

Kortermajade sisekliima ja ventilatsioon

Alo Mikola
Tallinn Tehnikaülikool

Kortermajade ventilatsiooniuuringud 2014



Sissejuhatus

- Hoonete sisekliima
- Kortermajade ventilatsioonisüsteemid
- Kortermajade renoveerimisel üleskerkinud probleemid
- Ventilatsiooni renoveerimislahendused
- Regeneratiivse kärgsoojustagastiga ruumipõhised ventilatsiooniseadmed
- Rekuperatiivse soojustagastiga ruumipõhised ventilatsiooniseadmed
- Väljatõmbeõhu soojuspump



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, ionide tase ja valgustustihedus.
- Mõju avaldavad ka näiteks inimese liikumise aktiivsus, riietus, sugu ja vanus.



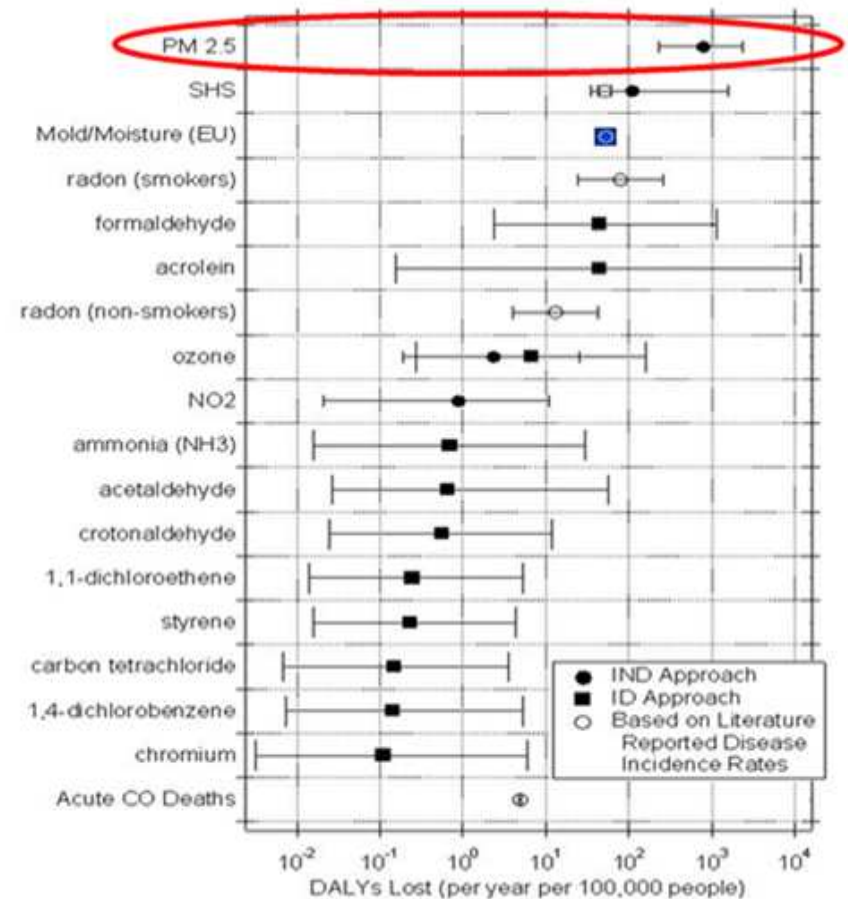
Õhu puhtus

- 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)





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*

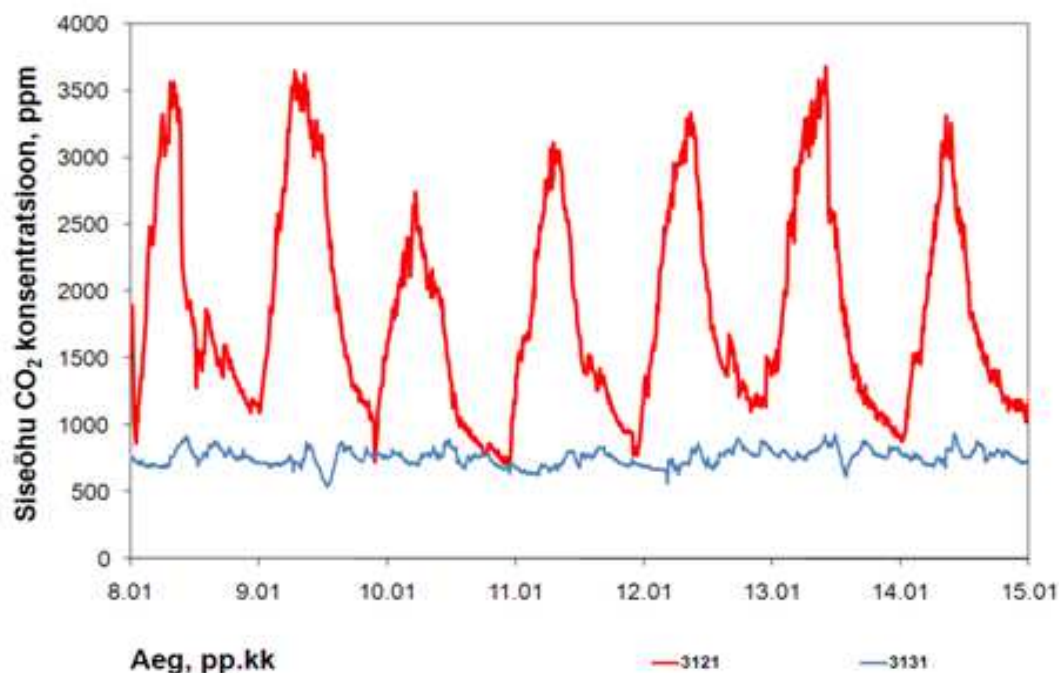


Sisekliima klasside kirjeldus (EVS-EN-15251)

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



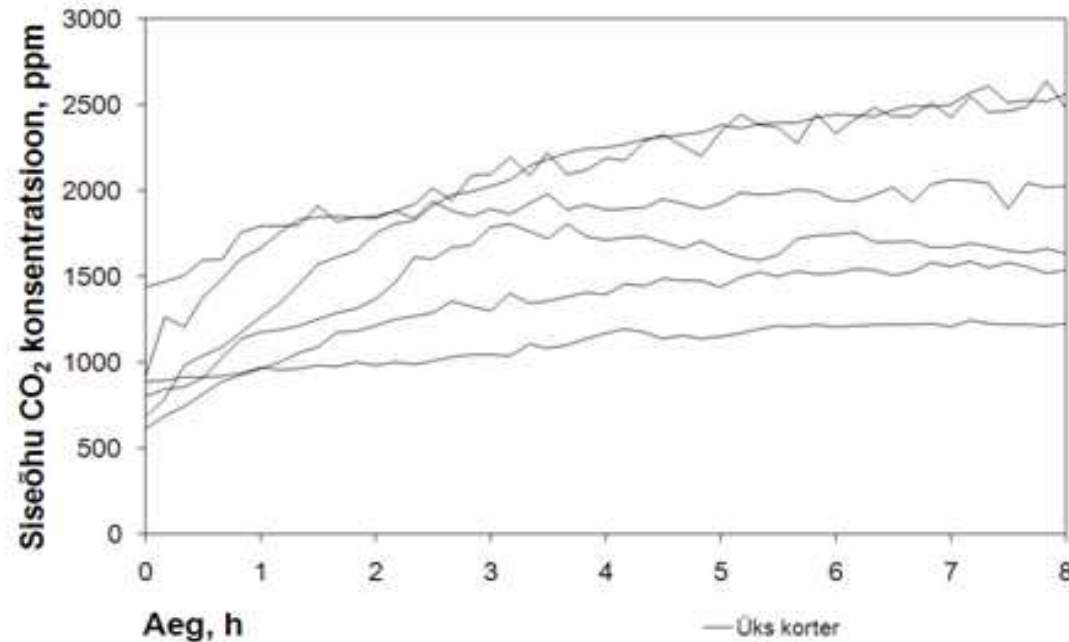
CO₂ konsentratsioonid erinevates korterites nädalapikkusel perioodil



Erinevates korterites varieerusid mõõtetulemused väga suurtes piirides.



