonnast.
- Soojustegur (**COP_{SP}**) (coefficient of performance)
- Jahutustegur (**COP_{JAH}**)





Soojuspumba töötükkel

- 1 - primaarpoole vedelik
- 2 - aurusti
- 3 - kompressor
- 4 - kondensaator
- 5 - küttesüsteem
- 6 - paisventiil





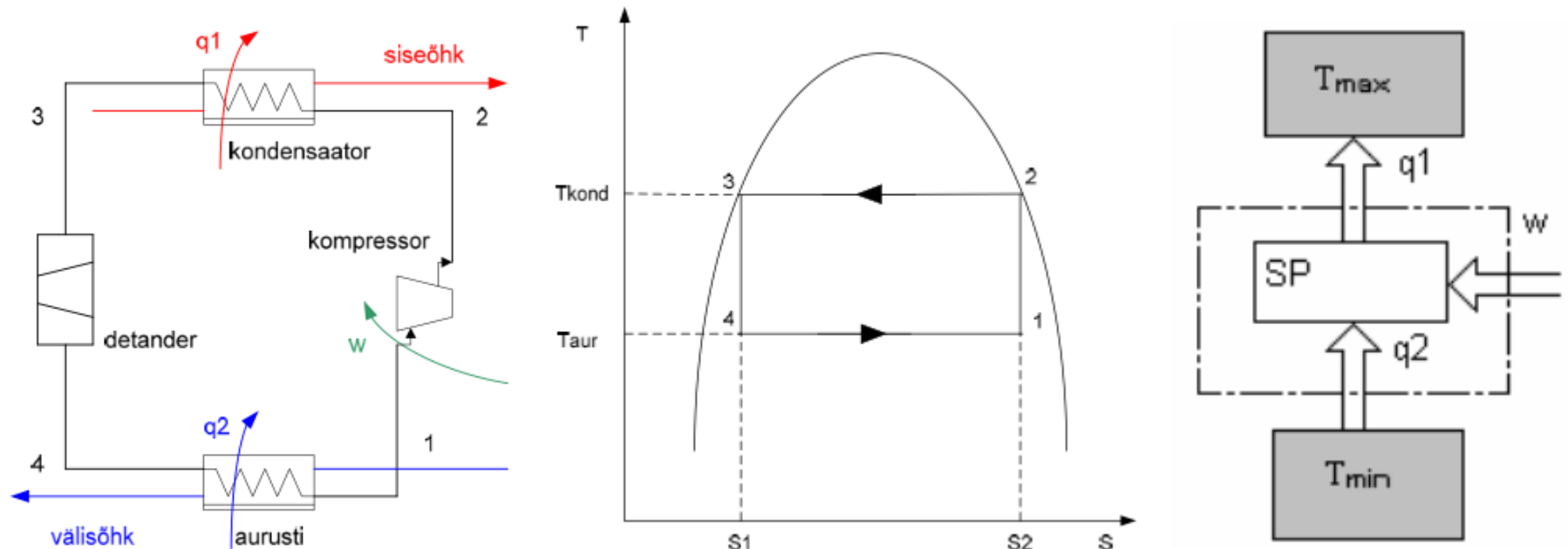
Soojustransformaatorid

- Soojuse transformatsiooniks nimetatakse soojuse ülekandmist madalama temperatuuriga termodünaamiliselt kehalt kõrgema temperatuuriga termodünaamilisele kehale
- Soojuse transformeerimise seadmed kannavad soojustransformaatori nime
- Vastavalt termodünaamika teisele seadusele võib soojuse transformatsioon toimuda ainult välise energia või soojuse arvel



Carnot' pöördringprotsess

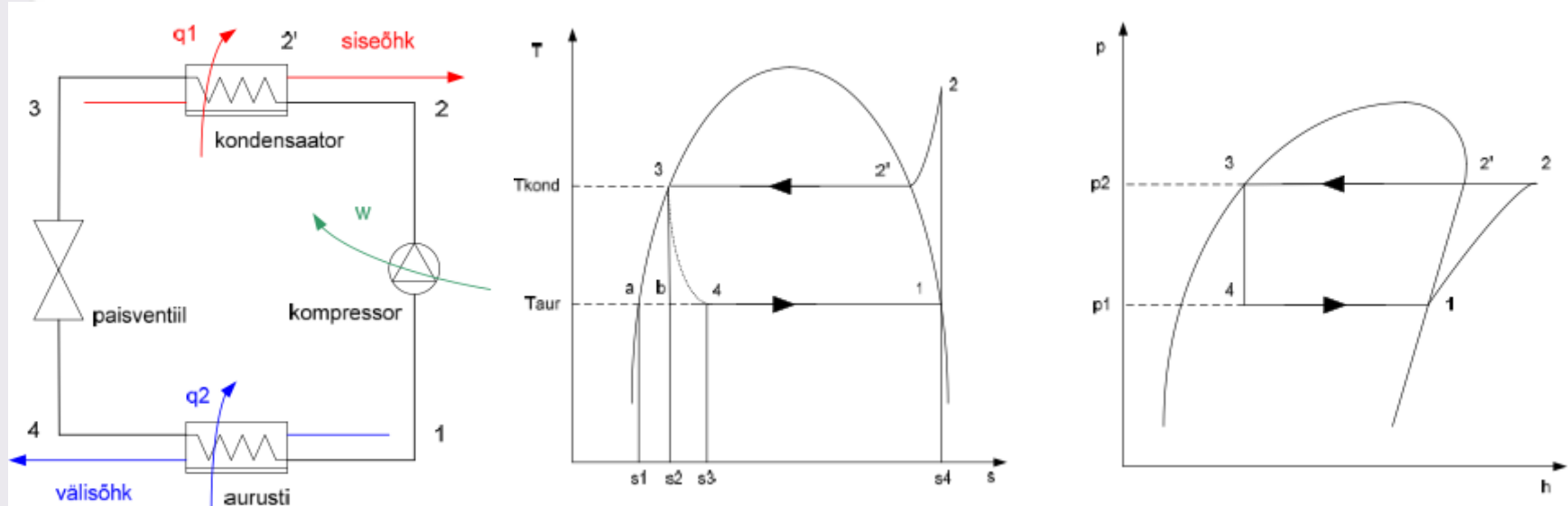
- Soojuspumpa võib vaadelda kui ümberpööratud aurujõumasinat
- Tegu on teoreetilise protsessiga, kus pole arvesse võetud soojusülekannet ega hõõrdumist.
- $\text{COP}_{\text{Carnot}'} = q_1/w = q_1/(q_1 - q_2)$
- Pöördringprotsessi soojustegur sõltub ainult algus- ja lõpptemperatuurist. Seega suurema soojusteguri saavutamiseks peab kondenseerumistemperatuuri ja aurustumistemperatuuri vahe olema võimalikult väike.





Rankine'i pöördringprotsess

- Rankine'i pöördringprotsessis, erinevalt Carnot' pöördringprotsessist, kondenseerub aur kondensaatoris täielikult. Kuna detandrit praktiliselt ei kasutata, on detander asendatud paisventiiliga, mis võimaldab lihtsustada seadme konstruktsiooni.
- $\text{COP} = q_1/w = (h_2 - h_3) / (h_2 - h_1)$





Soojusteguri ja jahutusteguri vaheline seos, SEER

- $COP_{SP} = COP_{JAH} + 1$
- Soojuspumpade energiasäästlikkust iseloomustab sessoonne efektiivsustegur SEER
- Selle arvutamiseks jagatakse kogu hooaja kestel toodetud soojusenergia kogus protsessi käigushoidmiseks kulutatud energiaga
- SEER arvestab ka soojuspumba sulatustsüklitega

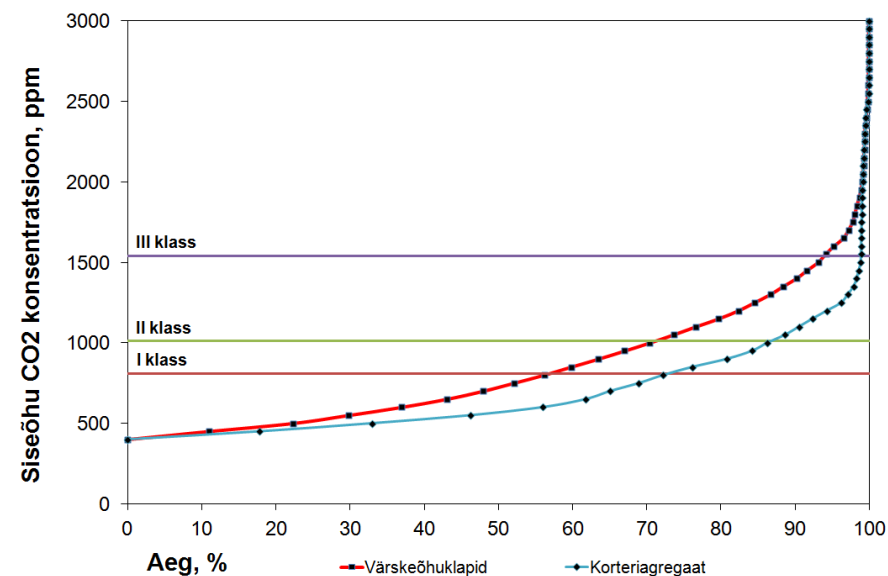
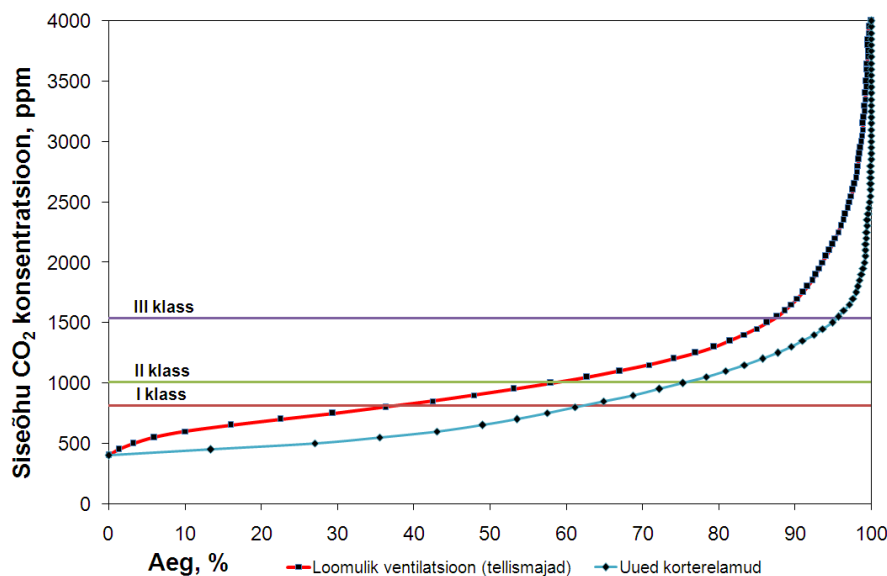


Levinumate soojuspumpade liigitus

Soojuspumba liik	Keskkond, millest soojust võetakse	Märkused
Vedelik-vedelik	Maapind	Maasoojuspump
Vedelik-vedelik	Veekogu	
Vedelik-vedelik	Veekogu vesi, põhjavesi	
Õhk-õhk	Ventilatsiooni heitõhk	Soojuspump soojustagasti
Õhk-vesi	Välisõhk	
Õhk-vesi	Ventilatsiooni heitõhk	Väljatõmbeõhu soojuspump



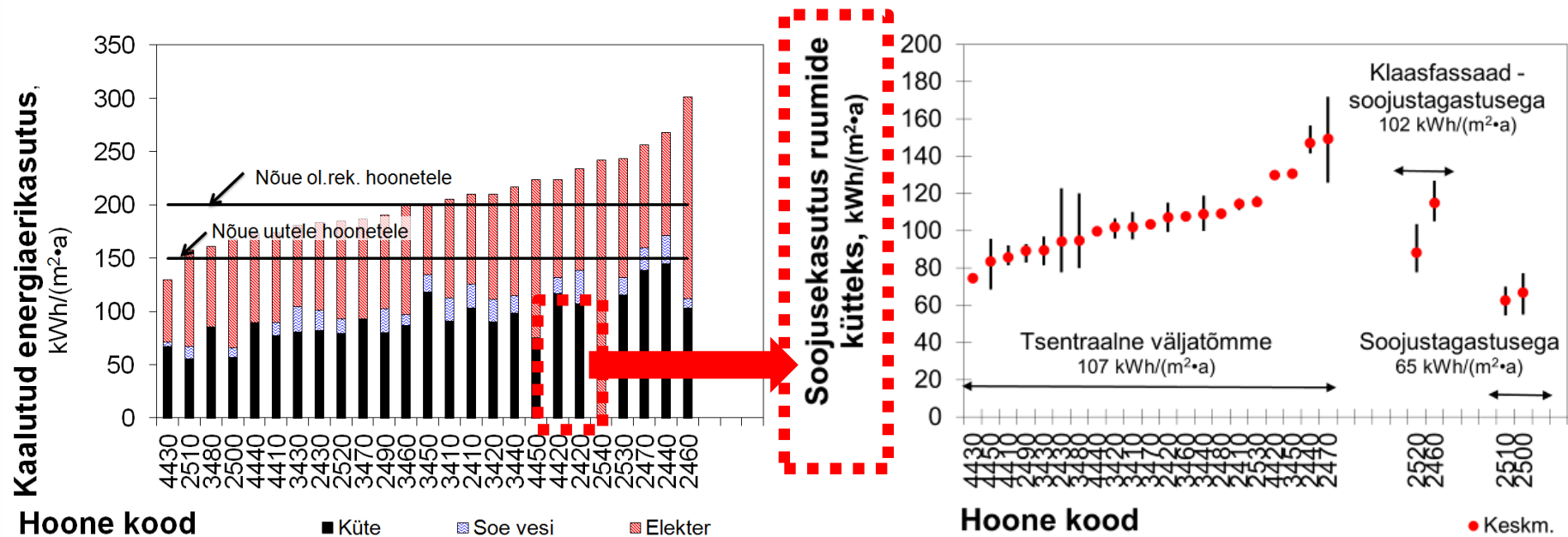
Siseõhu kvaliteet erinevate ventilatsioonisüsteemide korral



- Loomuliku ventilatsiooni (telliskortermajad) ja mehaanilise VT ventilatsiooni võrdlus (vasakul)
- Mehaanilise SP/VT ja mehaanilise VT ventilatsiooni võrdlus (paremal)



Energiakasutus uutes kortermajades

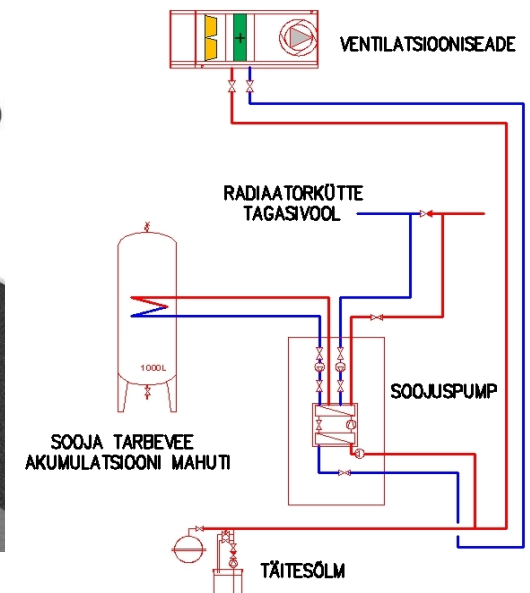
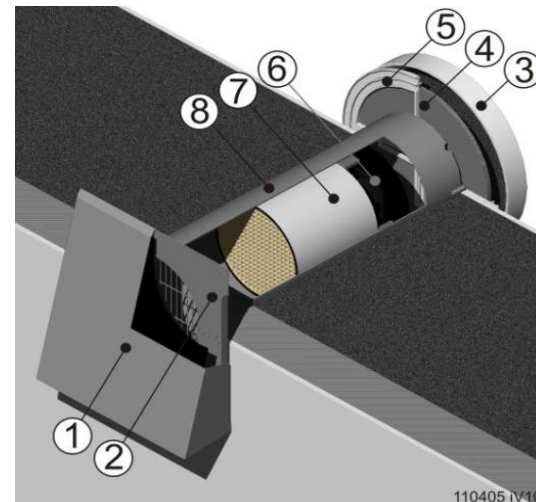


- Elektri kaalumistegur arvestatud 2,0
- Seatud miinimumeesmärgile ehk energiamärgise D klassile vastab kõigest 44 % uuritud hoonetest
- VT ventilatsioon puhul on soojuskasutus ruumide kütteks ~40 % suurem



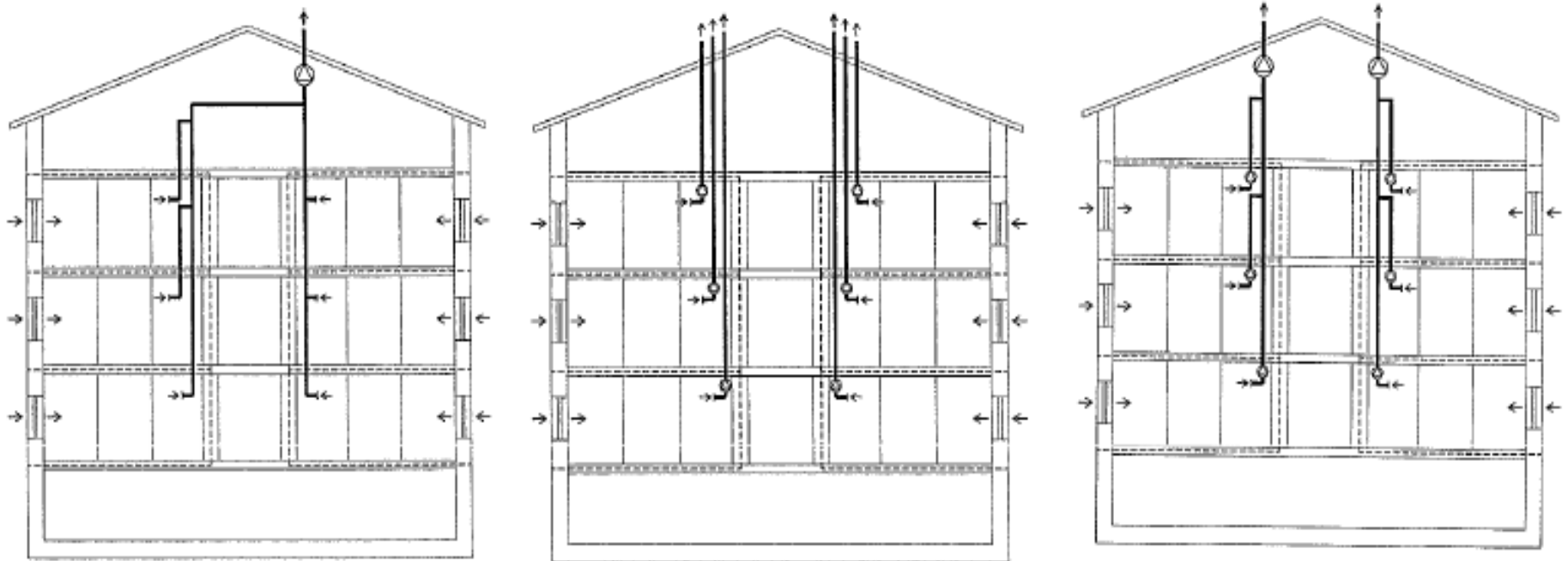
Ventilatsiooni renoveerimislahendused

- Värskeõhuklappide paigaldamine, šahtide korrastamine
- Väljatõmbeõhu soojuspump
- Ruumiagregaadid
- Korterite või trepikoja põhine SP/VT ventilatsioon





Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon



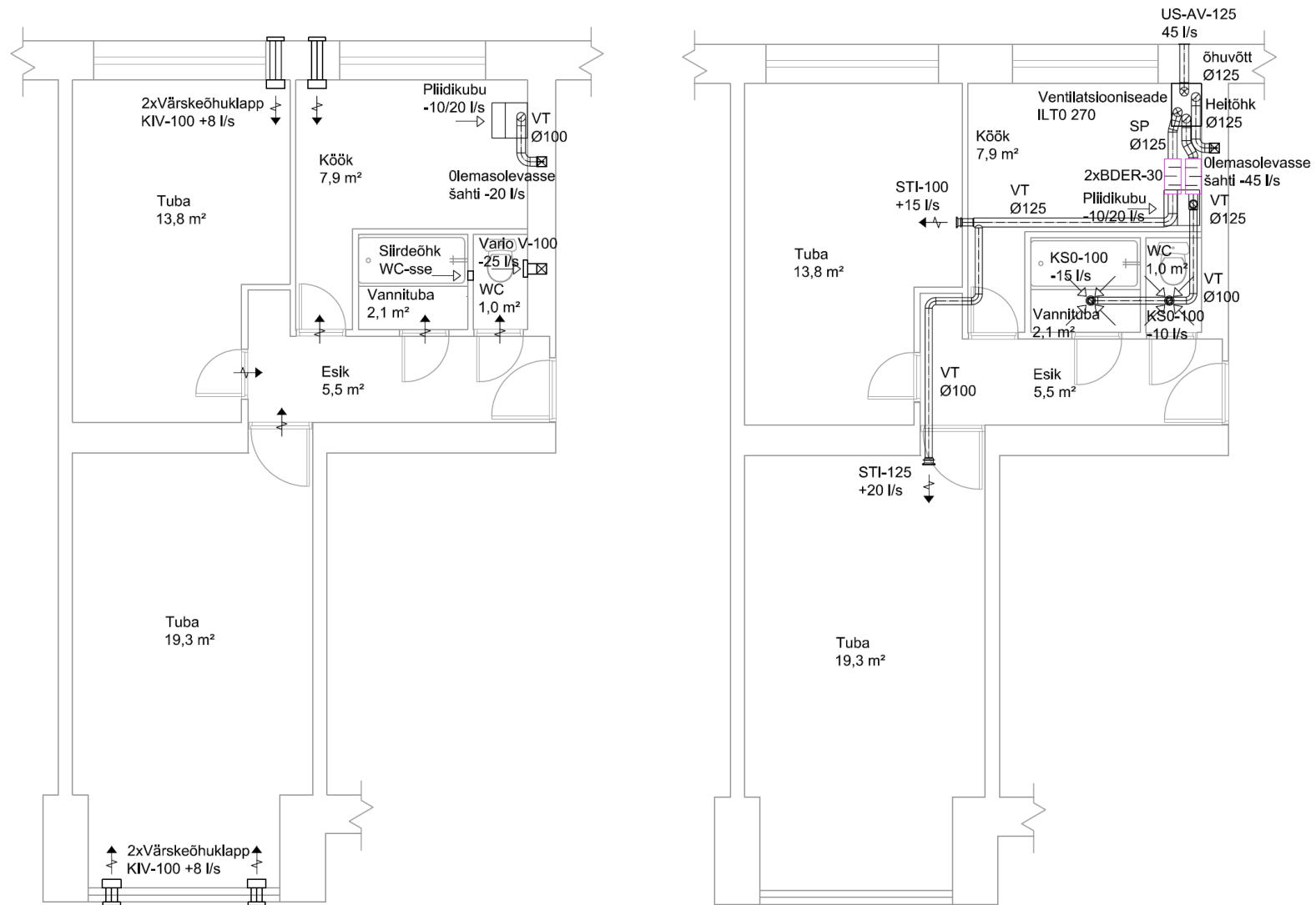
Vasakul – tsentraalne väljatõmme ja värskeõhu klapid

Keskel – korteripõhine väljatõmbeventilaator ja värskeõhu klapid

Paremal – korteripõhine väljatõmbeventilaator, värskeõhu klapid ja tsentraalne rõhu järgi juhtimisega väljatõmbeventilaator või kaheastmelised väljatõmbe lõppelemendid värskeõhu klapid ja tsentraalne rõhu järgi juhtimisega väljatõmbeventilaator



Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon



Mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest (vasakul) ja tsentraalne mehaaniline väljatõmme (paremal)



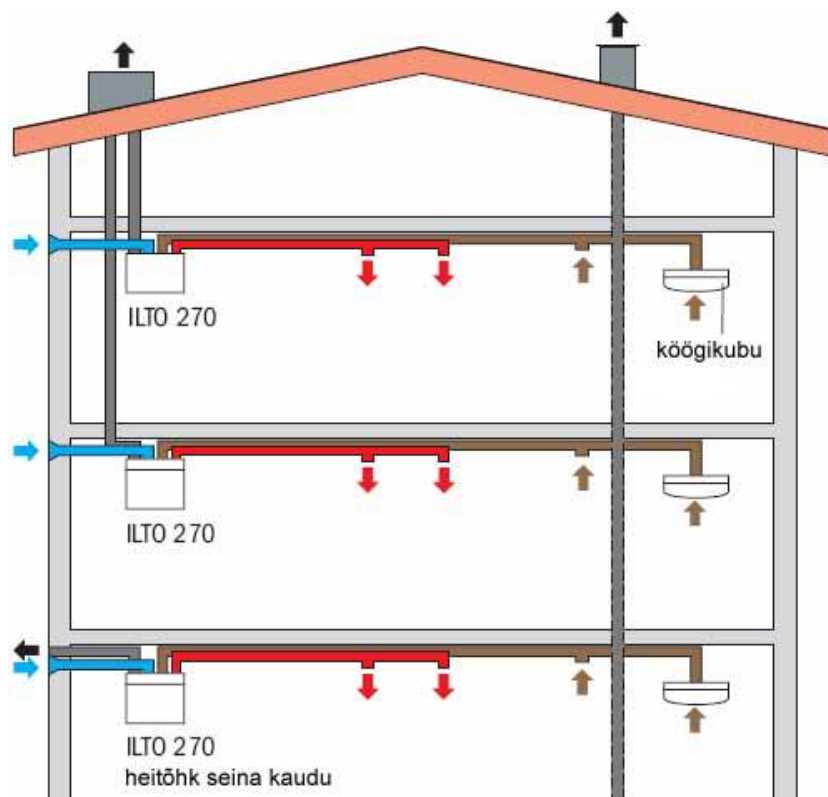
Vajadusepõhiselt reguleeritavad lõppelemendid



*Vajadusepõhiseks reguleerimiseks kasutatavad
väljatõmbelemendid. Vasakul 2-asendiline väljatõmberest
BYFA-4 ja paremal niiskusanduriga juhitud väljatõmbeplafoon
KSO-M-100.*



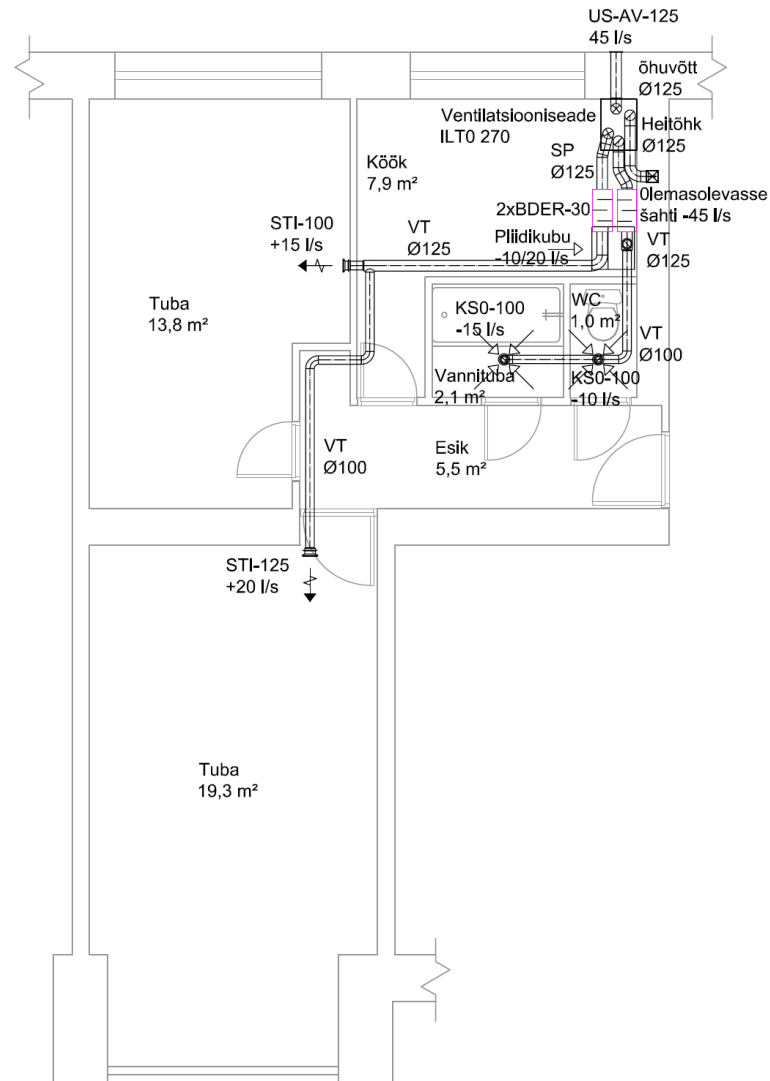
Korteri- või trepikoja põhine mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon



Antud lahenduse juures on eriti oluline jälgida, et ka korterite vahele oleksid paigaldatud mürasummutid
Seadmed tuleks valida keskmistele töökiirustele

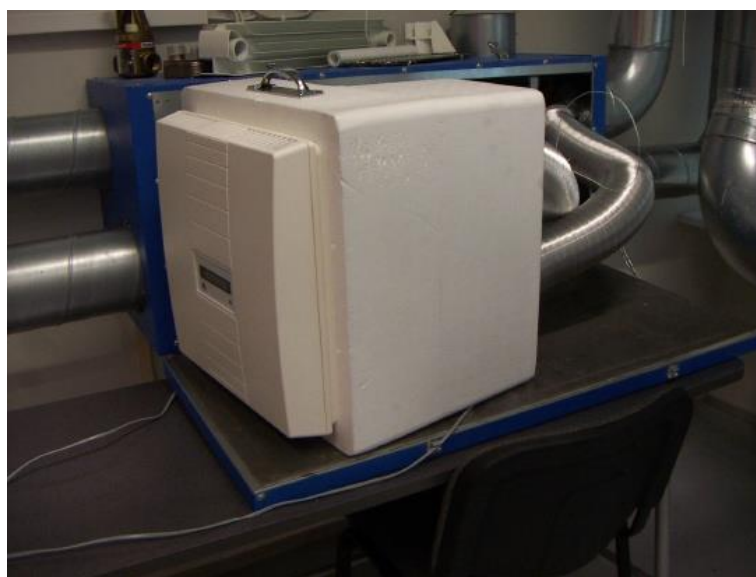


Korteripõhine mehaaniline sissepuhke- väljatõmbe ventilatsioon





Ruumipõhised regeneratiivse ja rekuperatiivse soojustagastiga seadmed

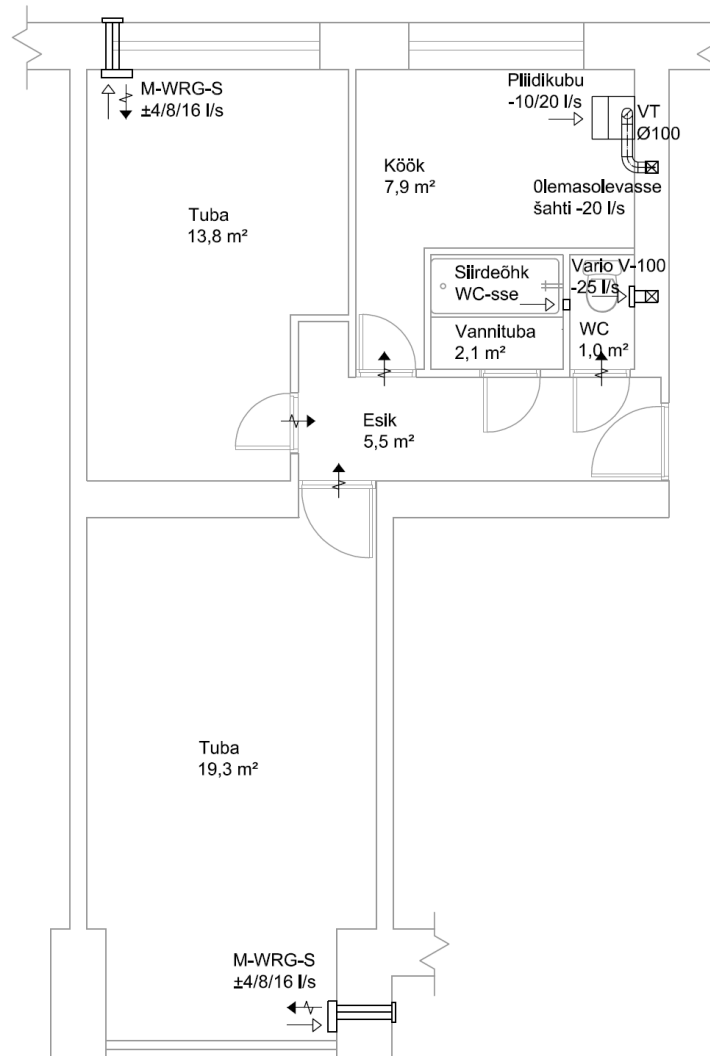


Kindlasti arvestada ka sellega, et sanitaarruumides oleks võimalik nende ruumide kasutusajal tagada vähemalt sisekliima III klassi järgne õhuvahetus, samuti tuleb tagada minimaalne alarõhk neis ruumides ka kasutusvälisel ajal.

Arvestada tuleb väljatõmbeventilaatorite, lõppelementide ja tagasilöögiklappide paigaldamisega.



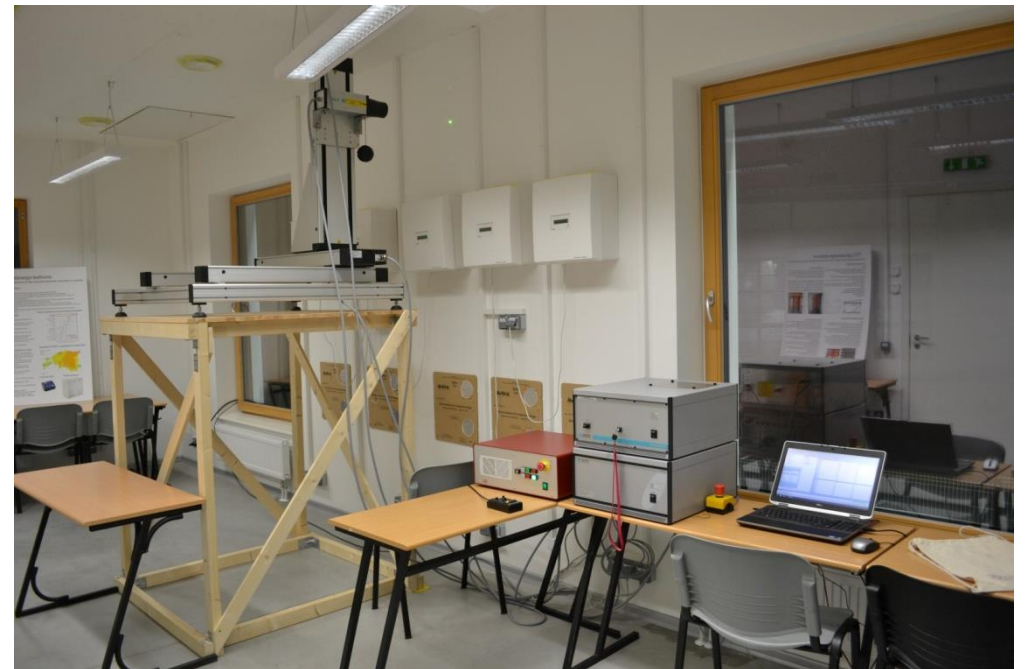
Ruumiagregaatidega lahendus





Ruumiagregaatide katsetused

- Ruumipõhiste rege soojustagastiga seadmeid katseati TTÜ testmajas
- Kasutati Doppleri 2D laser kiirusmõõtjat
- Põhiliselt oli vaatluse all sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkade segunemine