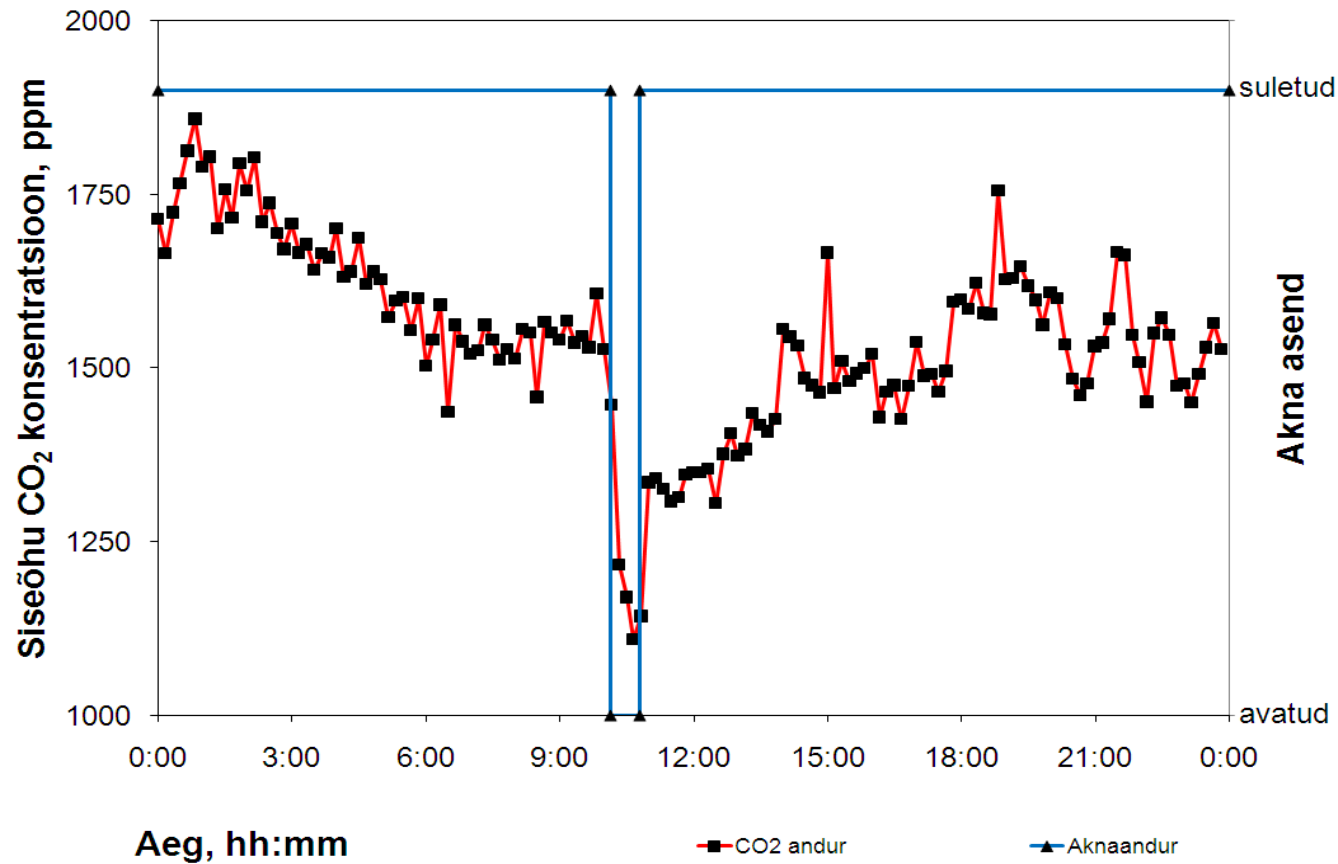
Ööperioodi tüüpilised CO₂ konsentratsiooni muutused



CO₂ konsentratsiooni muutused tulevad kõige selgemalt välja ööperioodi vältel.

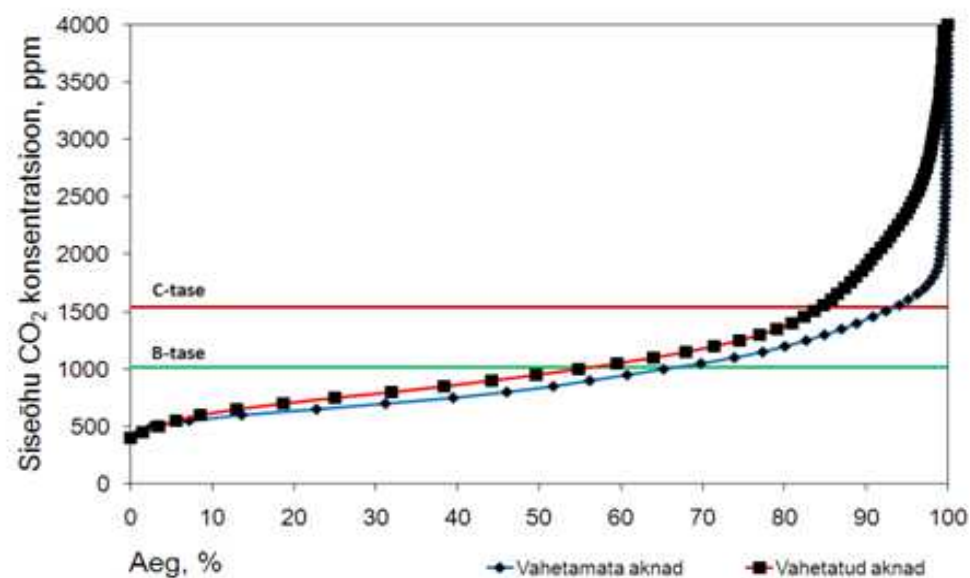


Näide CO₂ kontsentratsiooni muutustest ühe ööpäeva jooksul, aknaandur





Akende vahetuse mõju



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



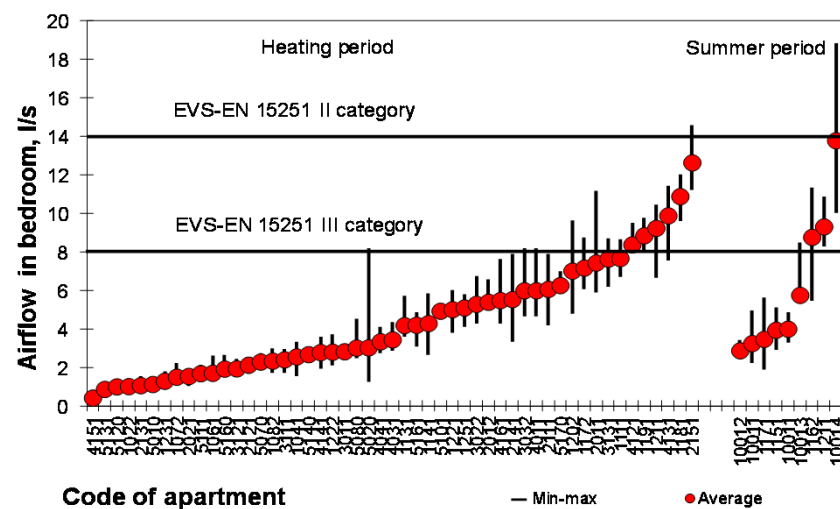
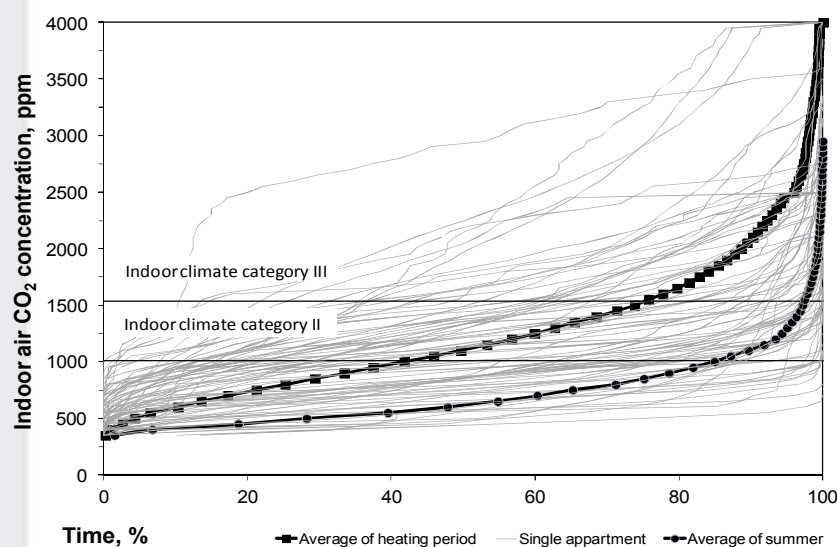
Lubatud kõrvalekalded

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 kvaliteet ja ainevahetuslik CO₂ meetod



$$m d\tau + LC_V d\tau - LC d\tau - V dC = 0.$$



Põhimõisted

■ Ventilatsioon

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

Näited eluhoonete ventilatsiooni õhuvooluhulkadest ventilatsioonisüsteemide püsiva töö juures ruumi kasutusaegadel. Eldatud on ruumiõhu täielikku segunemist (EVS-EN 15251:2007)

Sisekliima klass	Õhuvahetuse määr ^a		Elutuba ja magamistoad peamiselt välisõhu sissepuhe		Väljatõmbeõhu vooluhulk, l/s		
	l/(s*m ²) (1)	1/h	l/(s*inim) (2)	l/(s*m ²) (3)	Köögid (4a)	Vannitoad (4b)	Tualettruumid (4)
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

^a Õhuvahetuse määrad, väljendatud l/(s*m²) ja 1/h, on teineteisele vastavad, kui ruumi kõrgus on 2,5m

^b Elamu/korteri elanike arvu võib hinnata magamistubade arvu järgi. Kasutada tuleb siseriiklikul tasandil tehtud oletusi, kui need on olemas. Oletused võivad erineda energia ja siseõhu kvaliteedi arvutuses.



Ventilatsiooni ülesanne

- Tervisliku ja mugava sisekliima loomine
- Tehnoloogiliste protsessile 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)

■ Õhuvahetuse skeemi järgi:

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



Soojustagastid

- Regeneratiivsed
- Rekuperatiivsed

- Rootorsoojustagati
- Plaatsoojustagasti
 - Ristivoolu plaatsoojustagasti
 - Vastuvoolu plaatsoojustagasti
- Vahesoojuskandjaga soojusagasti
- Soojuspumbal baseeruv soojustagasti
 - Väljatõmbeõhu soojuspump

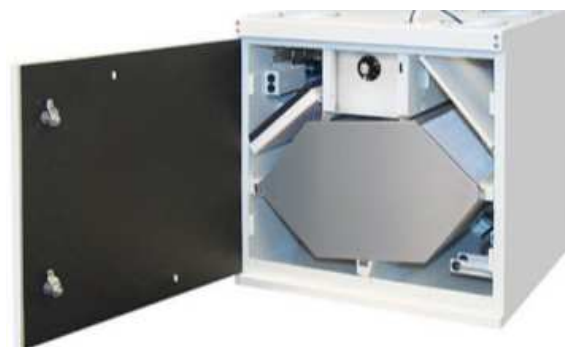
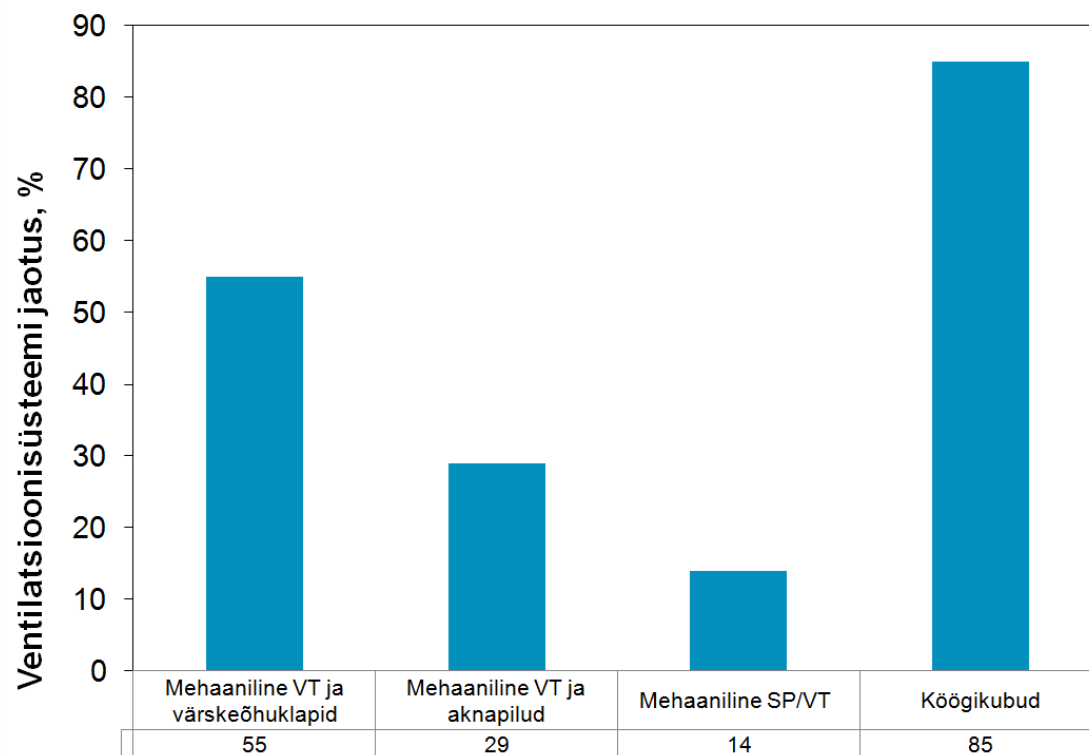


Korterelamute ventilatsioonisüsteemide jaotus

Ventilatsioonisüsteem	Konstruktsiooniperiood					Renoveerimis- lahendus
	<1920	1921- 1945	1946- 1970	1971- 1990	1991- 2010	
Ilma ventilatsioonisüsteemita						
Loomulik ventilatsioon						
Mehaanilise väljatõmbeventilatsioon						
Mehaaniline sissepuhke/väljatõmbe ventilatsioon						

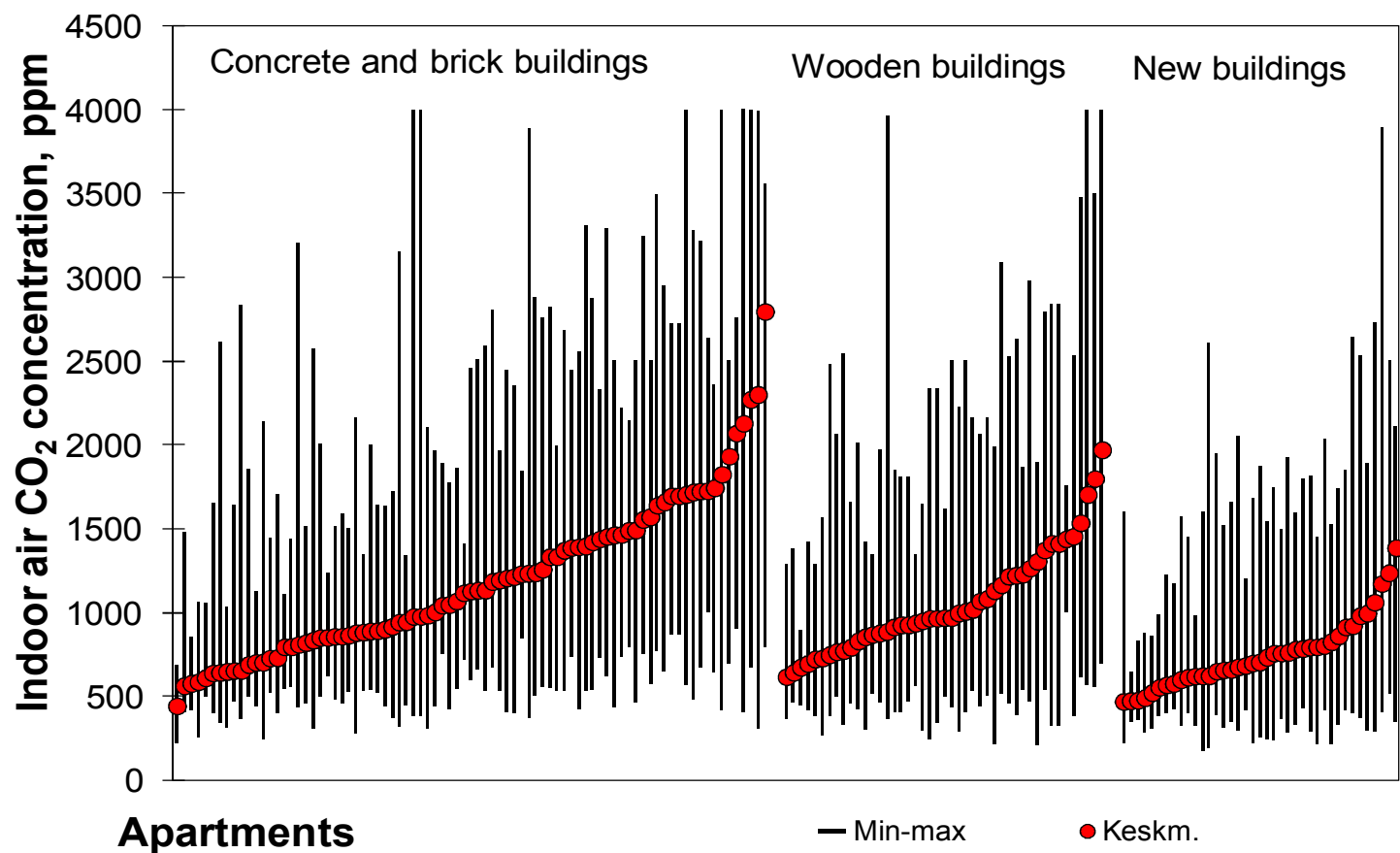


Uute kortermajade ventilatsioonisüsteemide jaotus



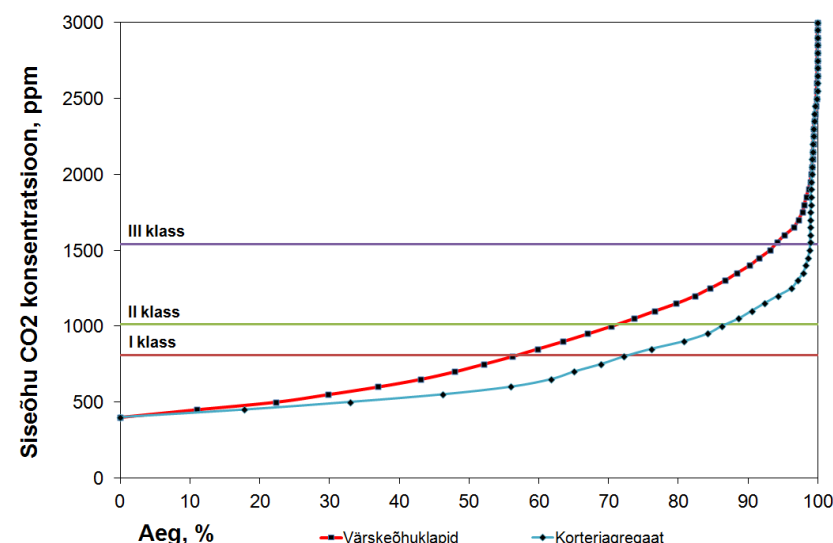
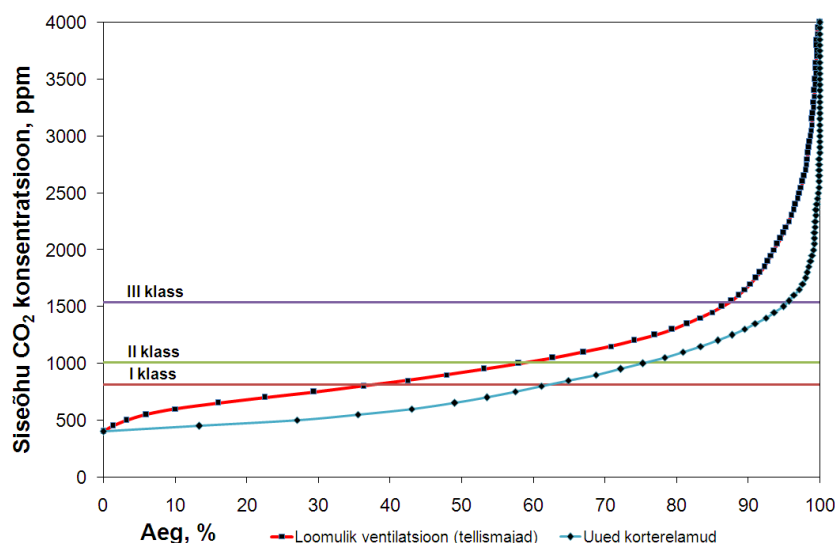