Ruumiagregaatide katsetused



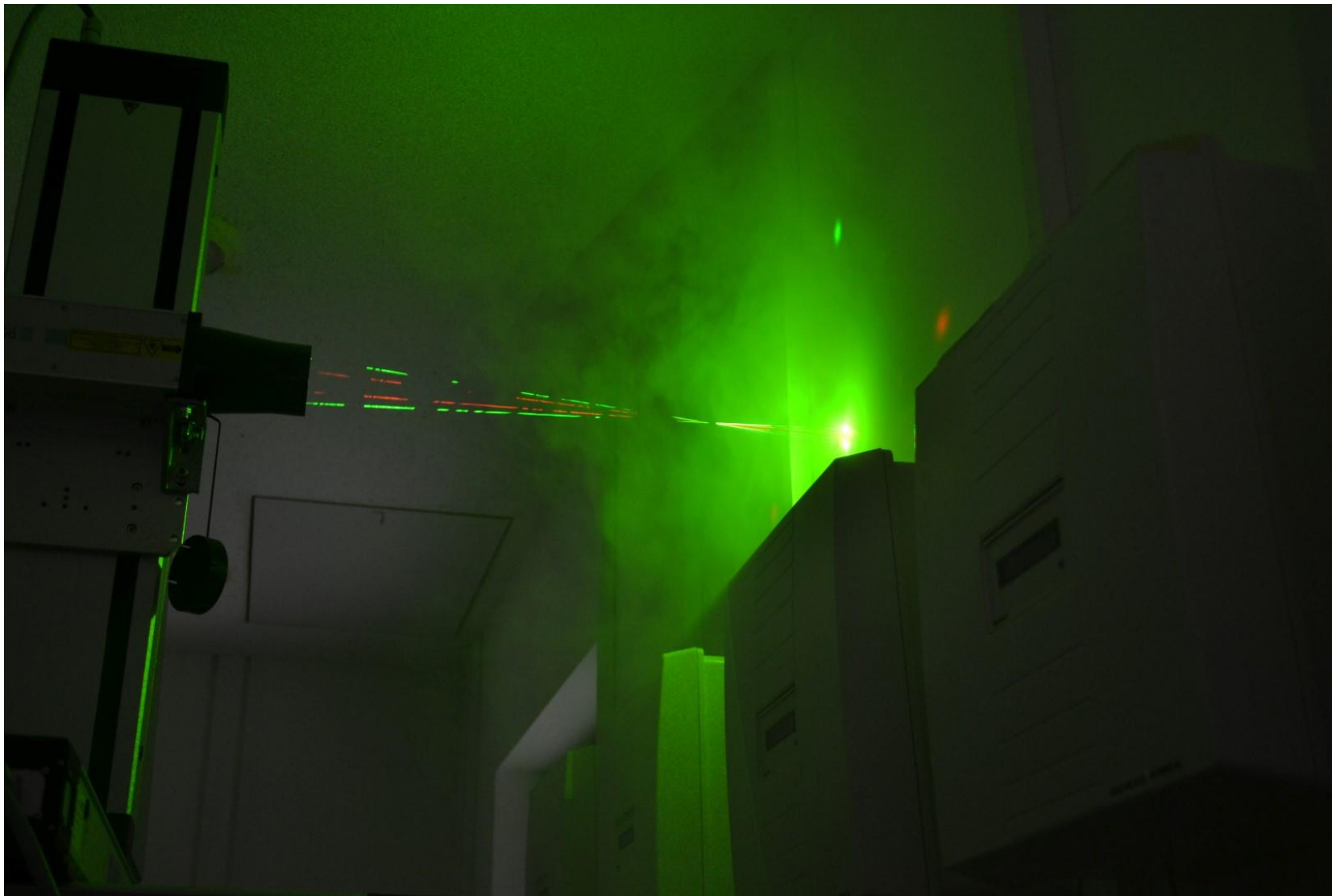


Ruumiagregaatide katsetused



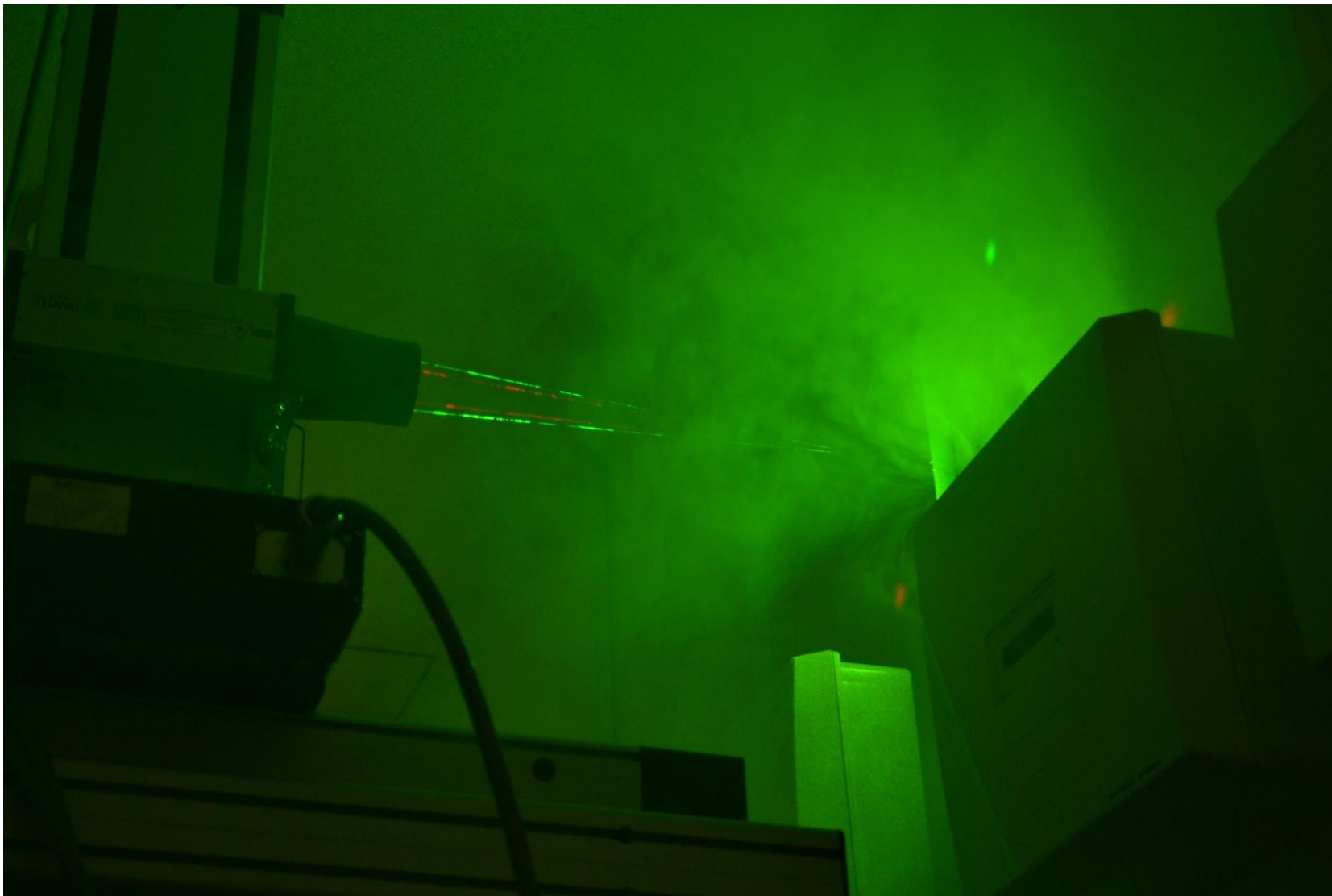


Ruumiagregaatide katsetused





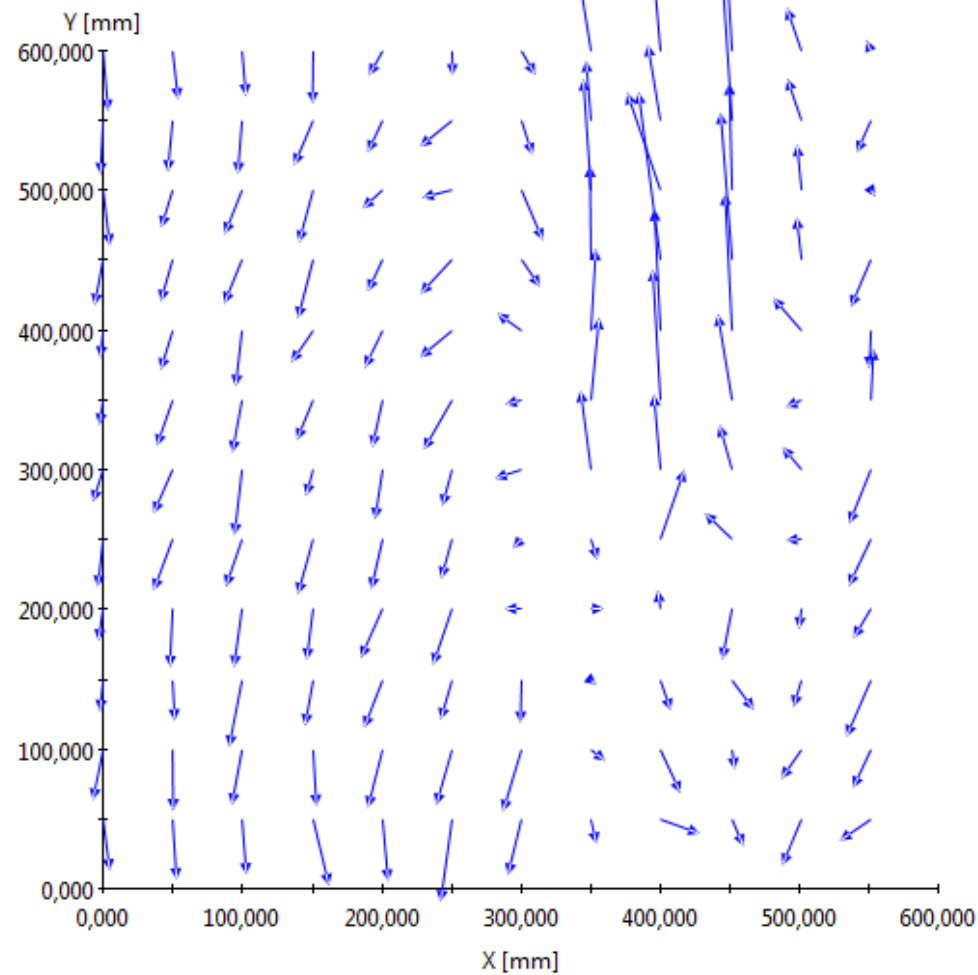
Ruumiagregaatide katsetused





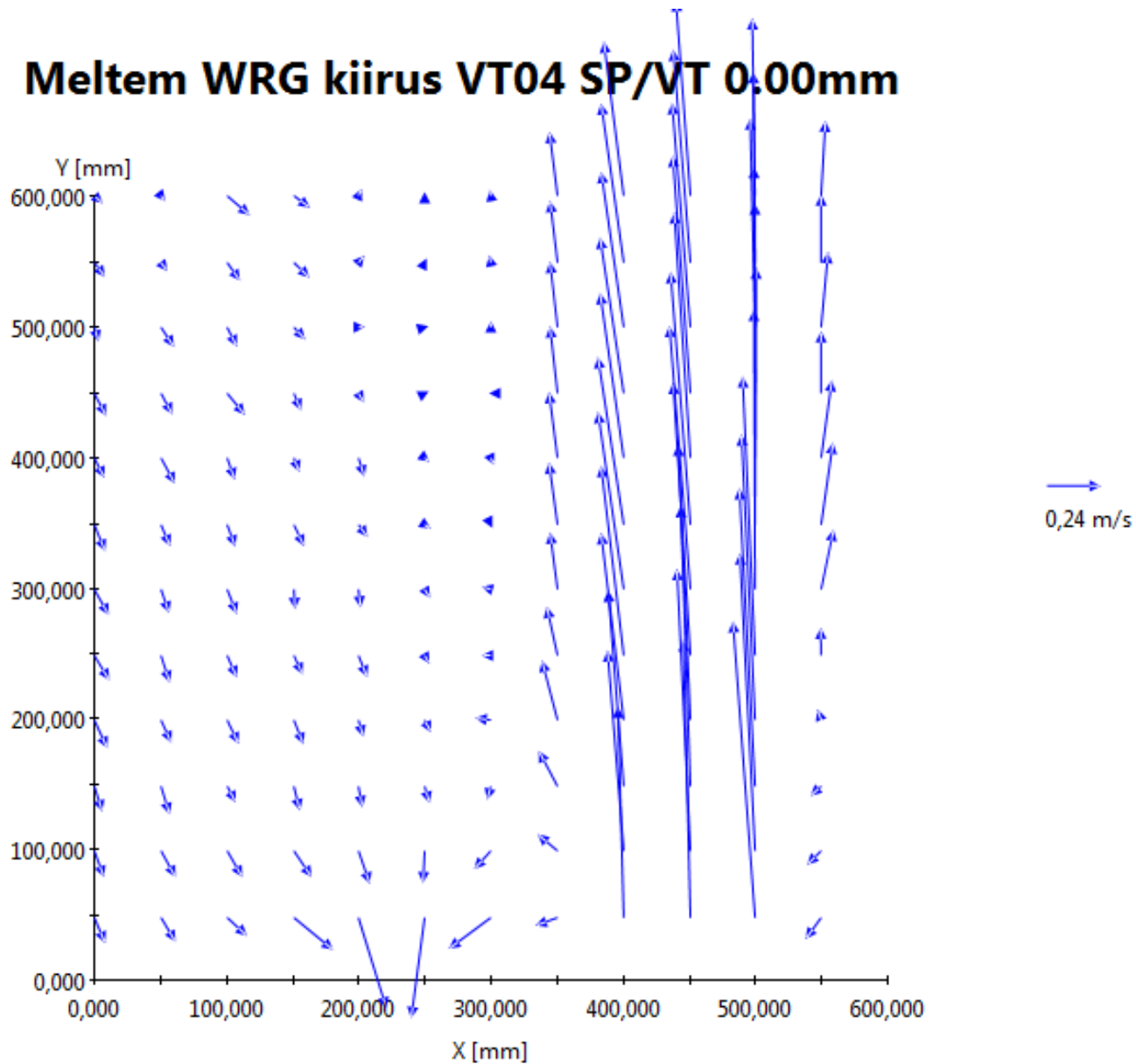
Ruumiagregaatide katsetuste tulemused

Meltem WRG kiirus VT03 SP/VT +50.00mm





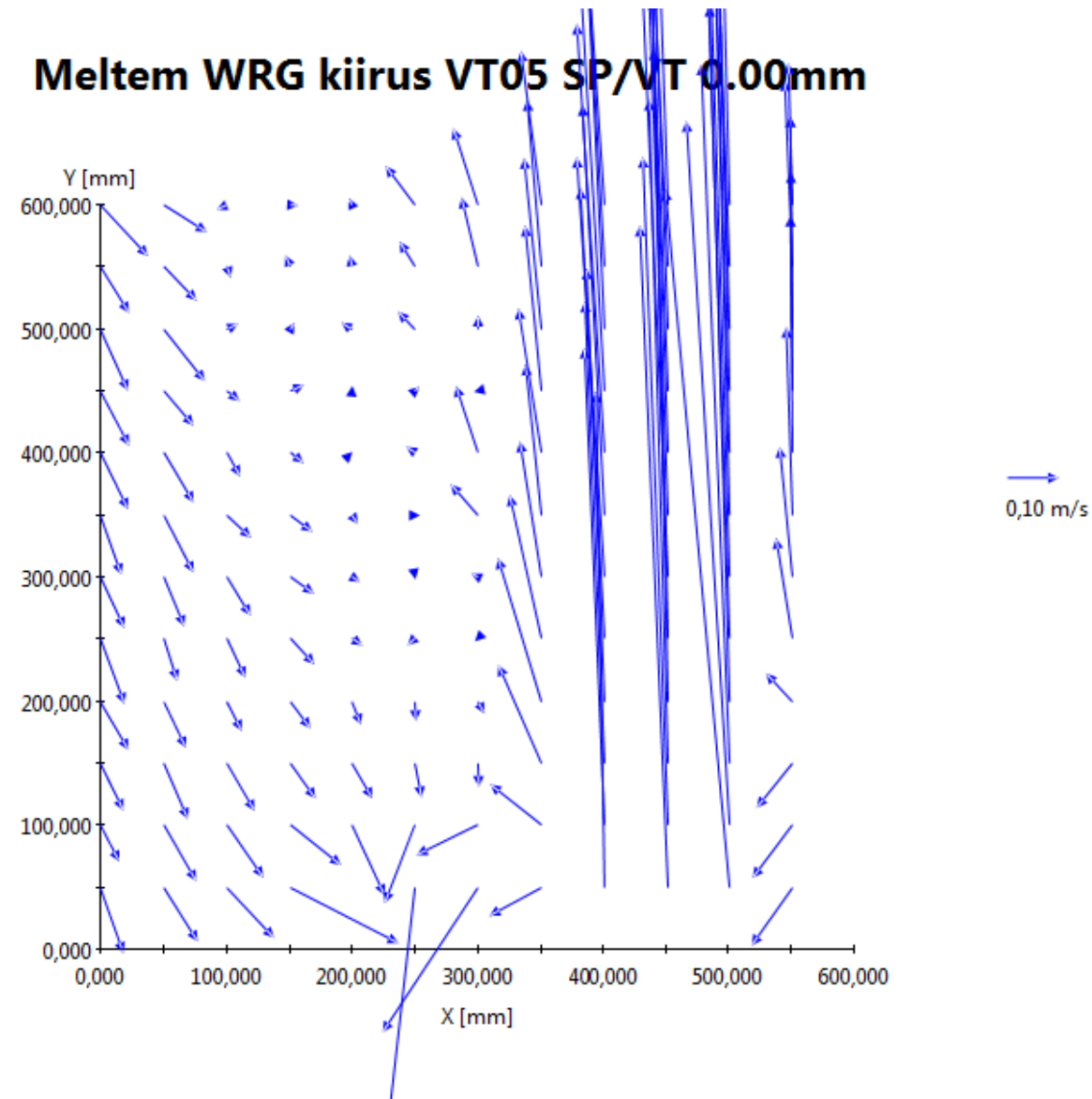
Ruumiagregaatide katsetuste tulemused





Ruumiagregaatide katsetuste tulemused

Meltem WRG kiirus VT05 SP/VT 0.00mm



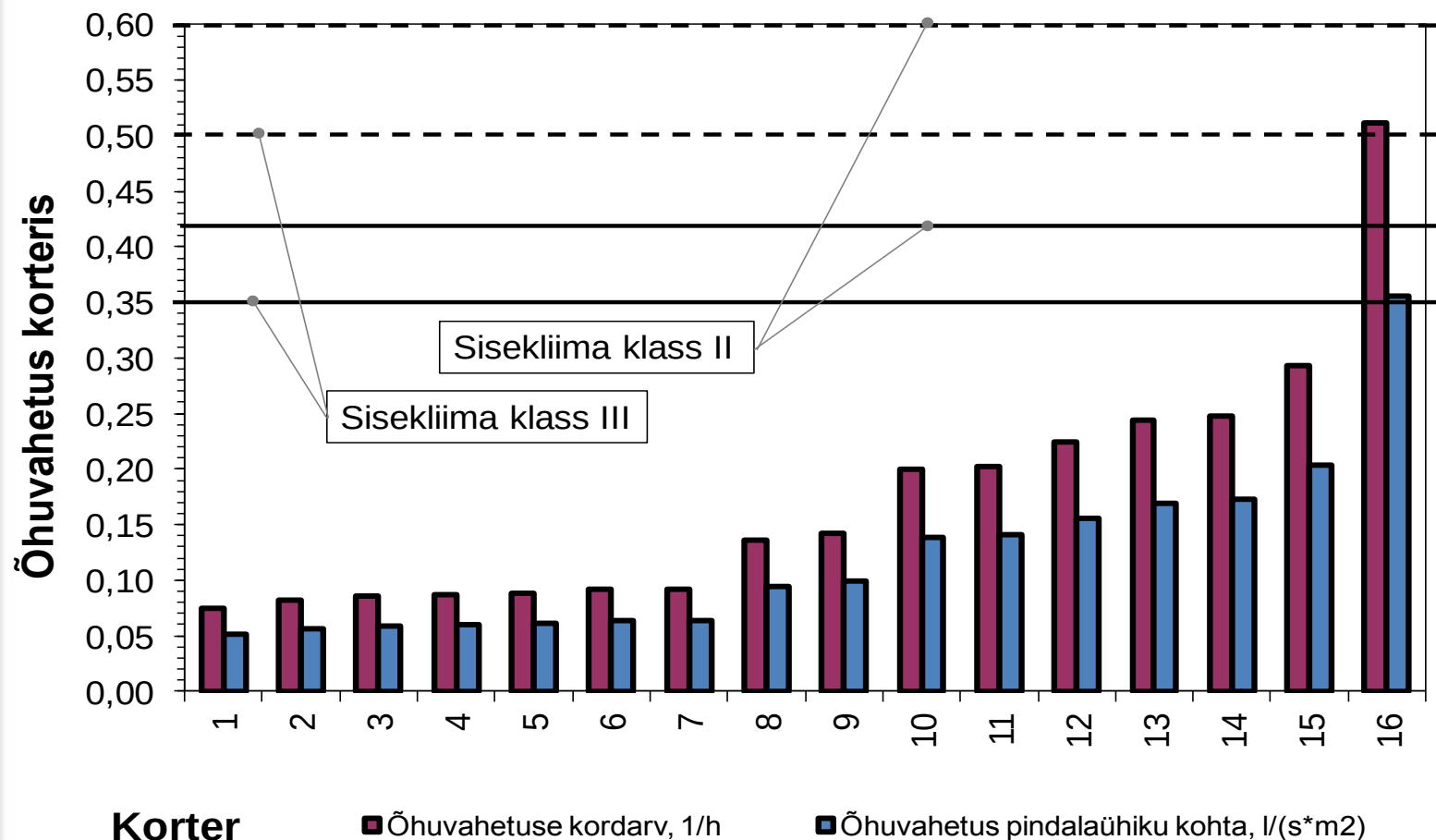


Ruumiagregaatide katsetused

- Ruumipõhise rekuperatiivse soojustagastiga puhul toimuv sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkade segunemine on suhteliselt minimaalne
- Õhuvooluhulkade segunemine intensiivistub madalamatel kiirusel
- Tuleb silmas pidada et sissepuhke ja väljatõmbe elementide mõjutegurite erinevus on ligemale 100 kordne