Siseõhu CO₂ sisaldus vastavalt uuringutele





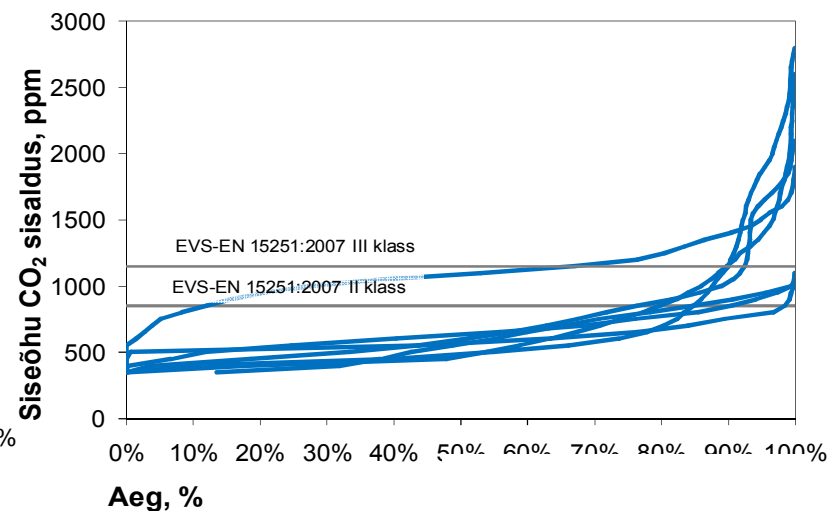
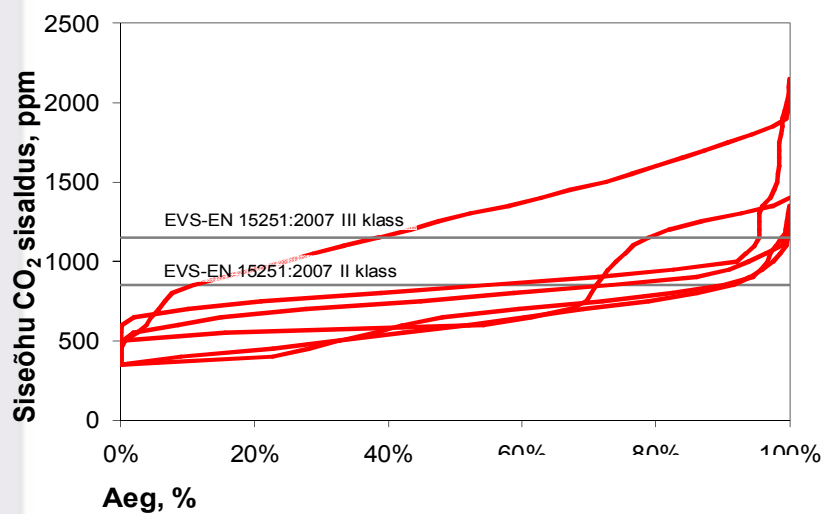
Siseõhu kvaliteet erinevate ventilatsioonisüsteemide korral



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



Siseõhu kvaliteet enne ja pärast renoveerimist



Kõigi korterite magamistubade CO₂ sisaldus enne (*vasakul*) ja pärast (*paremal*) renoveerimist.



Renoveerimisel üleskerkinud probleemid

- Toimub õhuvooluhulkade massiline vähendamine
- Korterite väljatõmbe lõppelementide mitteasendamine tänapäevaste õhujaotajate vastu
- Sanitaarruumdes puuduvad siirdeõhurestid või uksepilud
- Ehituslikud väljatõmbešahtid ei ole õhutihedad
- Ühine köögisondide väljatõmbetorustik põhjustab lõhnade levikut
- Ühiskanalitega süsteemide puhul puuduvad korteritevaheised mürasummutajad
- Värskeõhuklapid ja aknapilud “puhuvad peale”
- Ventilatsioon unustatakse miinimum asendisse
- Ventilatsioonisüsteemi automaatika ei ole kasutussõbralik, puudub üldse või ei ole töökorras
- Süsteemide puudulik ekspluatatsiooniaegne hooldus (filtrite vahetus, süsteemide jälgimine, probleemide kõrvaldamine)



Probleemide põhjused: **Projekteerimine**

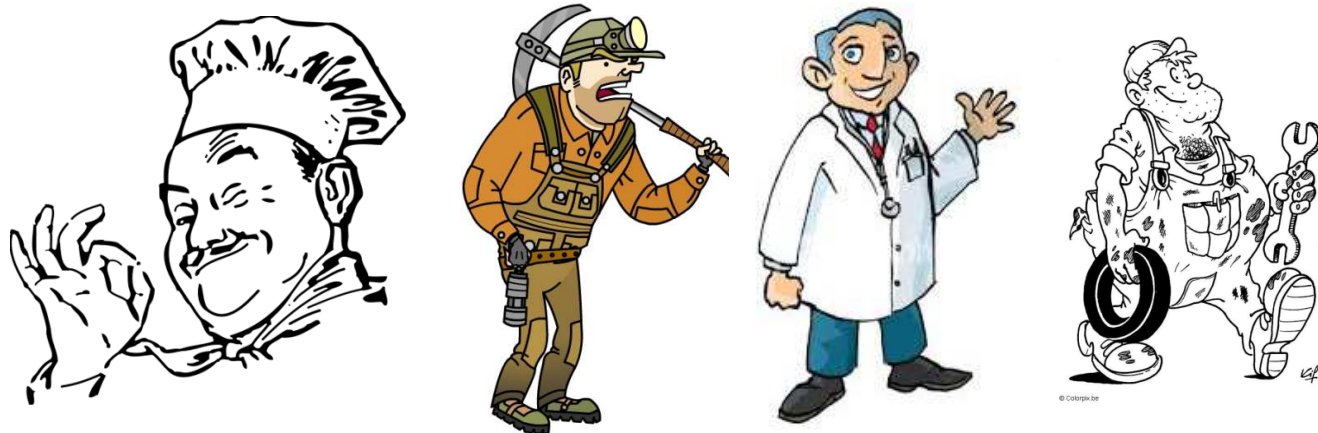
- Kehtiv kutsestandard projekteerijatele
- Olemasolevad standardid kortermajade kütte ja ventilatsioonisüsteemide projekteerimiseks
 - SNiP (<1990)
 - D2 (Soome norm), EPN (Estonian projekteerimismid).
 - EVS (Eesti standard 2000...2010)
 - EN-ISO 15251, CEN/TR 14788

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
 - Järelvalvet ei teosta erialase ettevalmistusega inimesed



*Ventilatsioonissüsteeme ehitavad erialase
ettevalmistuseta inimesed!*



Probleemide põhjused: Hooldus

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





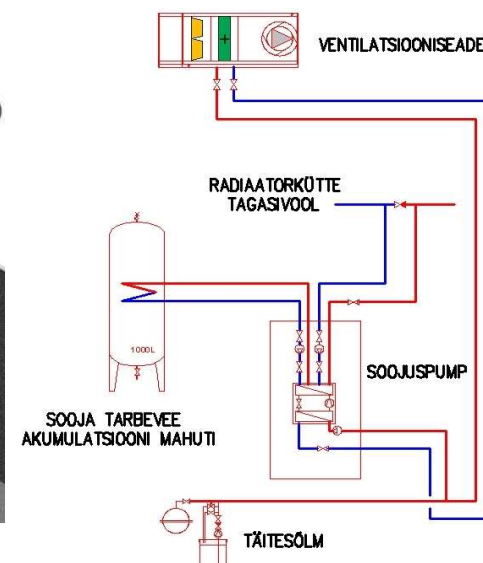
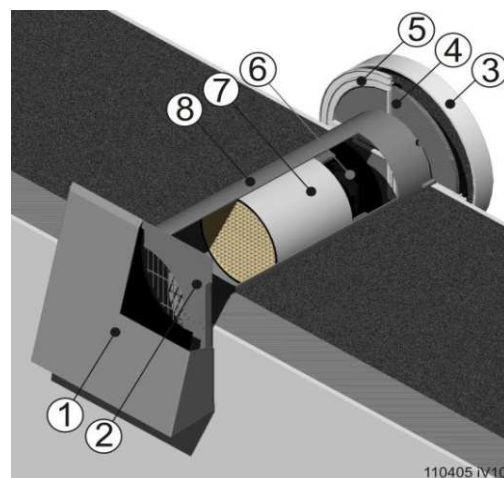
Ehitus- ja projekteerimisvead





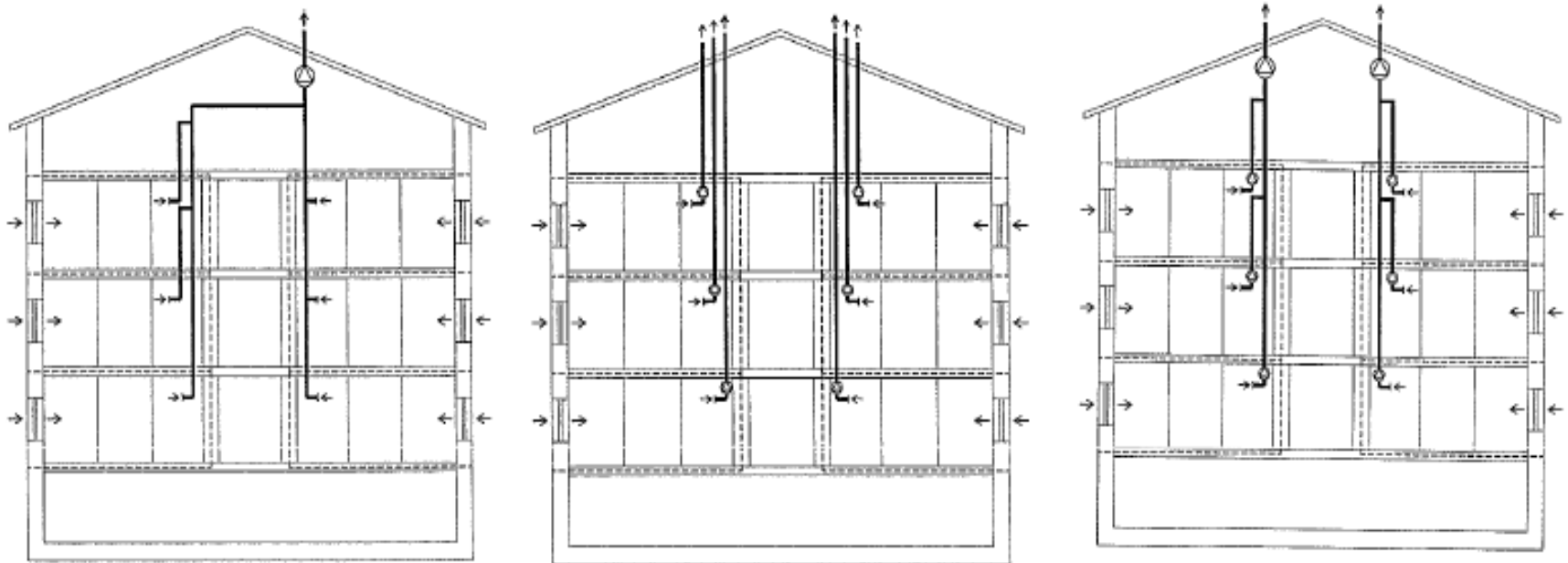
Ventilatsiooni renoveerimislahendused

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





Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon



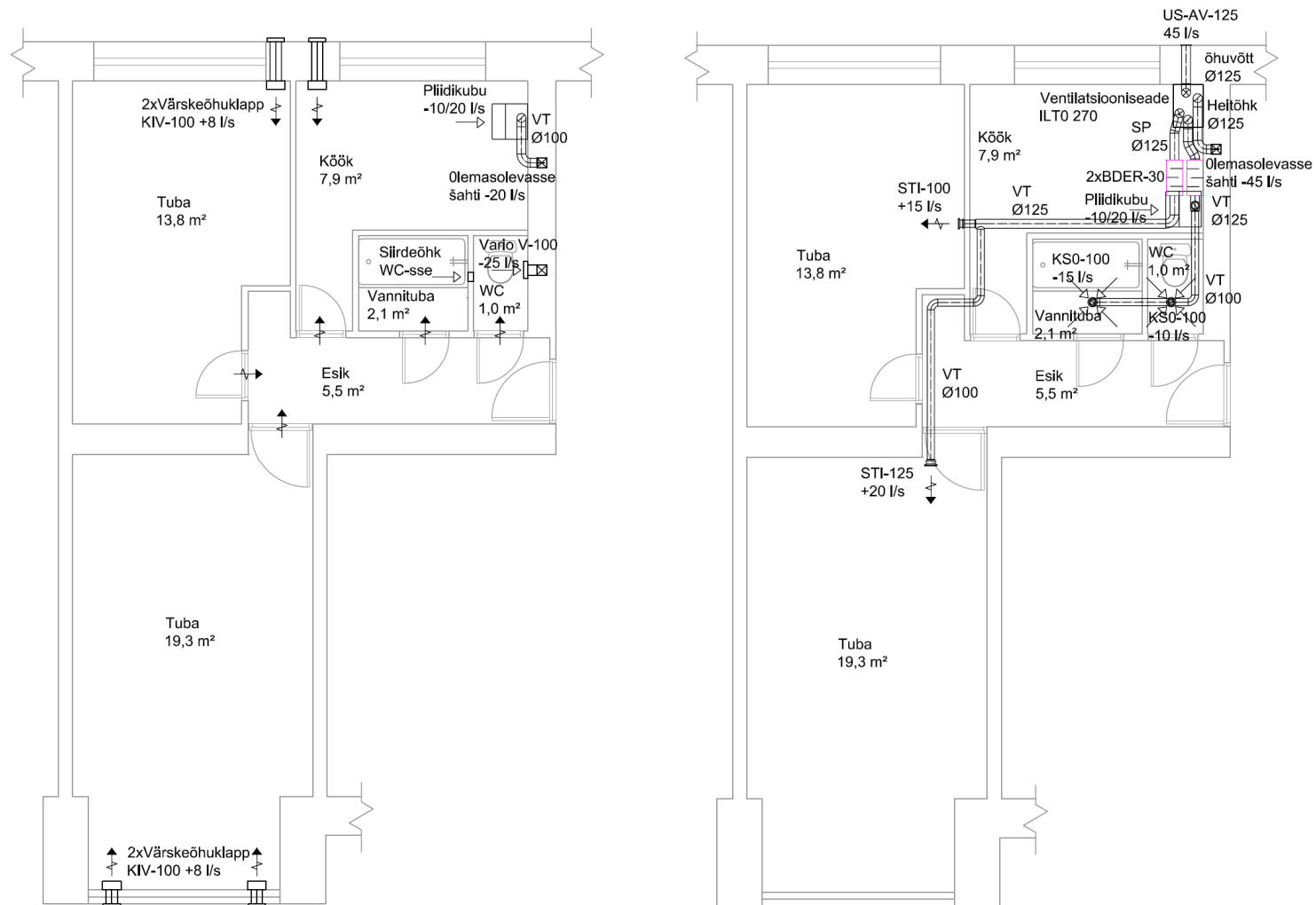
Vasakul – tsentraalne väljatõmme ja värskeõhu klapid

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)



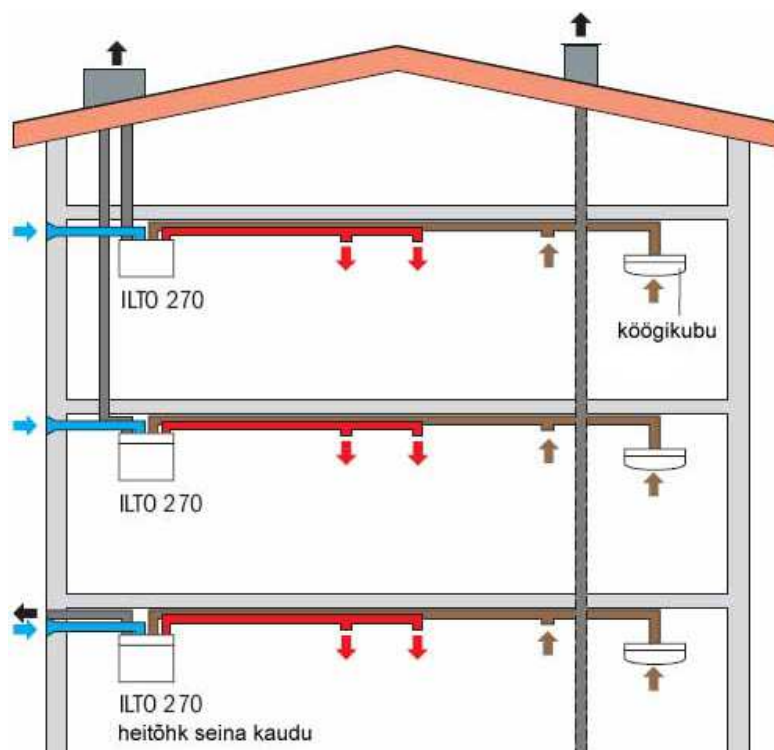
Vajadusepõhiselt reguleeritavad lõppelemendid