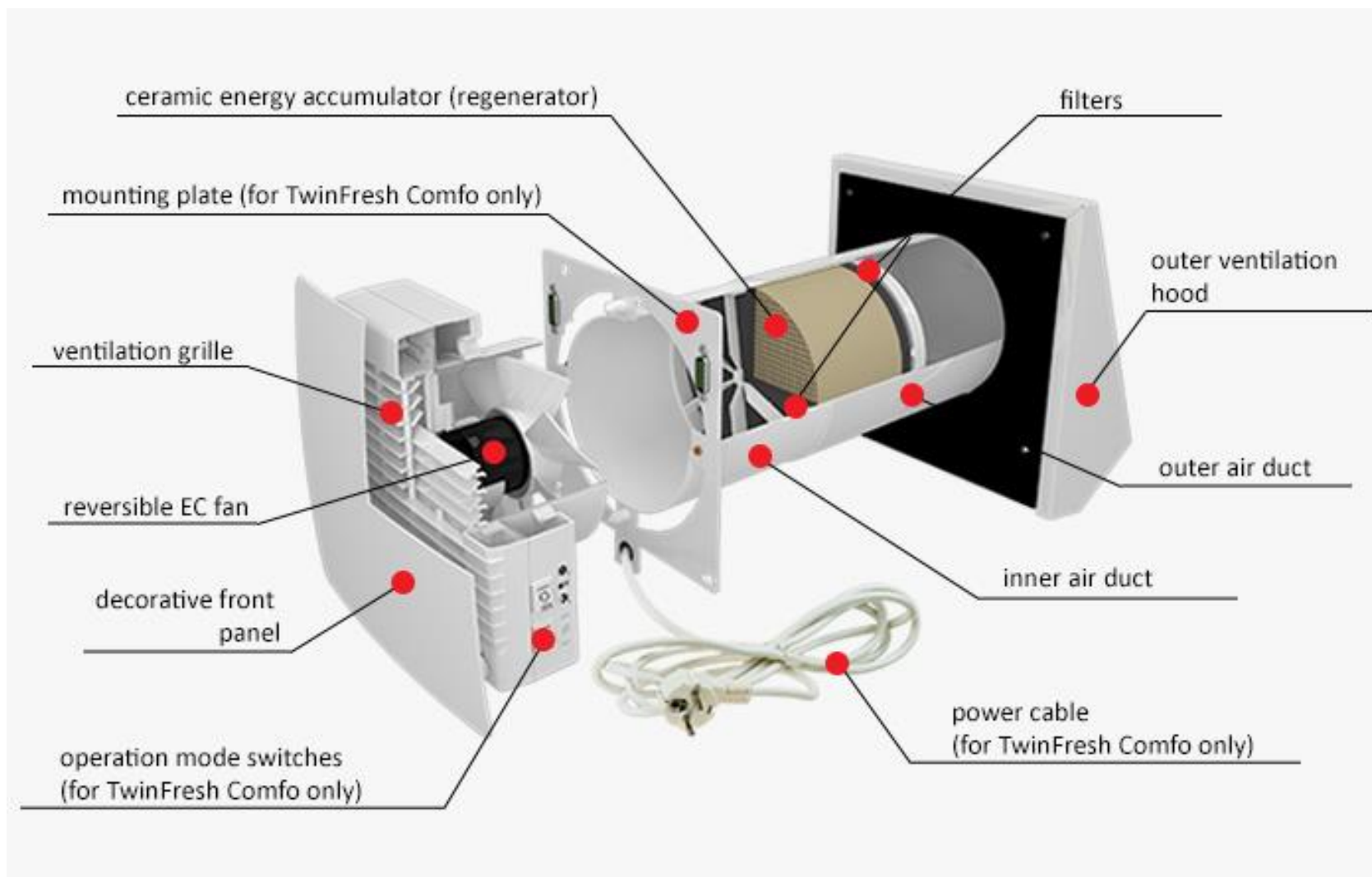


Mõõdetud õhuvahetus ruumipõhiste ventilatsiooniagregaatidega korterites





Regeneratiivsed keraamilise soojustagastiga seadmed





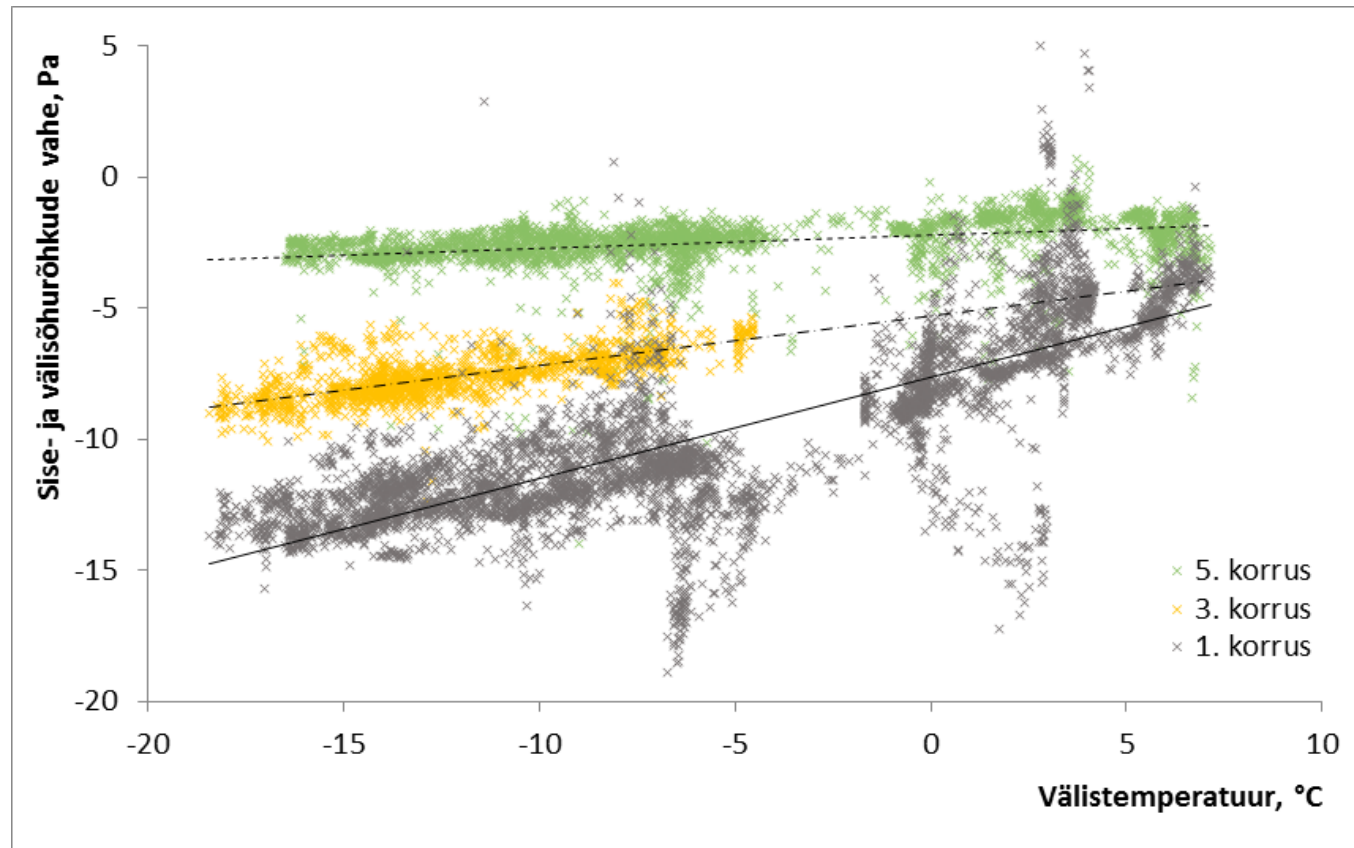
Regeneratiivsed keraamilise soojustagastiga seadmed

- Korrastada ka sanitaarruumide ventilatsioon
- Ventilaatoritele paigaldada tagasilöögiklapid
- Paigaldada külmakaitseandur
- Projekteerida nii, et annaks vajaliku õhuvooluhulga lubatud mürataseme juures
- Projekteerimisel arvestada ventilaatorite töögraafikutega





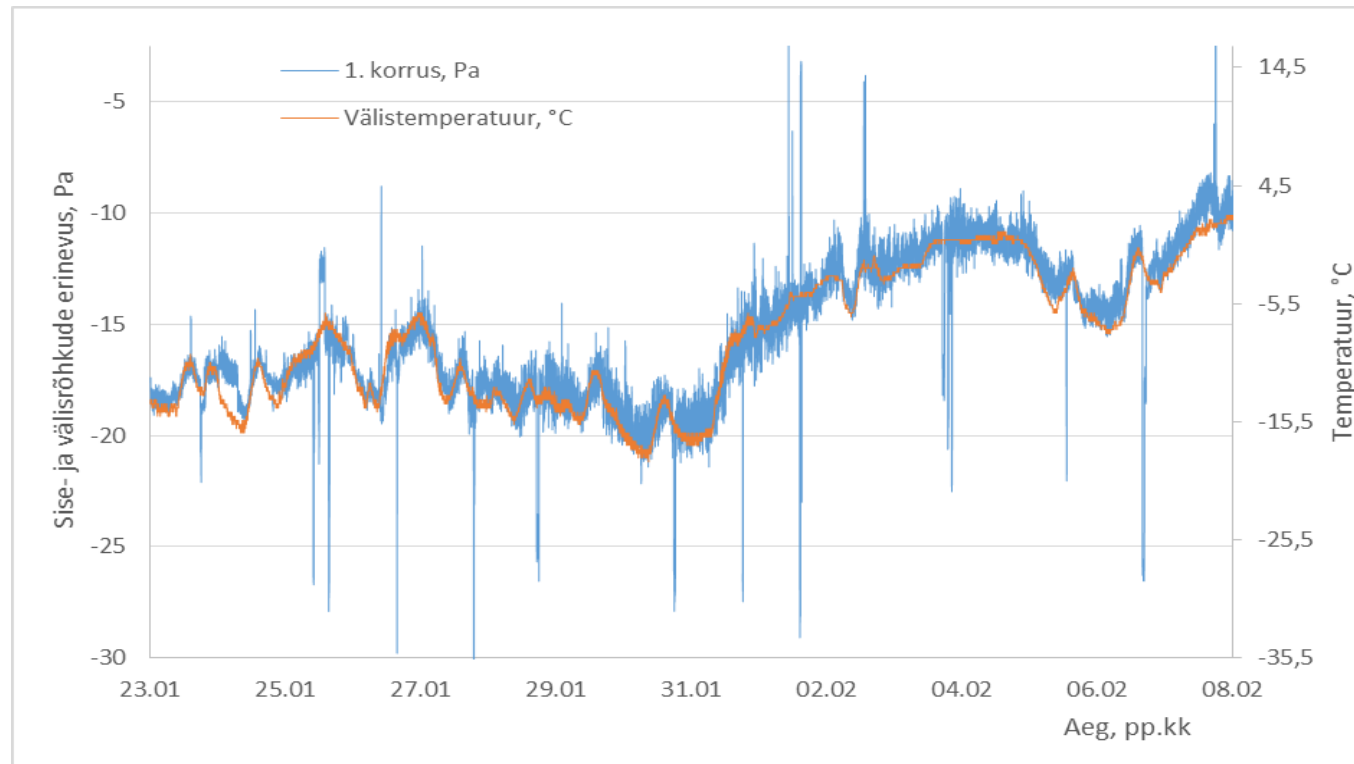
Alarõhust tulenevad probleemid



Diferentsiaalrõhu mõõtmistulemused 5-korruselise korterelamu erinevate korruste korterites kütteperioodil (detsember-veebruar)



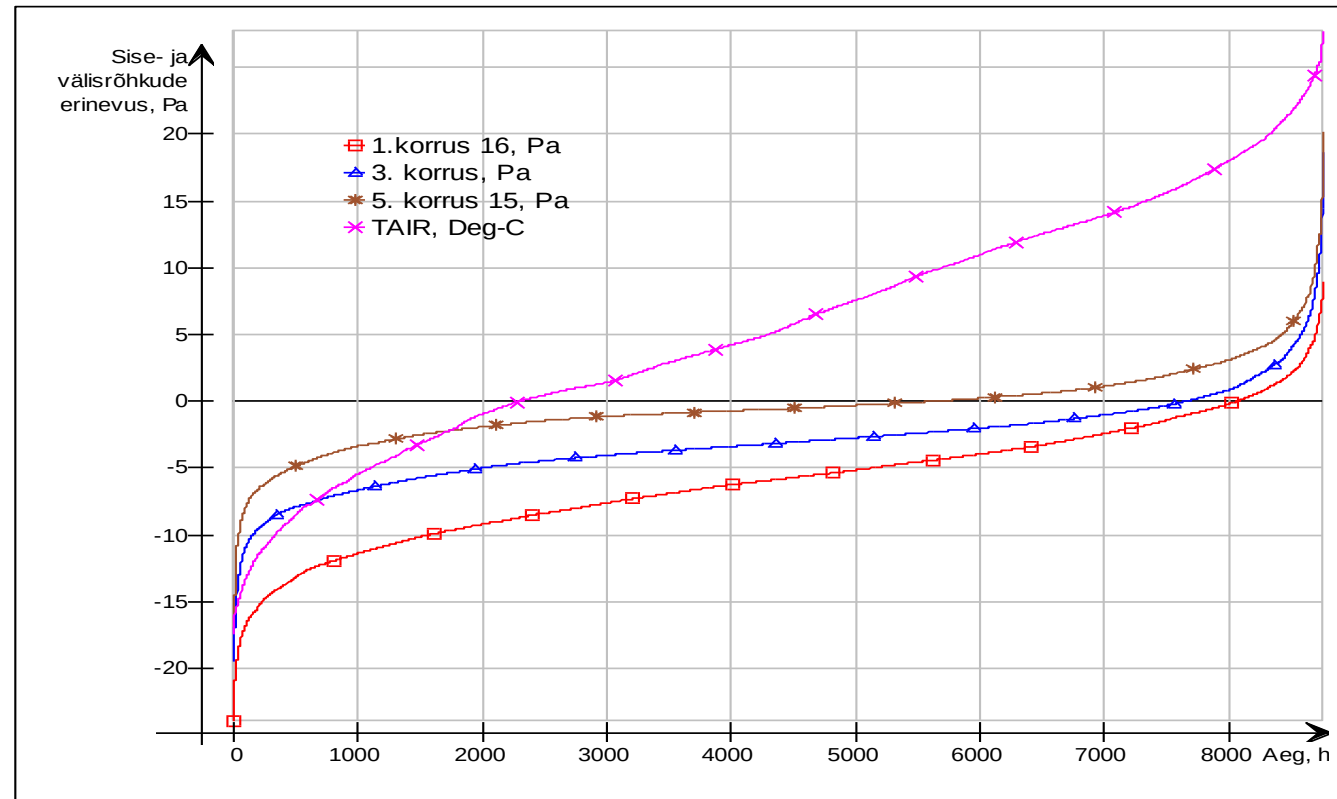
Alarõhust tulenevad probleemid



Diferentsiaalrõhu mõõtmistulemused 5-korruselise korterelamu 1. korruse korteris näitavad lineaarset sõltuvust rõhkude vahe ja välistemperatuuri vahel



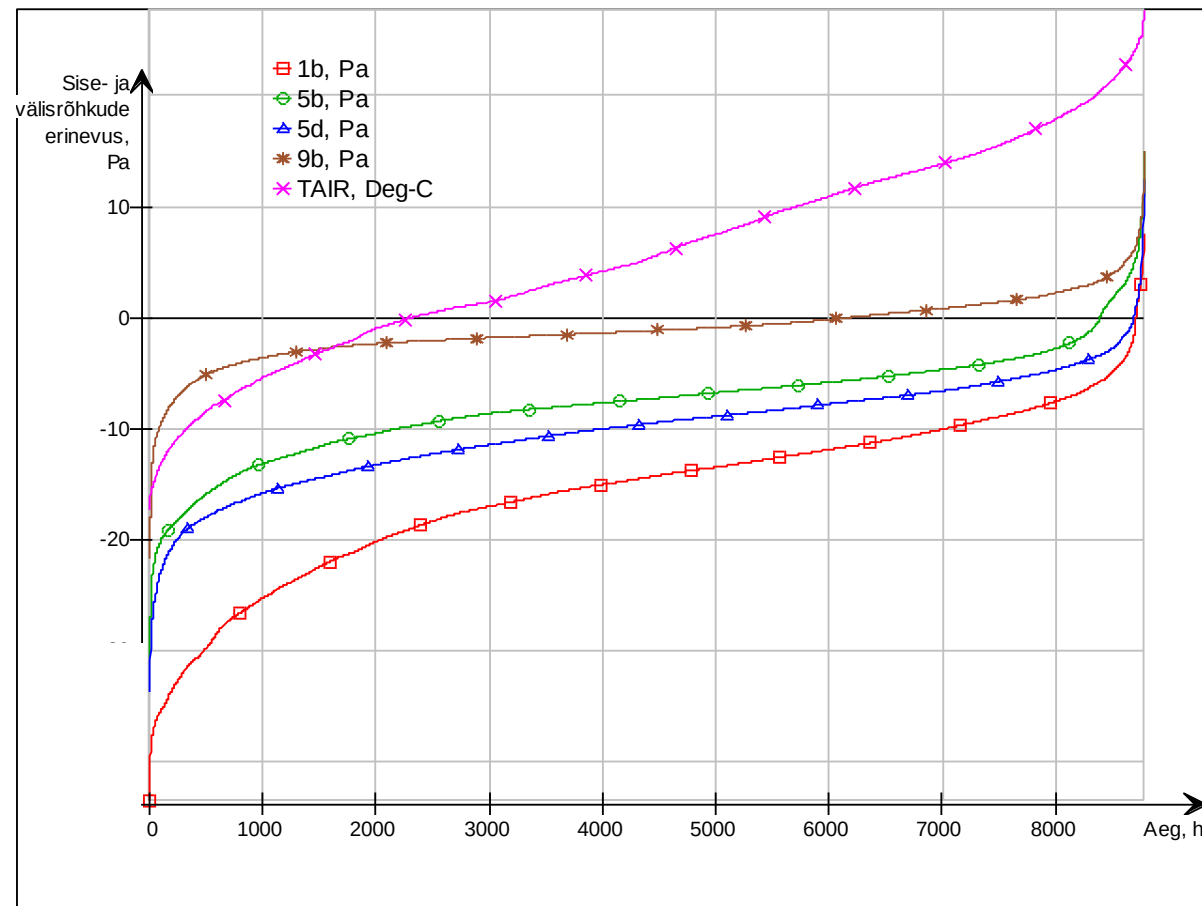
Alarõhust tulenevad probleemid



Välistemperatuuri ja diferentsiaalrõhu kestuskõverad 5-korruselise hoone kolme korruse lõikes dünaamilise simulatsiooni tulemuste põhjal, IDAICE 4.6 tarkvara baasil



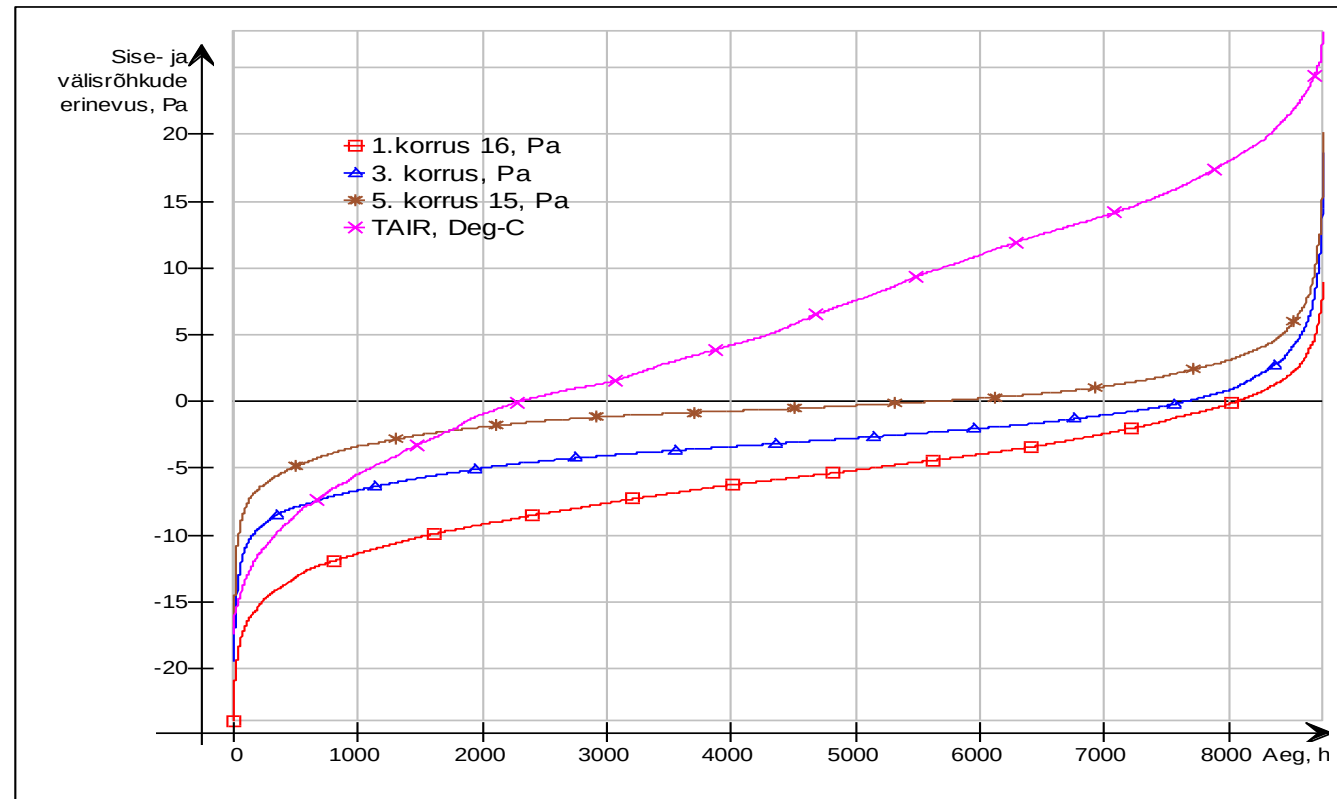
Alarõhust tulenevad probleemid



Välistemperatuuri ja diferentsiaalrõhu kestuskõverad 9-korruselise hoone kolme korruse lõikes dünaamilise simulatsiooni tulemuste põhjal, IDAICE 4.6 tarkvara baasil



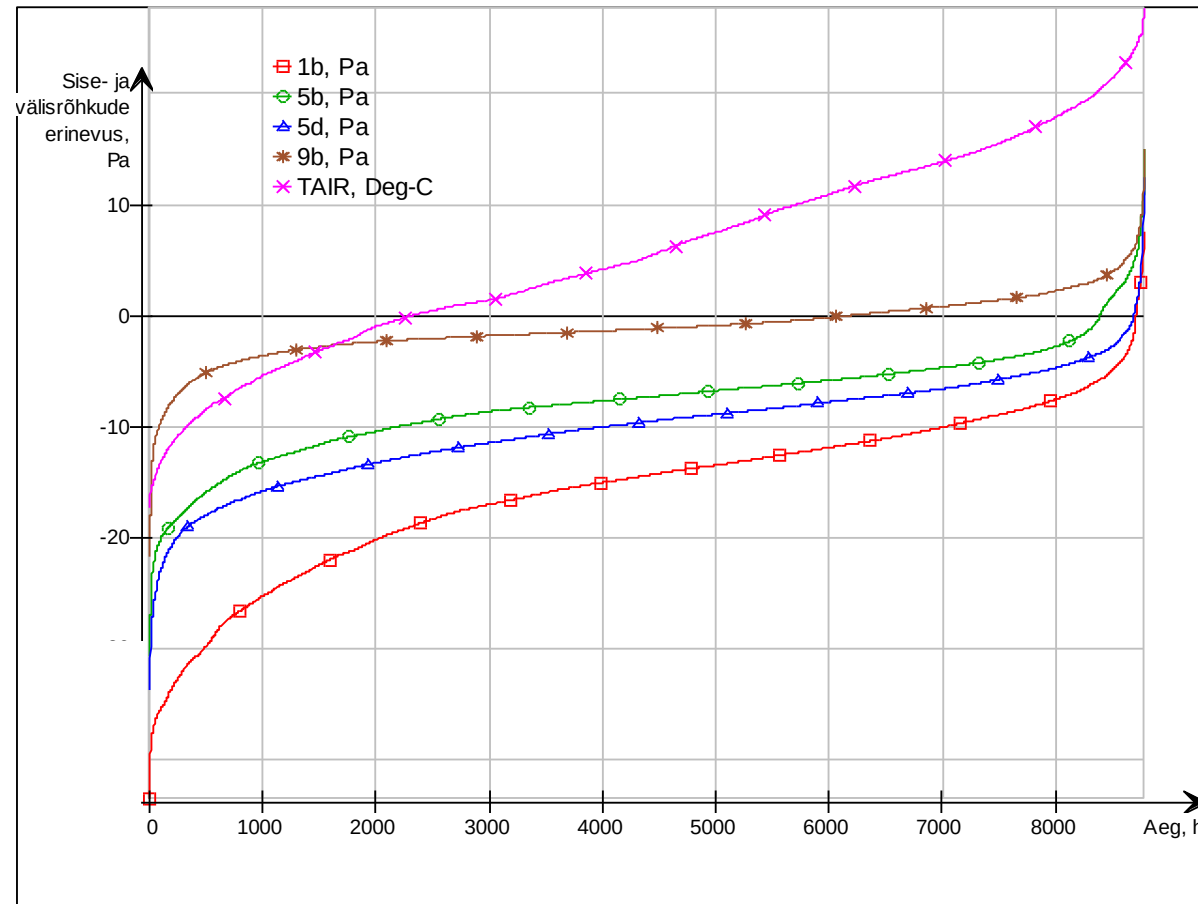
Alarõhust tulenevad probleemid



Välistemperatuuri ja diferentsiaalrõhu kestuskõverad 5-korruselise hoone kolme korruse lõikes dünaamilise simulatsiooni tulemuste põhjal, IDAICE 4.6 tarkvara baasil



Alarõhust tulenevad probleemid



Välistemperatuuri ja diferentsiaalrõhu kestuskõverad 9-korruselise hoone kolme korruse lõikes dünaamilise simulatsiooni tulemuste põhjal, IDAICE 4.6 tarkvara baasil

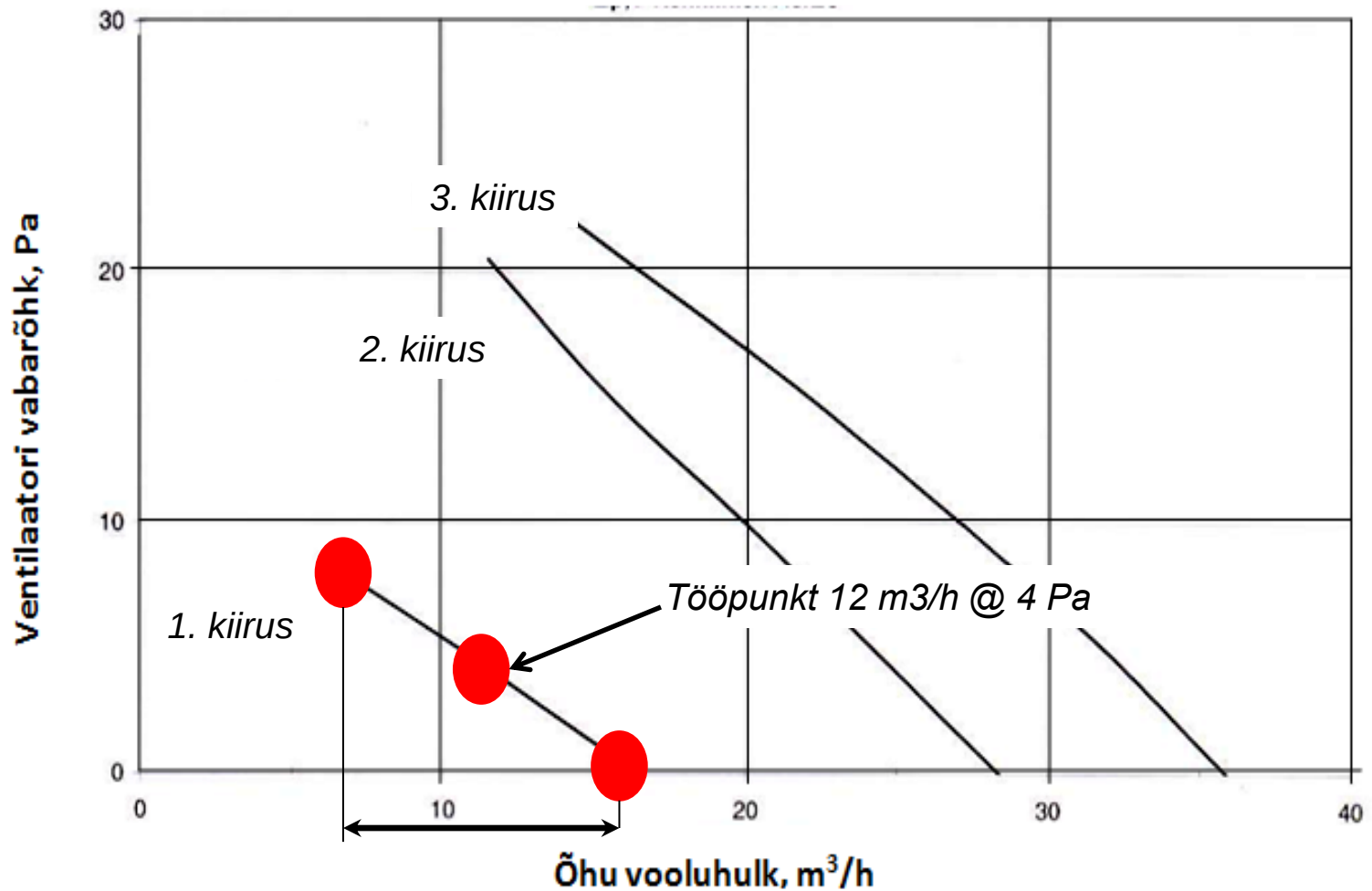


Ventilaatori töökarakteristik

- Määrata ruumide arvutuslikud õhuvooluhulgad
- Valida karakteristikult ventilaatori tööpunkt
- Kontrollida, kas antud tööpunktis on lubatud müratase ruumis tagatud
- Müraarvutuste tegemisel arvestada sellega, et sissepuhke õhuvooluhulk ruumi suureneb alarõhu kasvades



Ventilaatori töökarakteristik



Juhul, kui ruumis on alarõhk 8 Pa, siis on sissepuhke õhuvooluhulk 16 m³/h (0 Pa) ja väljatõmbe õhuvooluhulk 8 m³/h (8 Pa).