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



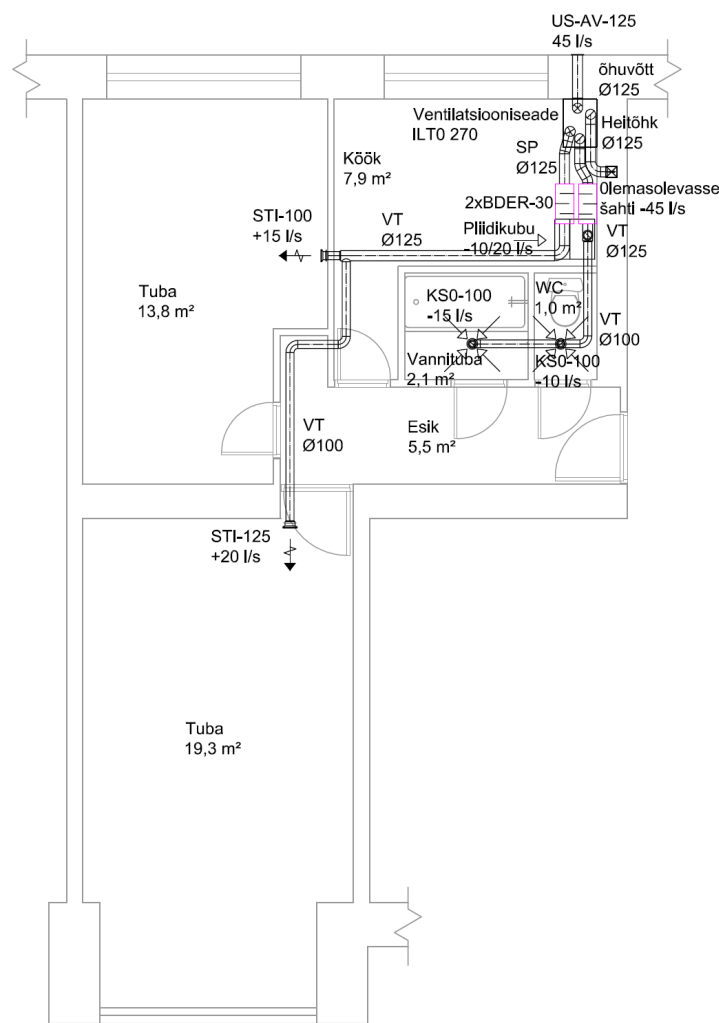
Korteri- või trepikoja põhine mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon



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

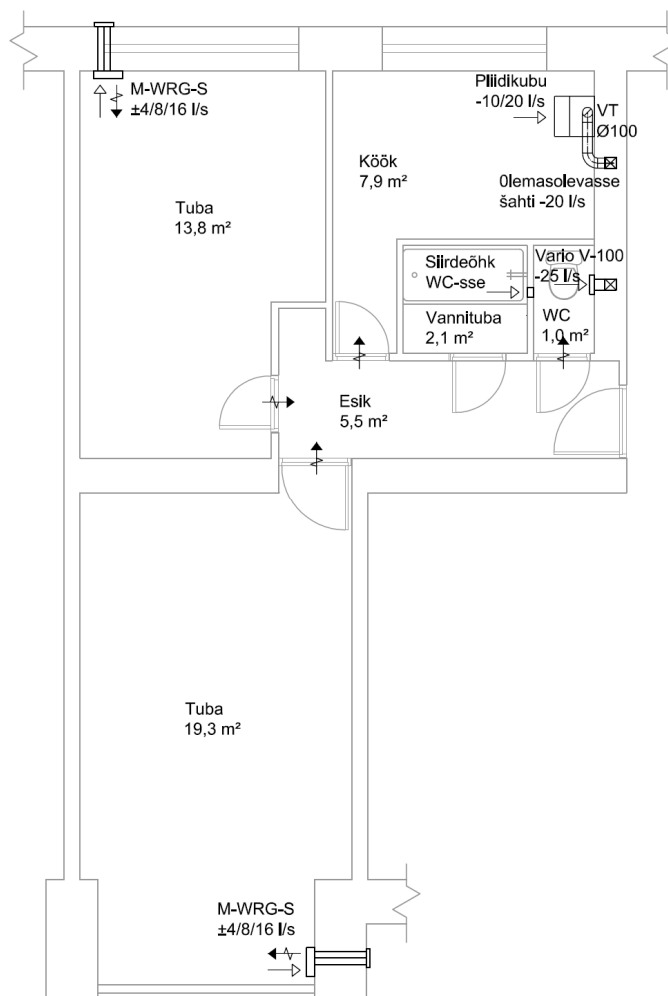


Kindlasti arvestada ka sellega, et sanitaarruumides oleks võimalik nende ruumide kasutusajal tagada vähemalt sisekliima III klassi järgne õhuvahetus, samuti tuleb tagada minimaalne alarõhk neis ruumides ka kasutusvälisel ajal.

Arvestada tuleb väljatõmbeventilaatorite, lõppelementide ja tagasilöögiklappide paigaldamisega.