Järeldused

- Olemasolevates ruumipõhiste agregaatide baasil renoveeritud kortermajades ei ole arvestuslikud õhuvooluhulgad tagatud
- Kortermajade alumiste korruste puhul tuleb ruumipõhiste seadmete valikul arvestada alarõhuga, ülemistel korrustel ülerõhuga
- Alarõhu suurus oleneb hoone korruselisusest ja väljatõmbe õhuvooluhulgast ja võib ulatuda 20 – 30 Pa
- Kui ruumis on alarõhk, siis ei ole sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad tasakaalus
- Tänu alarõhule alaneb oluliselt ka soojustagasti temperatuuri suhtarv
- Mis on probleemi lahendus? **Ventilaatorite korrektne dimensioneerimine.**



Ehitus- ja projekteerimisvead





Renoveerimisel üleskerkinud probleemid

- Toimub õhuvooluhulkade massiline vähendamine
- Korterite väljatõmbe lõppelementide mitteasendamine tänapäevaste õhujaotajate vastu
- Sanitaarruumdes puuduvad siirdeõhurestid või uksepilud
- Süsteemide puudulik ekspluatatsiooniegne hooldus (filtrite vahetus, süsteemide jälgimine, probleemide kõrvaldamine)
- Ehituslikud väljatõmbešahtid ei ole õhutihedad



Ettepanekud

- Loomuliku ventilatsiooniga süsteemidele katusele väljatõmbeventilaatorite lisamine
- Paigaldada korralikud “paberitega” värskeõhuklapid (tormikaitse, filter, joa reguleerimise võimalus)
- Väljatõmbeõhu soojuspumba puhul jälgida järgmist:
 - Maksimaalne sooja vee temperatuur
 - Soojuspumba ja soojussõlme ühine juhtimine
 - Tegemist tegemist tehnosüsteemiga - vajab hooldust



Ettepanekud

- Kärgsoojustagastite puhul järgida järgmist:
 - Sanitaarruumidesse ja kööki paigaldada tugiventilatsioon (kindlasti koos tagasilöögiklapiga)
 - Paigaldada kärgsoojustagasti külmumiskaitse (sissepuhketemperatuuri) andur
 - Ruumidest likvideerida loomulik väljatõmme
 - Süsteem projekteerida vastavalt Eestis kehtivatele nõuetele st. müratase peab arvestusliku õhuvahetuse juures vastama lubatule.
 - Ventilaatorite dimensioneerimisel arvestada korterites tekkiva alarõhuga



Probleemid

- **Soojustagastuseta** ventilatsioonisüsteemi kõrge energiatarve
- Ventilatsioonisüsteemide **hooldus ja puhastus** enamikel juhtudel tegemata
- **Ühine** köögisondide **väljatõmbetorustik** põhjustab lõhnade levikut
- Ühiskanalitega süsteemide puhul puuduvad **korteritevaheised mürasummutajad**
- Sanitaarruumide ustesse pole **paigaldatud siirdeõhureste**
- Värskeõhuklapid ja aknapilud “**puhuvad peale**”
- Ventilatsioon unustatakse **miinimum asendisse**
- Ventilatsioonisüsteemi **automaatika** ei ole kasutussõbralik, puudub üldse või ei ole töökorras



Probleemide põhjused: **Projekteerimine**

- Kehtiv kutsestandard projekteerijatele
- Olemasolevad standardid kortermajade kütte ja ventilatsioonisüsteemide projekteerimiseks
 - SNiP (<1990)
 - D2 (Soome norm), EPN (Estonian projekteerimisnormid).
 - EVS (Eesti standard 2000...2010)
 - EN-ISO 15251, CEN/TR 14788

Ajaperiood	Standard	Sissepuhe			Väljatõmme	
		Elutuba	Magamistuba	Köök	Vannituba	WC
- 1991	CHиП II-JI.1-71 CHиП 2.08.01-85	1 h ⁻¹ (varasemalt) 0.8 l/(s·m ²)	1 h ⁻¹ (varasemalt) 0.8 l/(s·m ²)	20 l/s (75 m ³ /h)	7 l/s (25 m ³ /h)	7 l/s (25 m ³ /h)
1991 – 2000 (ka praegu)	Soome NBC-D2	0,5 l/s/m ²	4.0 l/(s·pers) or 0,7 l/s/m ²	20 l/s (72 m ³ /h)	15 l/s (54 m ³ /h)	10 l/s (54 m ³ /h)
2000-2007 (still used)	EPN18.3.2/ EVS 845-2:2004/	0,5 l/(s·m ²)	0,7 l/(s·m ²)	20 l/s	15 l/s	10 l/s
2007-	EVS-EN 15251: 2007	Sisekl tase II 7 l/(s·pers.) 1.0 l/(s·m ²) III: 4 l/(s·pers.) 0.6 l/(s·m ²)	Sisekl tase II: 7 l/(s·pers.) 1.0 l/(s·m ²) III: 4 l/(s·pers.) 0.6 l/(s·m ²)	Sisekl tase II: 20 l/s III: 14 l/s	Sisekl tase II: 15 l/s III: 10 l/s	Sisekl tase II: 10 l/s III: 7 l/s
2006-	CEN/TR 14788		3...5 l/(s·pers.)	1.5...7.5 l/(s·pers.)	approx. 15 l/s	approx. 10 l/s



Probleemide põhjused: Paigaldus

- **Vastavalt kutsestandardile:** „Ventilatsiooniluksepp I, II, III“:
 - Jagab paigaldajad 3 tasemesse
 - Ventilatsioonissüsteemide paigaldust on võimalik õppida 5 ametikoolis
 - ~75 % paigaldajatest puudub erialane haridus

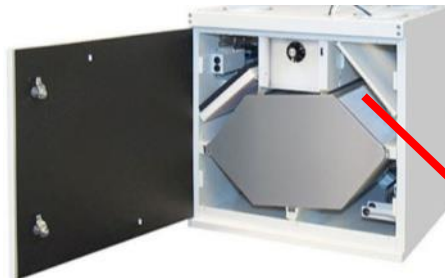


***Ventilatsioonissüsteeme ehitavad erialase
ettevalmistuseta inimesed!***



Probleemide põhjused: Hooldus

- Peamised probleemid:
 - *Ventilatsiooniagregaatide filtreid ei vahetata*
 - *Ventilatsioonitorustikke ei puhastata*
 - *Puuduvad hooldus ja puhastusluugid*





Väljatõmbeõhu soojuspump



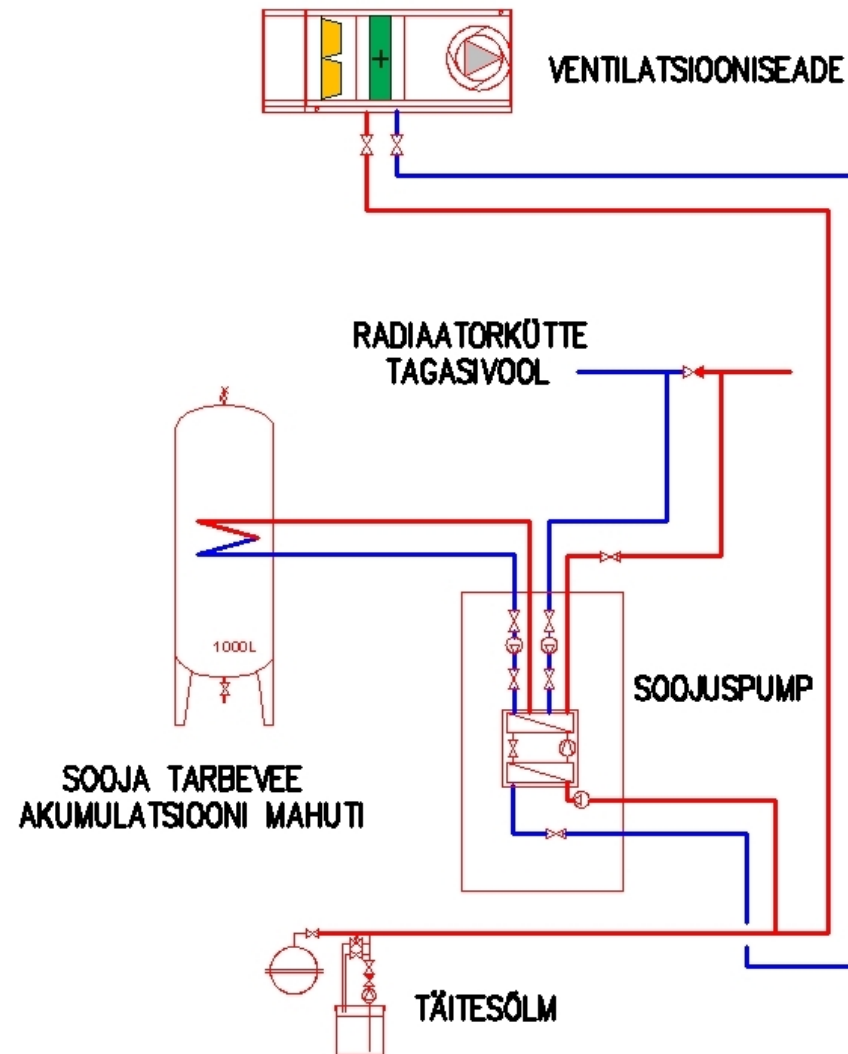


Väljatõmbeõhu soojuspump





Põhimõtteline skeem





Kuhu väljatõmbeõhu soojuspump sobib?

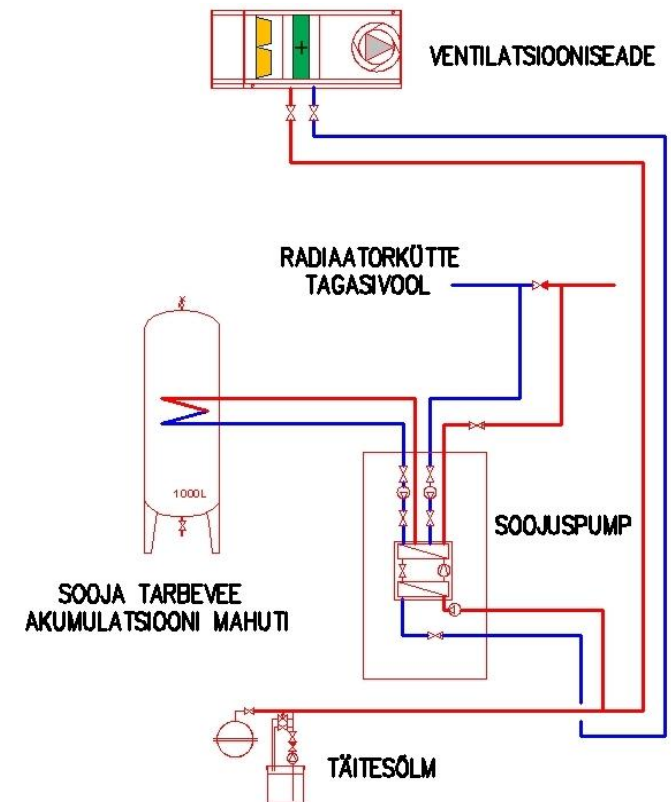
- Küsimus iseenesest on **intrigeeriv**
- Ka praegu võib Eestist leida maju millele ehitatakse veel soojustagastuseta väljatõmbeventilatsioon
- **Mida olemasolevate VT ventilatsioonisüsteemidega peale hakata?**
- Võimalusi on mitmeid...
väljatõmbeõhu soojuspumba paigaldamine on vaid üks võimalik lahendus





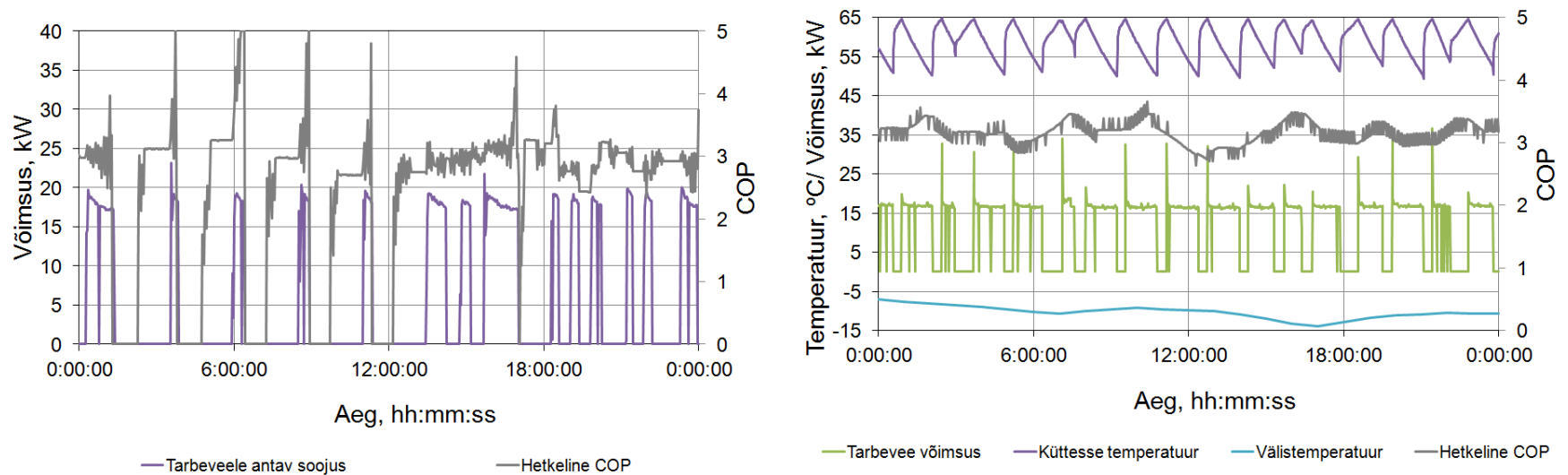
Väljatõmbeõhu soojuspump

- Võimalik paigaldada olemasolevatesse kortermajadesse ilma oluliste ringiehitusteta
- Väljatõmbeõhu temperatuur ka talvel üle 20 °C
- Primaarpoole optimaalne arvestuslik temperatuurigraafik 0/3 °C
- *Vastavalt hetkel käimasolevatele uuringutele tagab VT soojuspump kuni 50 % hoone küttele ja soojale tarbeveele kuluvast energiast*
- *Oluline kasutada madalaid küttesüsteemi temperatuurigraafikuid (näiteks 60/40 °C)*





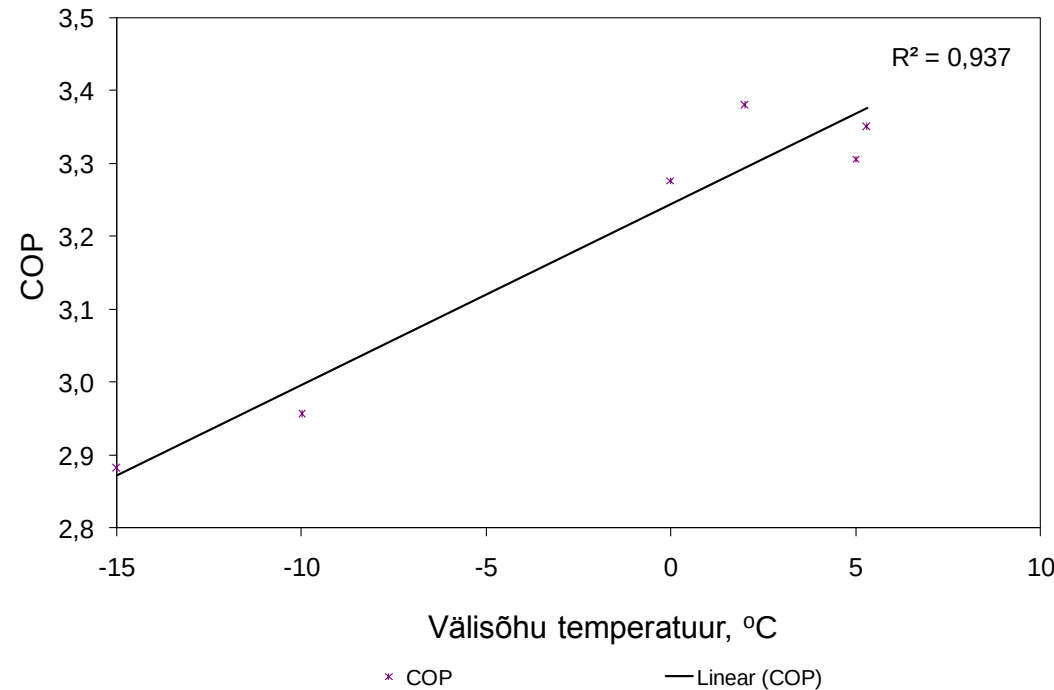
VT soojuspumba töötusükkel



- Suveperioodi keskmine COP ~ 3,0
- Talveperioodi keskmine COP vahemikus 2,9 – 3,4
- Teatud perioodidel pole pumbal tänu kõrgele küttegraafikule võimalik soojusenergiat süsteemi anda



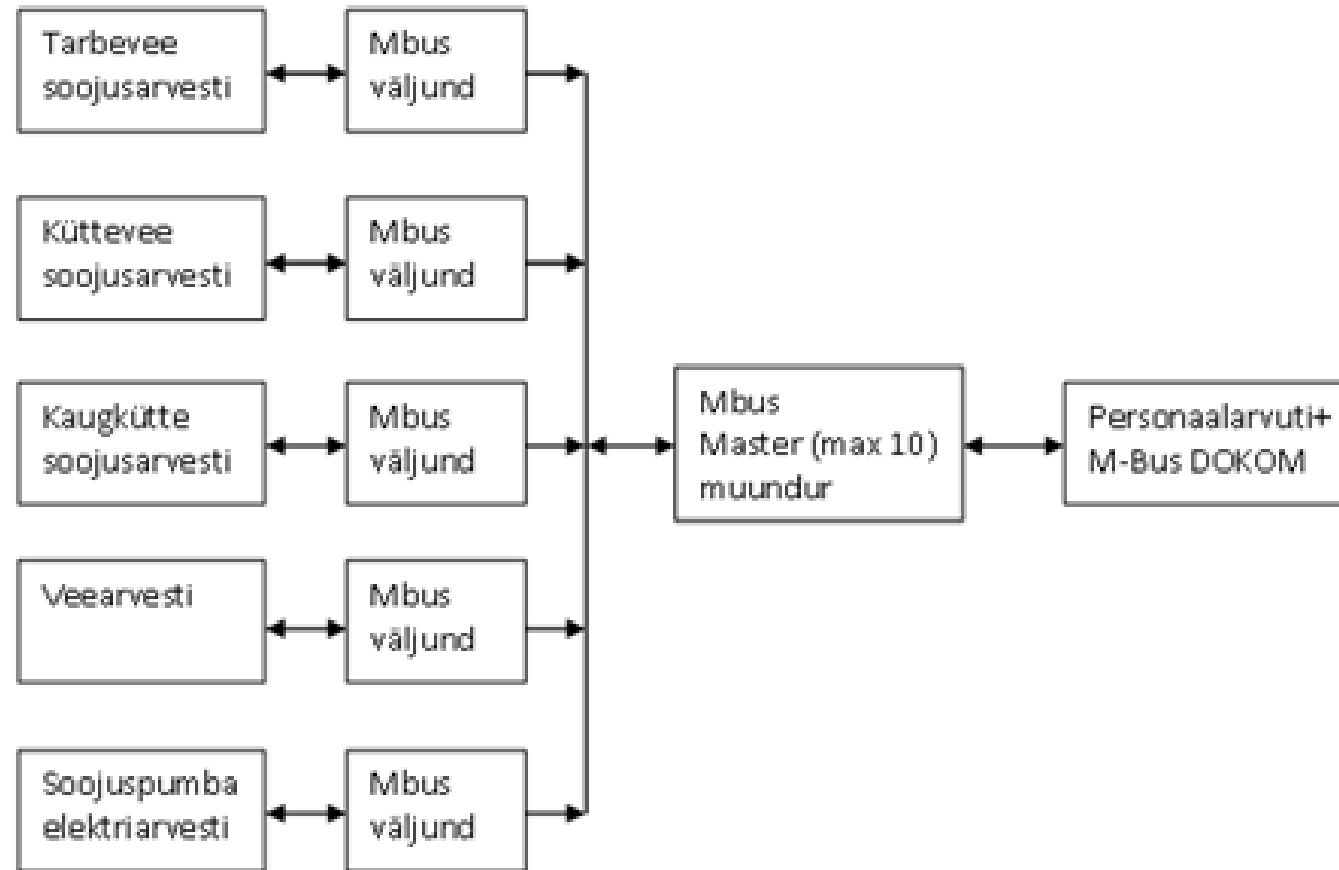
COP sõltuvus väliõhu temperatuurist



- Madalate välistemperatuuride korral COP **langeb**
- Suveperioodil kui toodetakse ainult sooja tarbevett COP **langeb**
- Talvel probleemid kalorifeeri **jäätumisega**- kasutada ennetavaid meetmeid