Ruumiagregaatidega lahendus





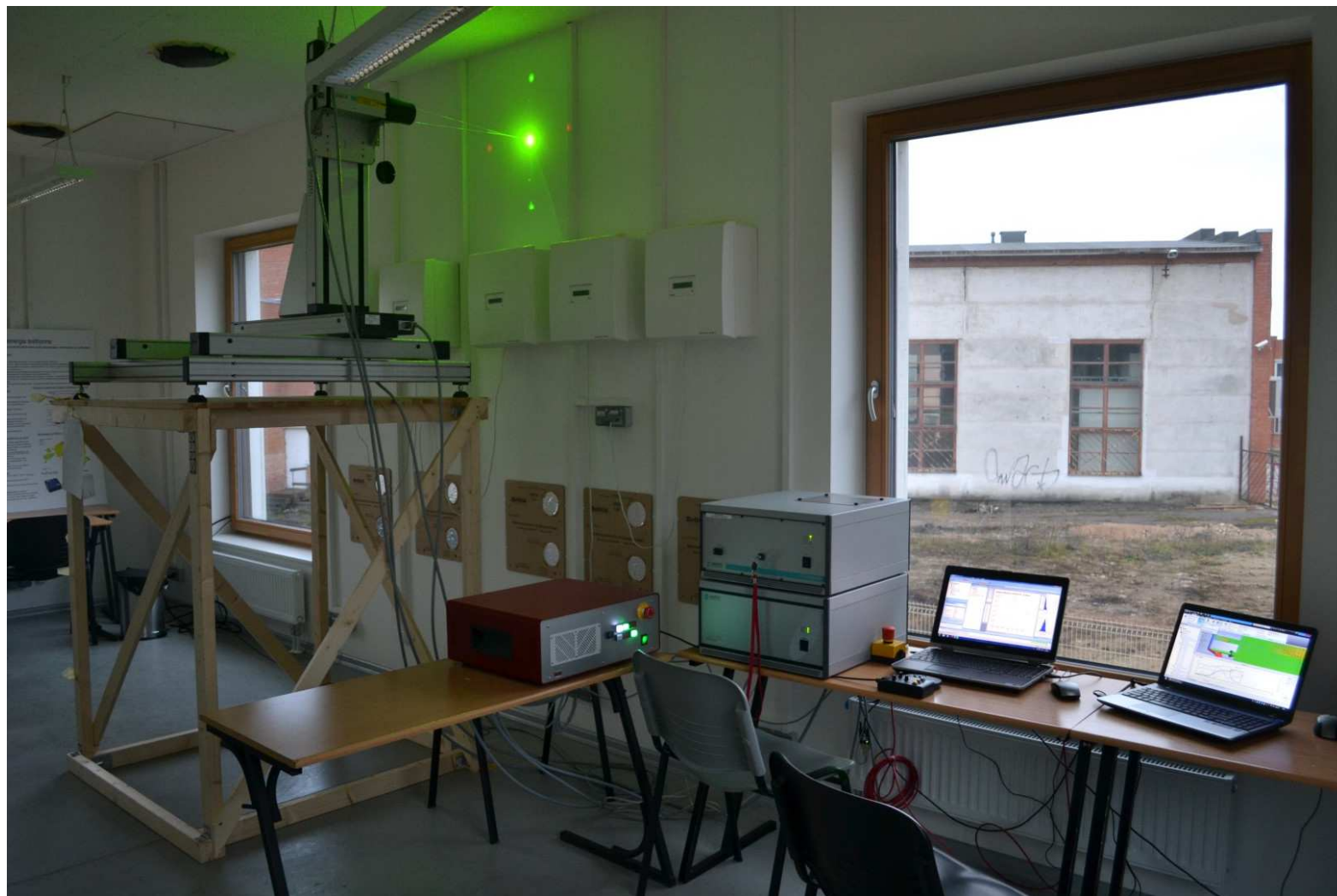
Ruumiagregaatide katsetused

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





Ruumiagregaatide katsetused



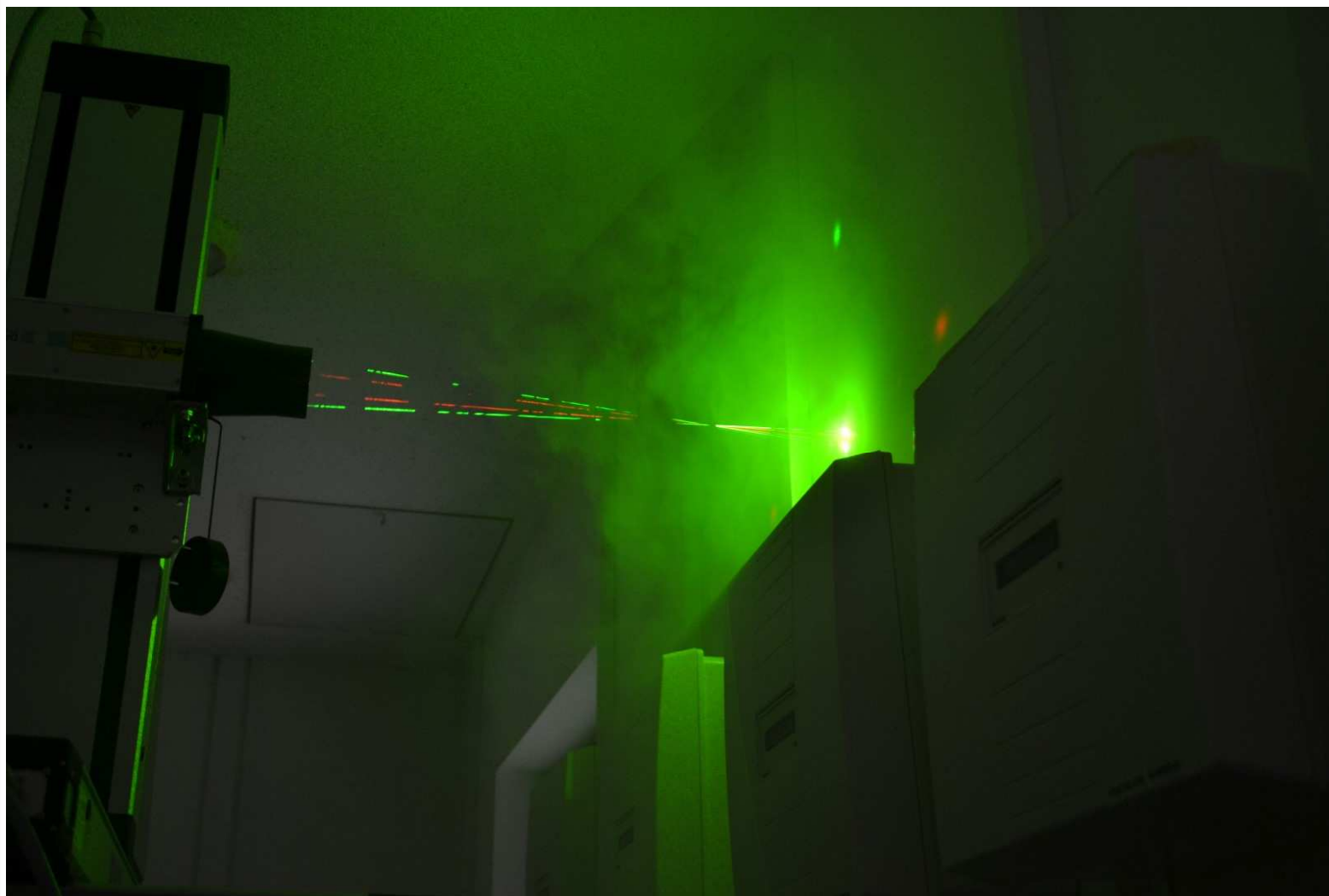


Ruumiagregaatide katsetused





Ruumiagregaatide katsetused



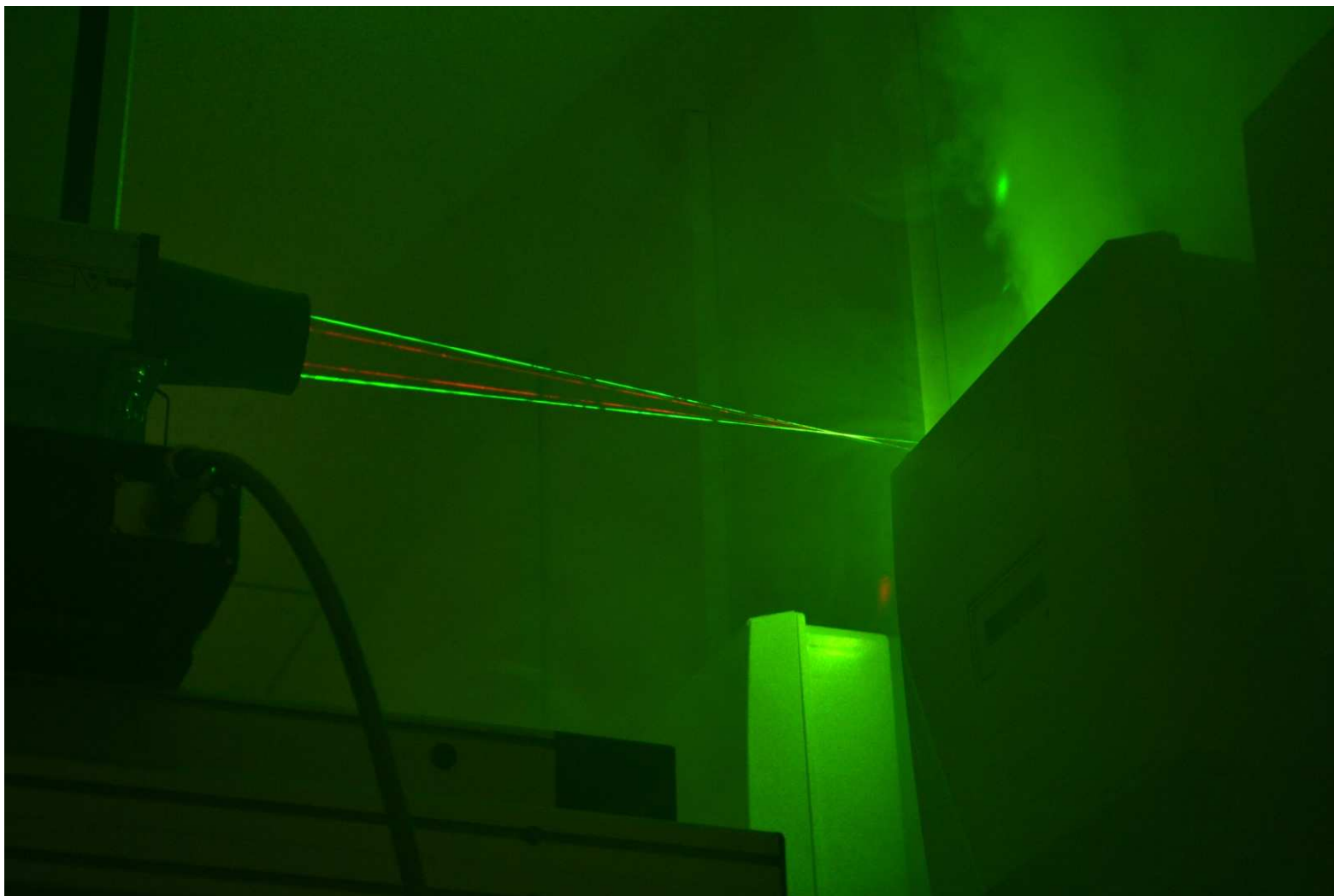


Ruumiagregaatide katsetused



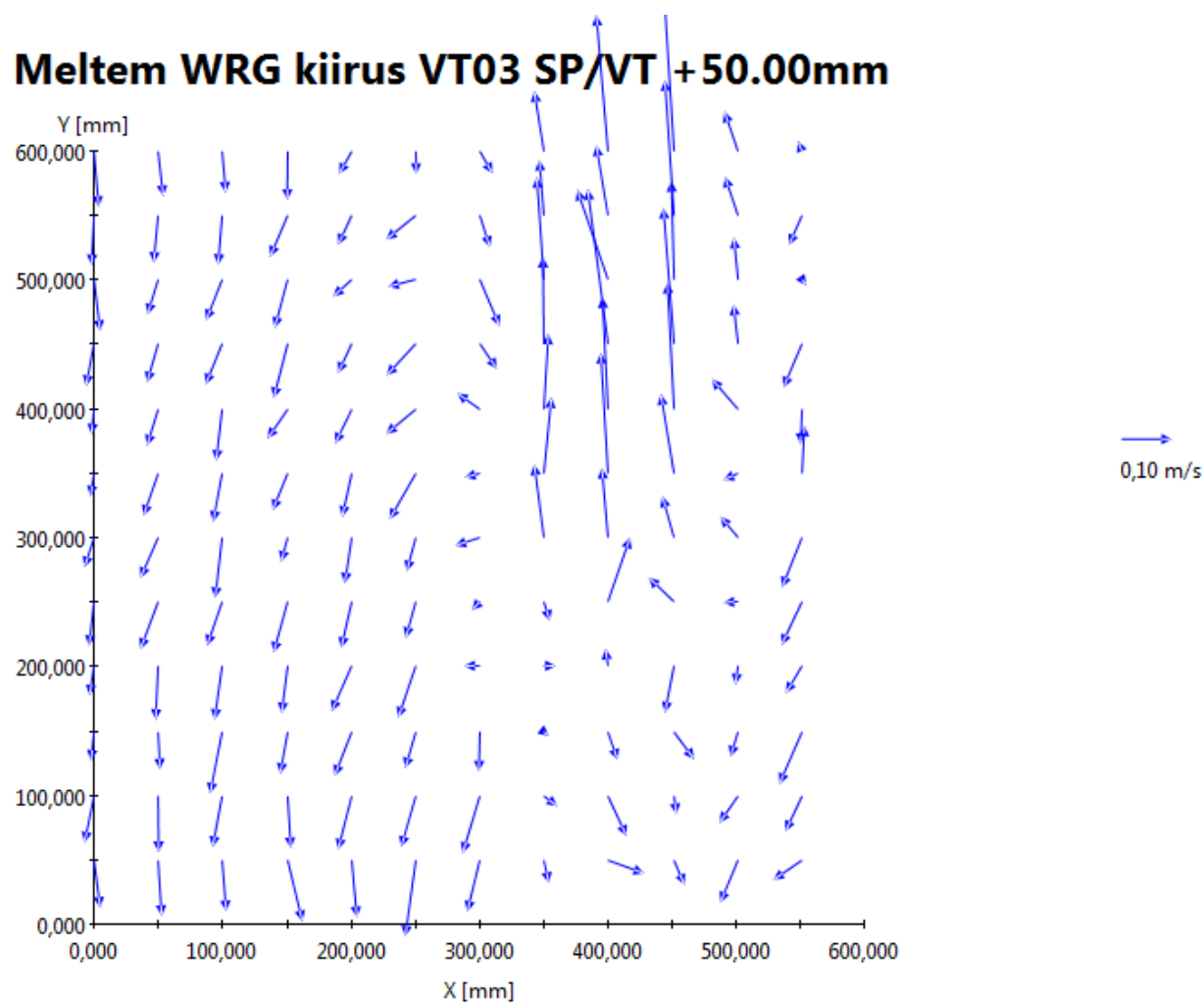


Ruumiagregaatide katsetused



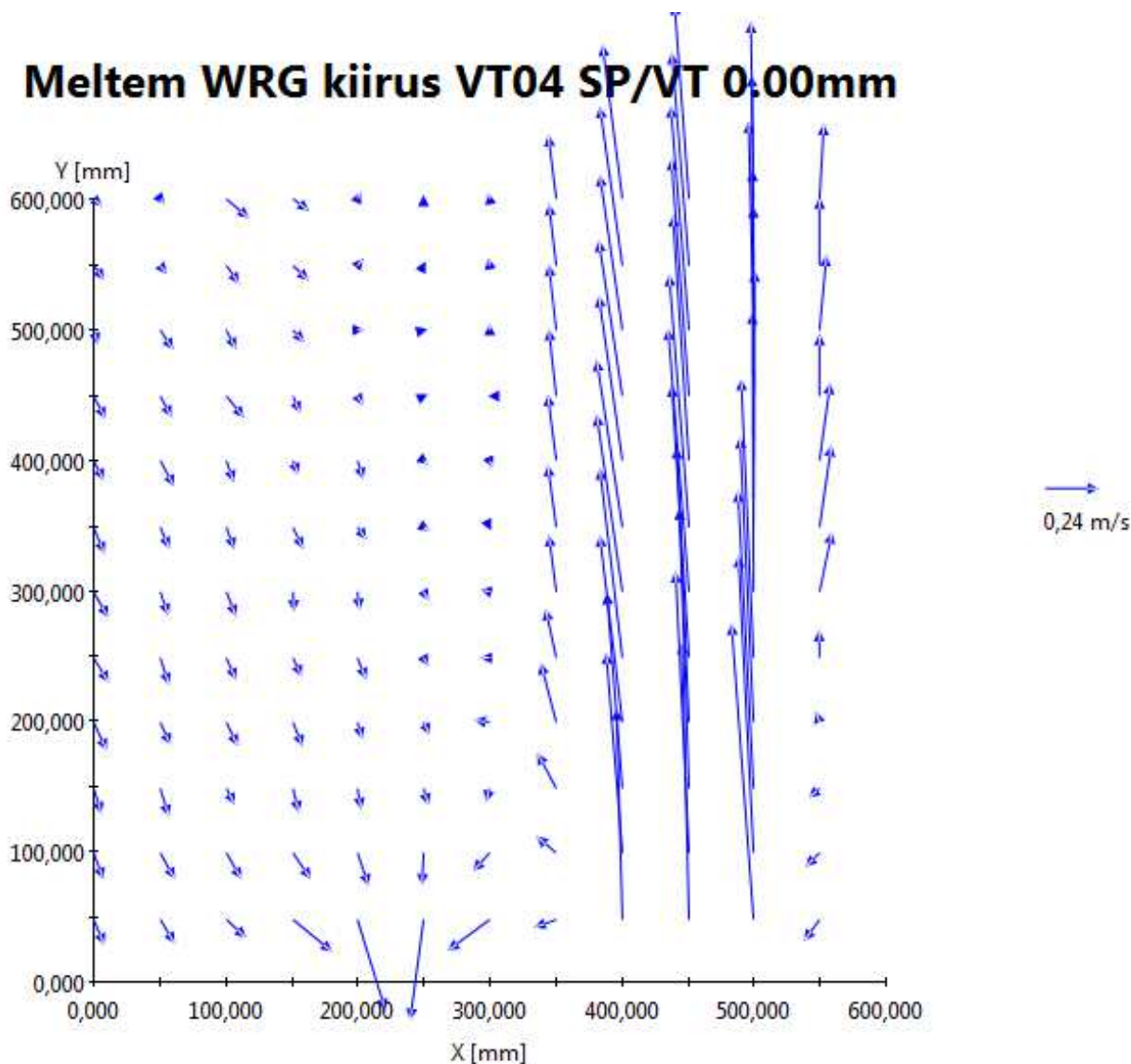


Ruumiagregaatide katsetuste tulemused





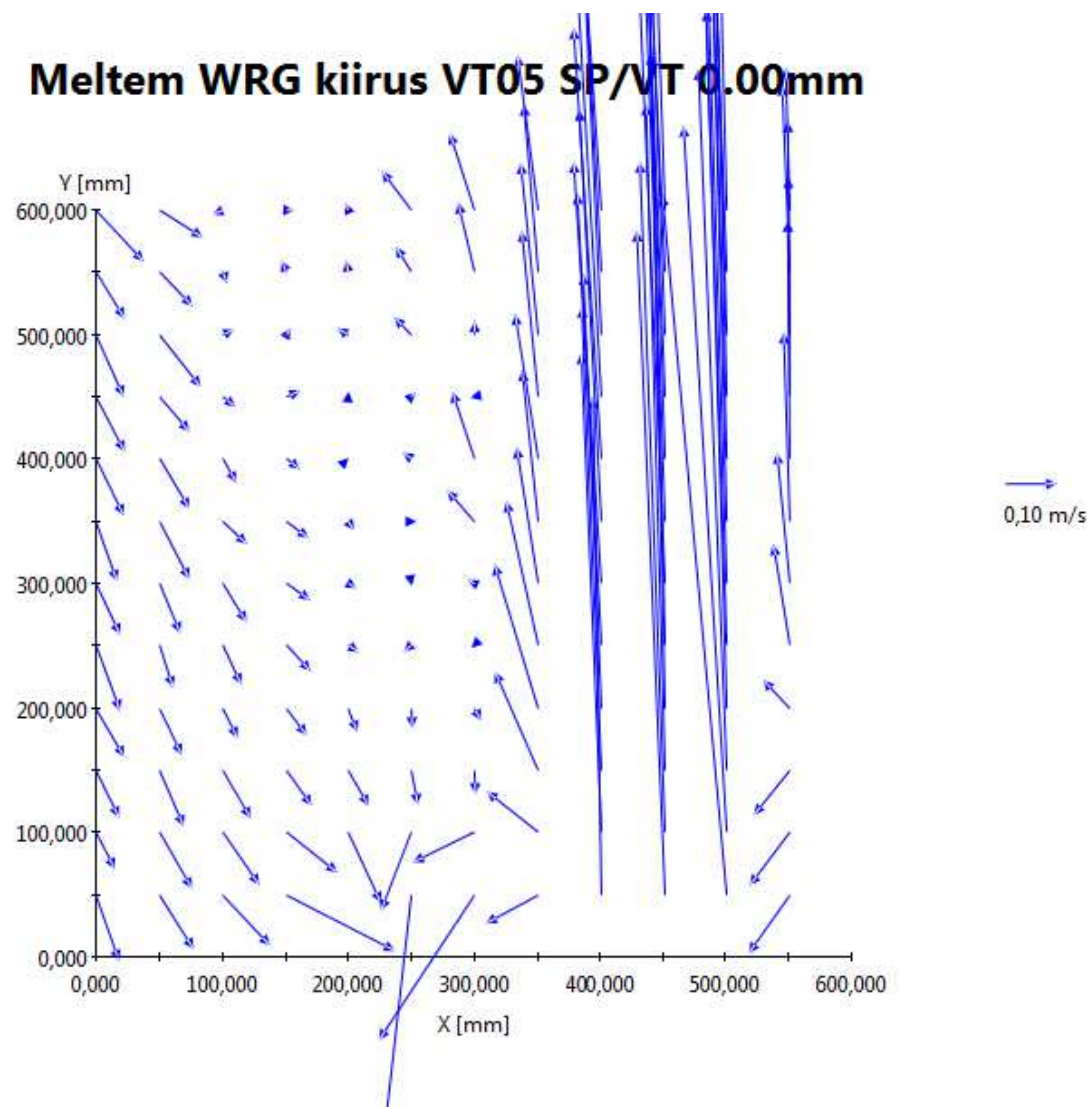
Ruumiagregaatide katsetuste tulemused





Ruumiagregaatide katsetuste tulemused

Meltem WRG kiirus VT05 SP/VT 0.00mm