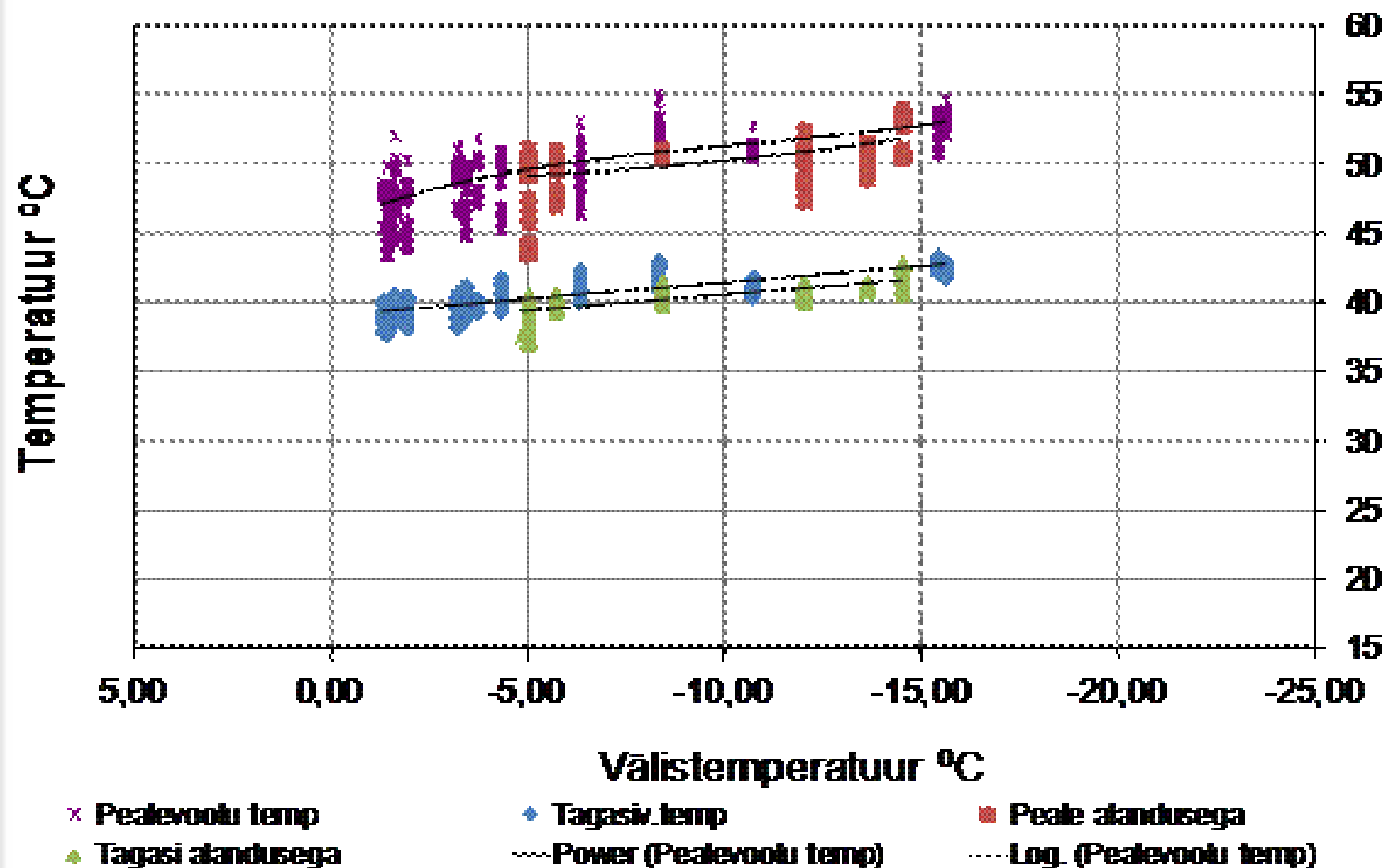
Väljatõmbeõhu soojuspumba uuringud



- Mõõtmistel kasutatud salvestusintervall 1 min

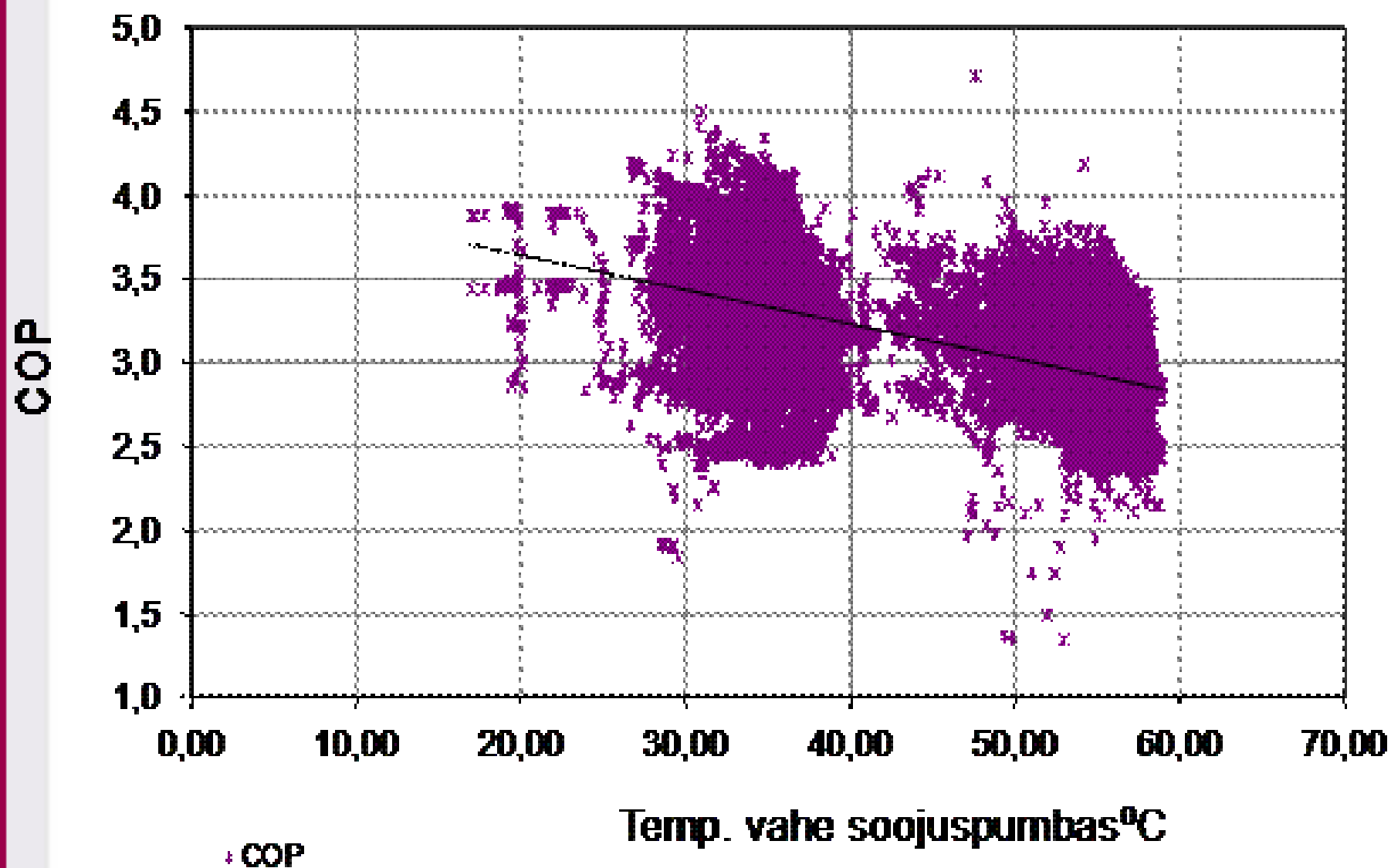


Hoone küttegaafik



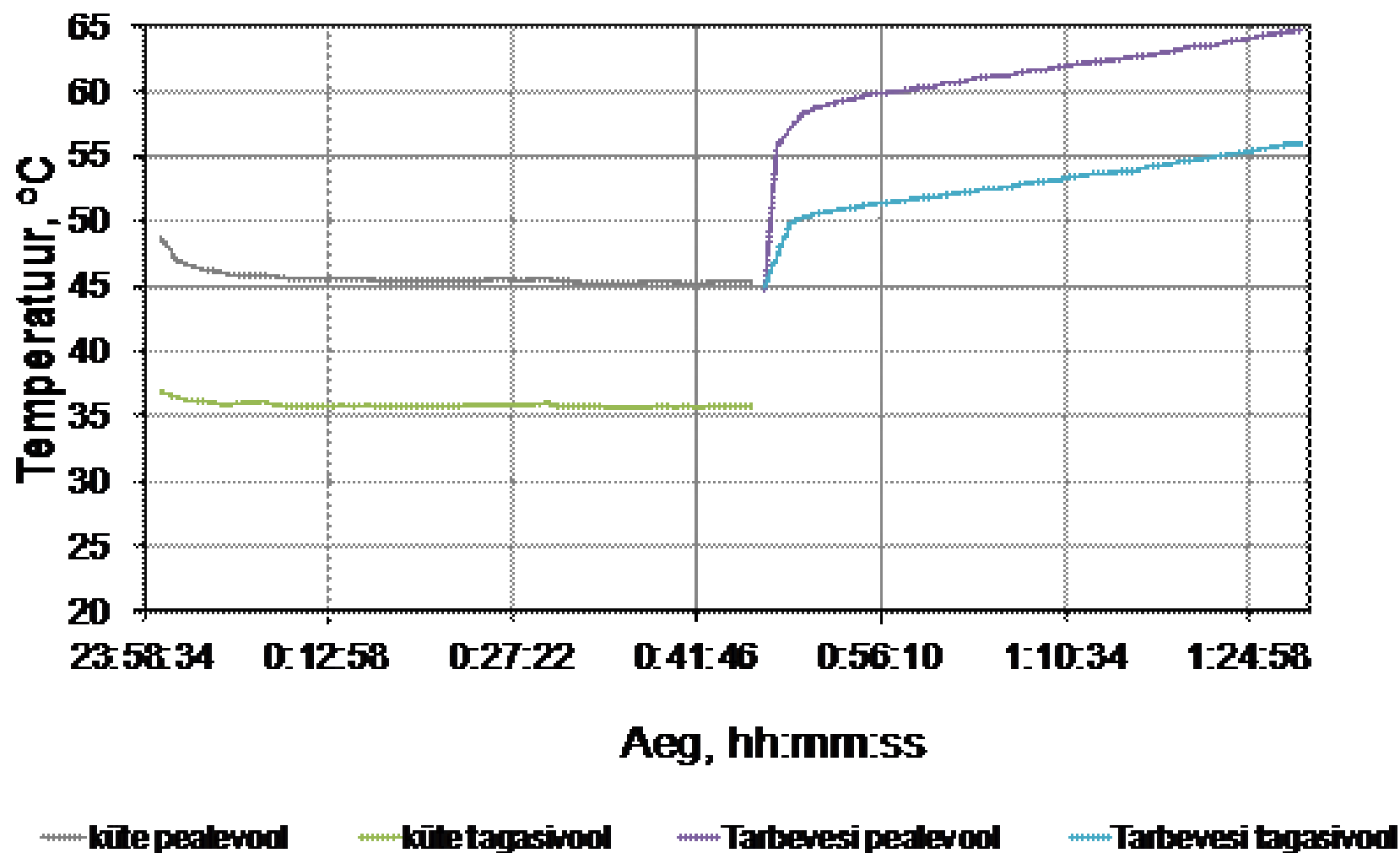


COP sõltuvus temperatuuride vahest soojuspumbas



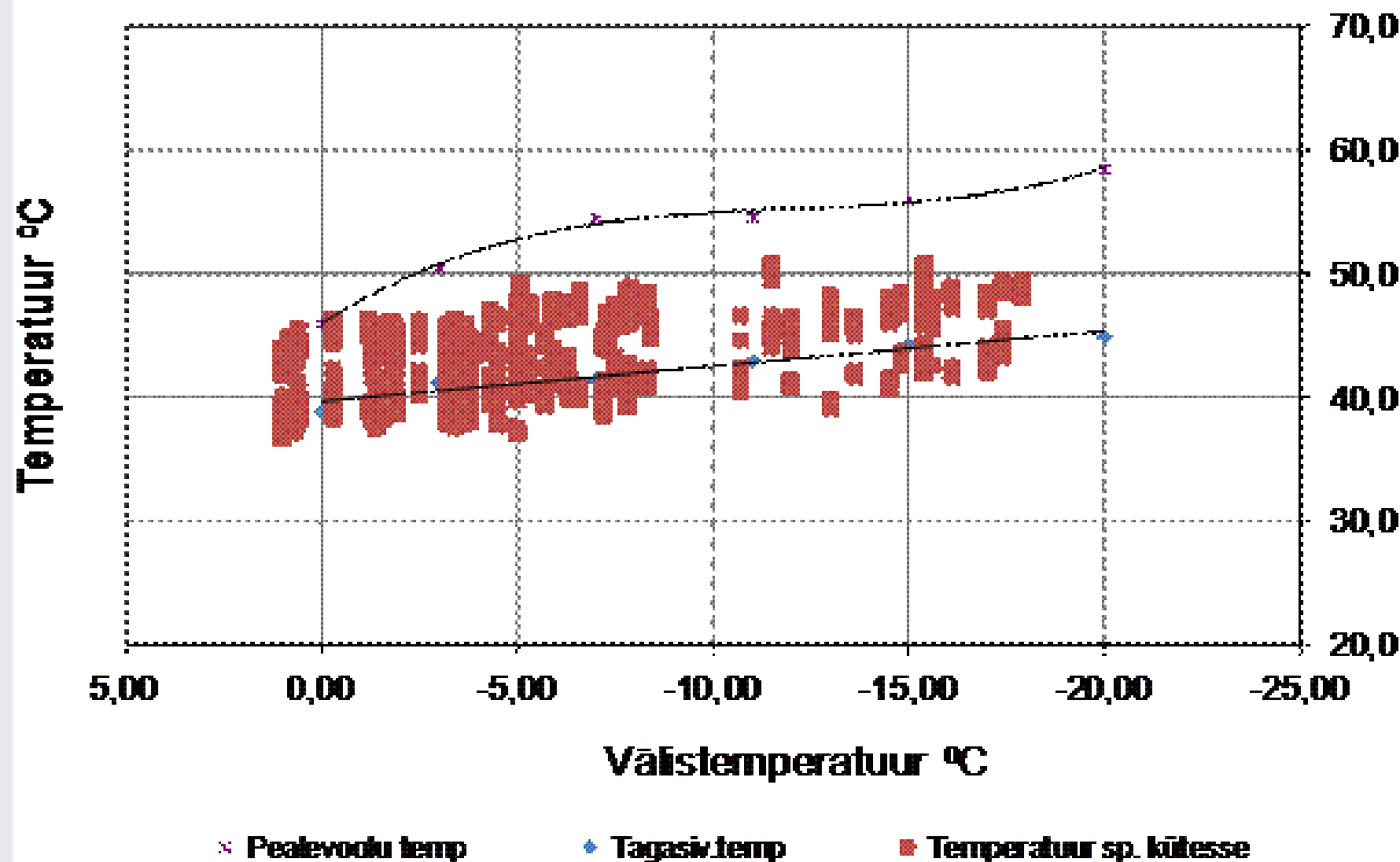


Soojuspumba töö kütmise ja tarbevee soojendamise perioodil



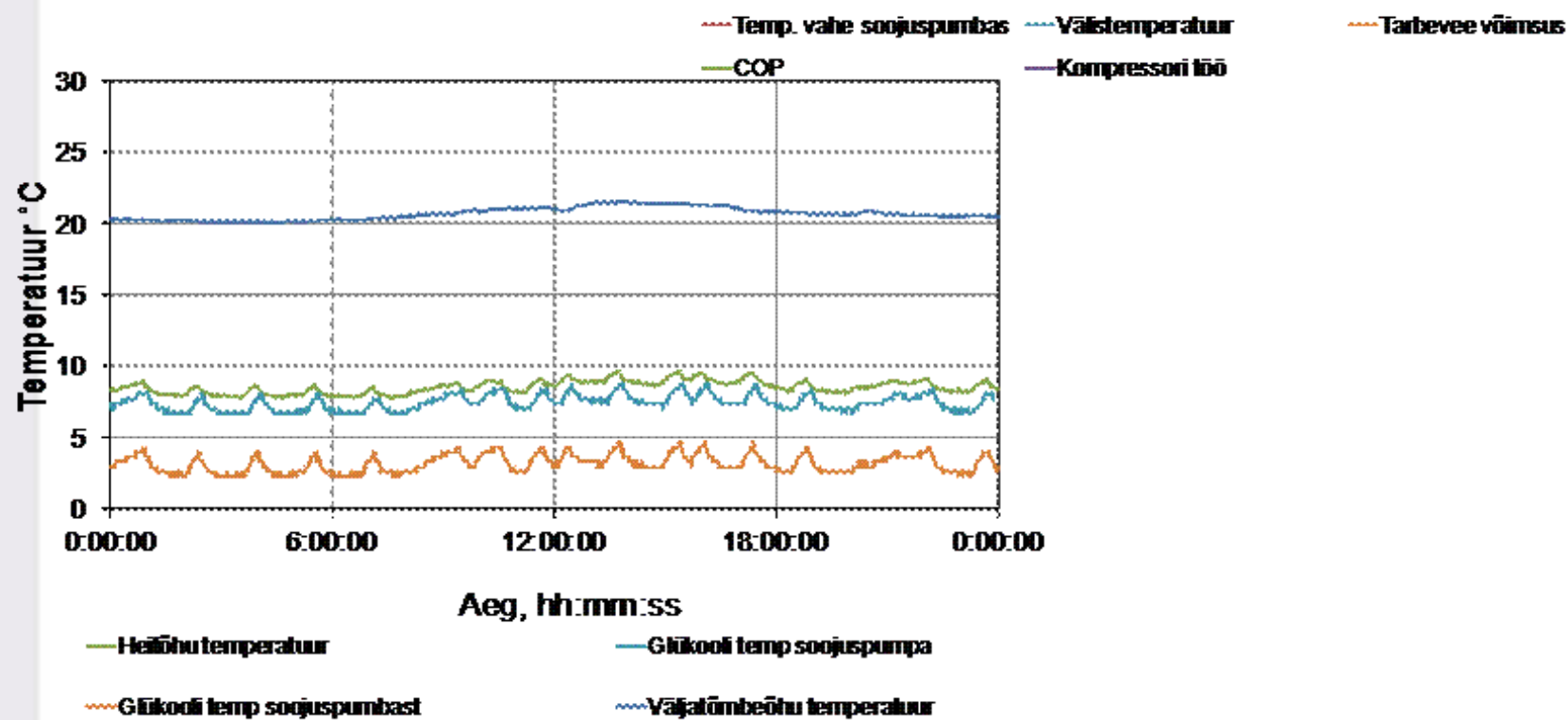
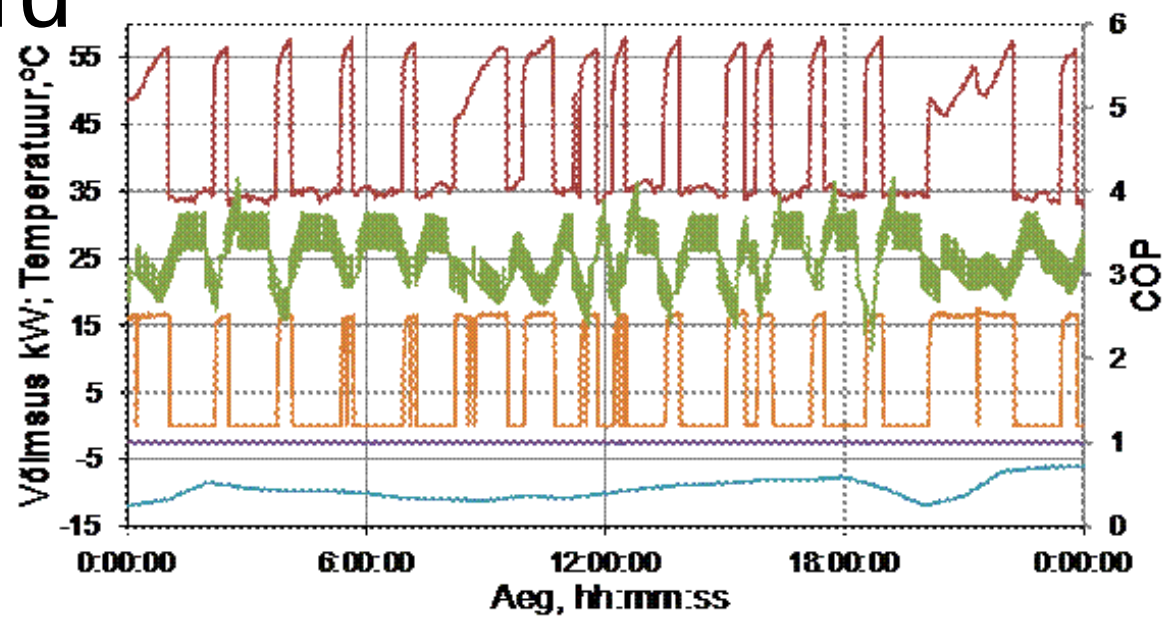


Soojuspumba töö sõltuvus küttegaafikust





Talvine olukord





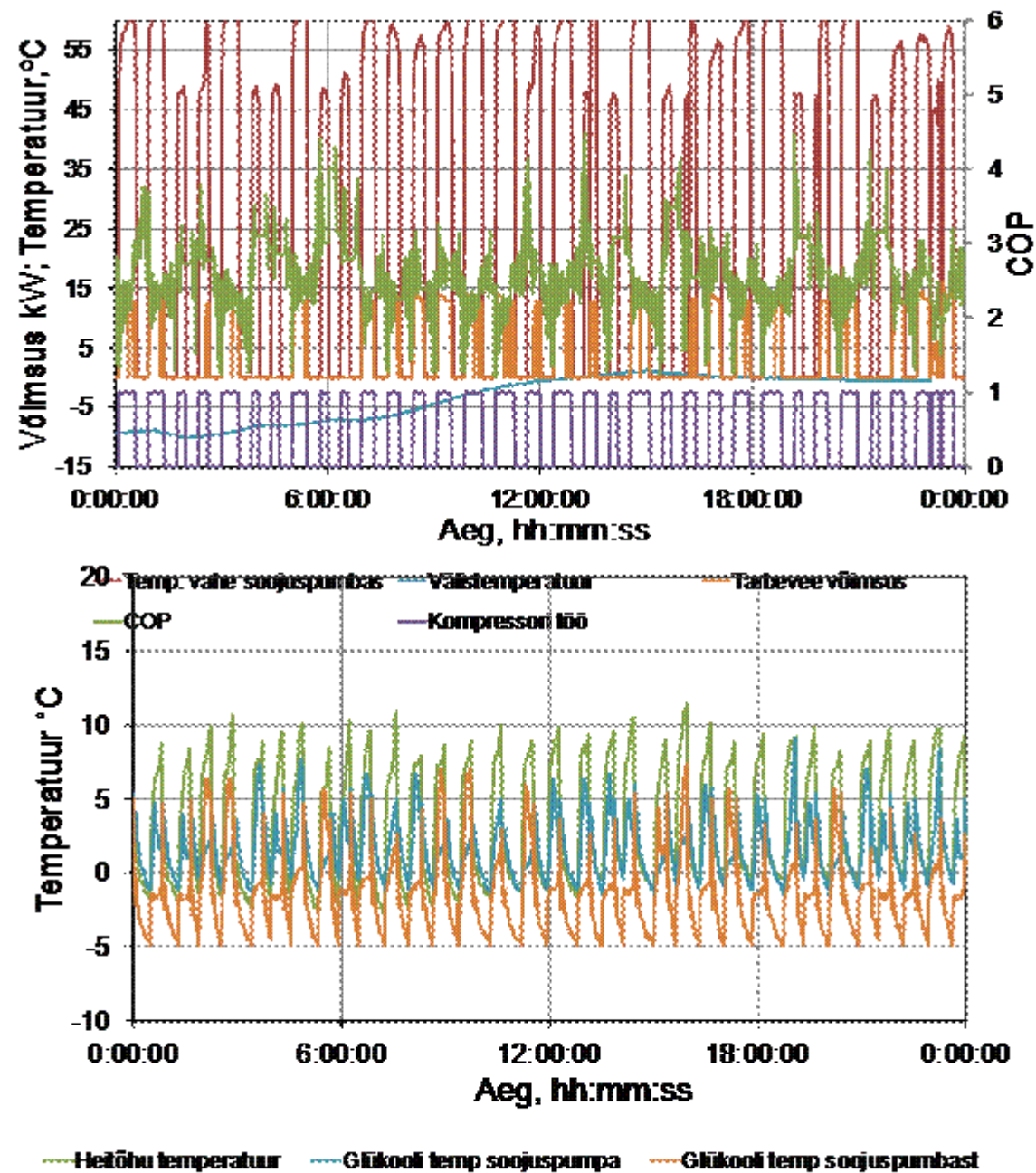
Talvise ja suvise päeva tarbimisandmed

Kaugkütte soojus kogu perioodil	0,739	MWh	Osakaal toodangu st %
Soojuspumba elektritarve perioodil	0,126	MWh	
Soojuspumba toodetud soojus kokku	0,400	MWh	
Soojuspumba poolt toodetud küte	0,240	MWh	60,0
Soojuspumba poolt toodetud tarbevee soojus	0,160	MWh	40,0
Ventilatsioonist tagastuv soojus	0,274	MWh	
Perioodi COP	3,18		
Perioodi soojuspumba osatähtsus	35,1	%	
Perioodi tagastatud ventilatsioonisoojuse osatähtsus	24,1	%	

Kaugkütte soojus perioodil,	0,000	MWh	Osakaal toodangu st %
Soojuspumba elektritarve perioodil	0,033	MWh	
Soojuspumba toodetud soojus kokku	0,104	MWh	
Soojuspumba poolt toodetud küte	0,000	MWh	0,0
Soojuspumba poolt toodetud tarbevee soojus	0,104	MWh	100,0
Ventilatsioonist tagastuv soojus	0,071	MWh	
Perioodi COP	3,15		
Perioodi soojuspumba osatähtsus	100,0	%	
Perioodi tagastatud ventilatsioonisoojuse osatähtsus	68,3	%	

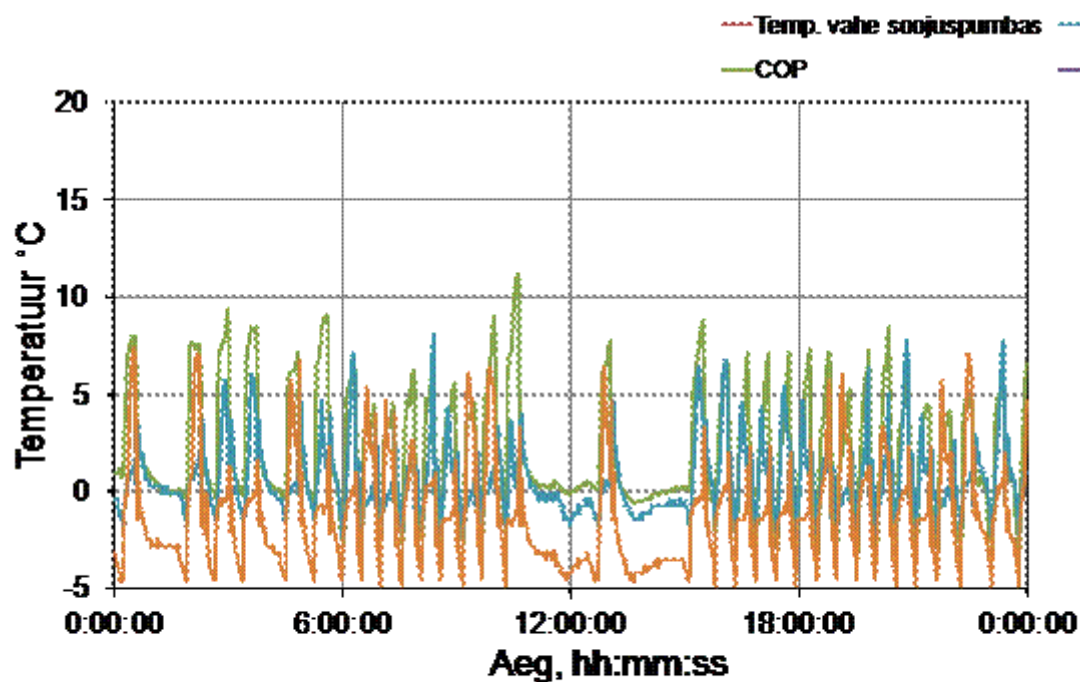
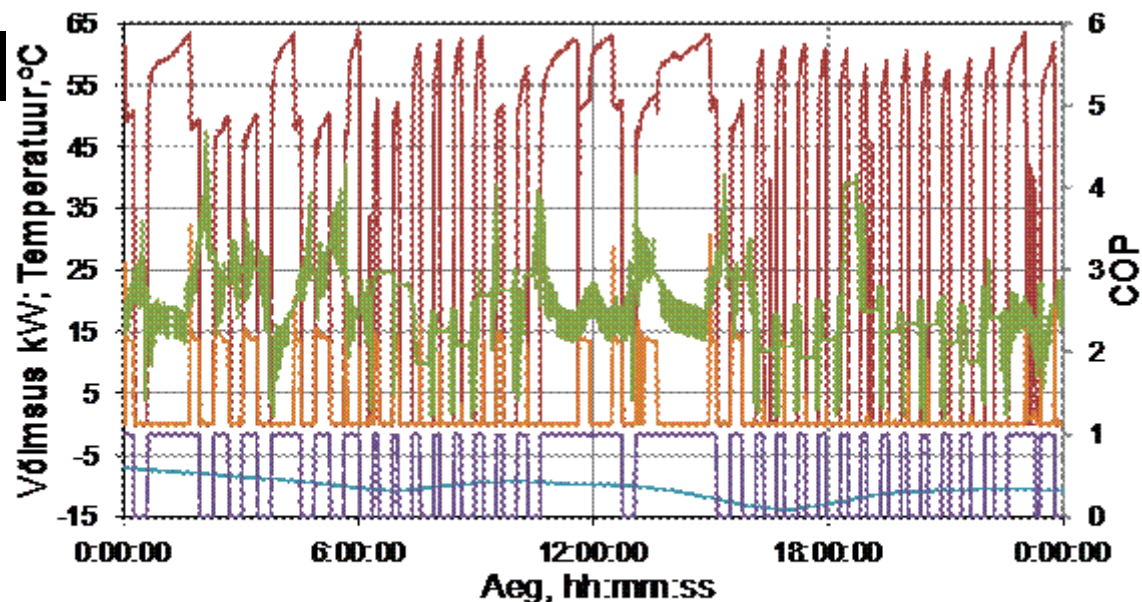


Soojusvaheti jäätumine





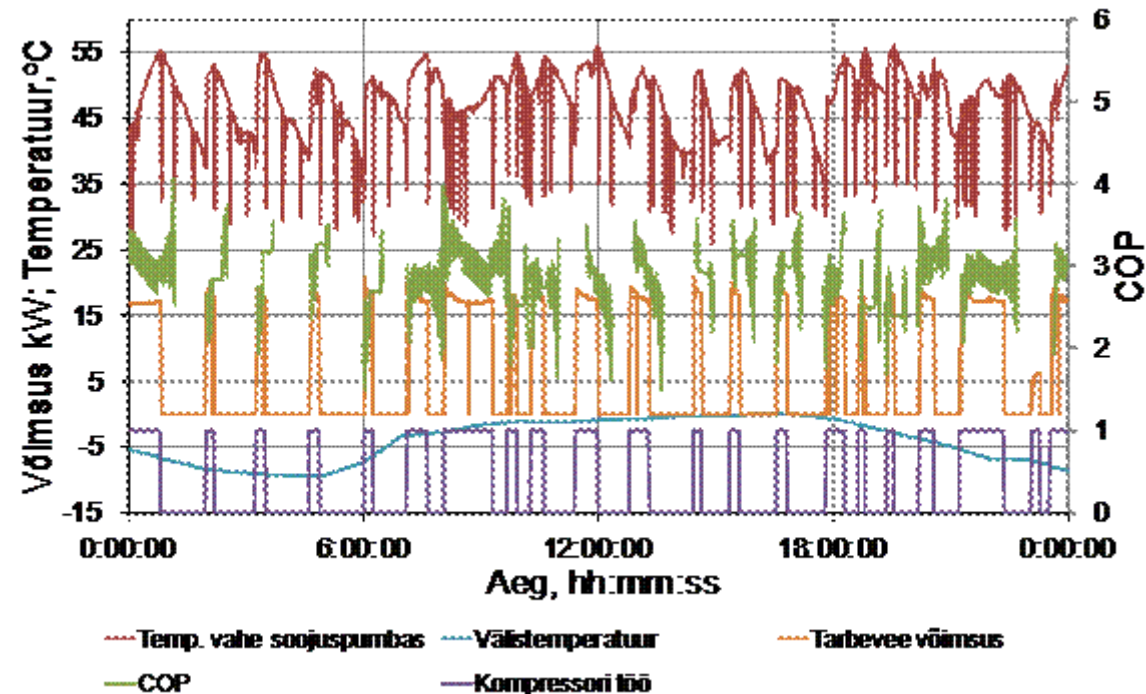
Õhuvooluhulga vähendamine madalatel temperatuuridel



Heaõhu temperatuur Glükooli temp soojuspumpa Glükooli temp soojuspumbast



Soojussõlme küttegaafiku tõstmine



Kaugkütte soojus kogu perioodil	0,846	MWh	Osakaal toodangu st %
Soojuspumba elektritarve perioodil	0,0555	MWh	
Soojuspumba toodetud soojus kokku	0,159	MWh	
Soojuspumba poolt toodetud kütte	0,003	MWh	1,9
Soojuspumba poolt toodetud tarbevee soojus	0,156	MWh	98,1
Ventilatsioonist tagastuv soojus	0,1035	MWh	
Perioodi COP	2,87		
Perioodi soojuspumba osatähtsus	15,8	%	
Perioodi tagastatud ventilatsioonisoojuse osatähtsus	10,3	%	



Tasuvusaeg

Aastased kulutused		
elekter	29,871	MWh
elektri maksumus	3400,18	€
kaugküte	85,145	MWh
kaugkütte maksumus	6483,79	€
kogu energia maksumus	9883,97	€
kapitalikulu	2406,49	€
kokku kulud	12290,47	€
võrdlus kaugküttega	12293,20	€
tasuvusaeg	9,60	a
sisendenergia hinnavähe	2409,23	€

- Reaalse aasta energia tagastamise suhtarvuks $\eta_Q=0,58$



Eelised võrreldes traditsioonilise ventilatsiooni soojustagastussüsteemiga

- Suvise vabasoojuse kasutamise võimalus
- Pole vaja sissepuhketorustiku
- Saab “väiksema” maja ehitada
- Väiksem esmainvesteering
- Madalamad hoolduskulud



Puudused võrreldes traditsiooniliste ventilatsiooni soojustagastitega

- Puuduvad lõpuni viimistletud lahendused
- Süsteem on oluliselt “keerukam tehniline seade” ja on selletõttu palju “hooldustundlikum”
- Soojuse tagastamisel kasutatakse palju elektrienergiat, mille energiatõhususe hindamiskoefitsient on 2
- Soojustagastuse efektiivsus sõltub teistest ventilatsiooniga mitteseotud süsteemidest (vesikütte olemasolu ja madal küttegraafik)
- Süsteemile laienevad kõik värskeõhuklappidega süsteemi puudused



Mida jälgida VTSP süsteemi projekteerimisel ja ekspluatatsioonis?

- Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi projekteerimisel jälgida järgmist:
 - Maksimaalne sooja vee temperatuur
 - Soojuspumba ja soojussõlme ühine juhtimine
 - Tegemist tegemist tehnosüsteemiga - vajab hooldust
 - Võimalikult optimaalne temperatuurigraafiku valik
 - Soojuspump ühendada nii, et see saaks soojust ära anda ka sooja tarbevee tsirkulatsioonile



TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL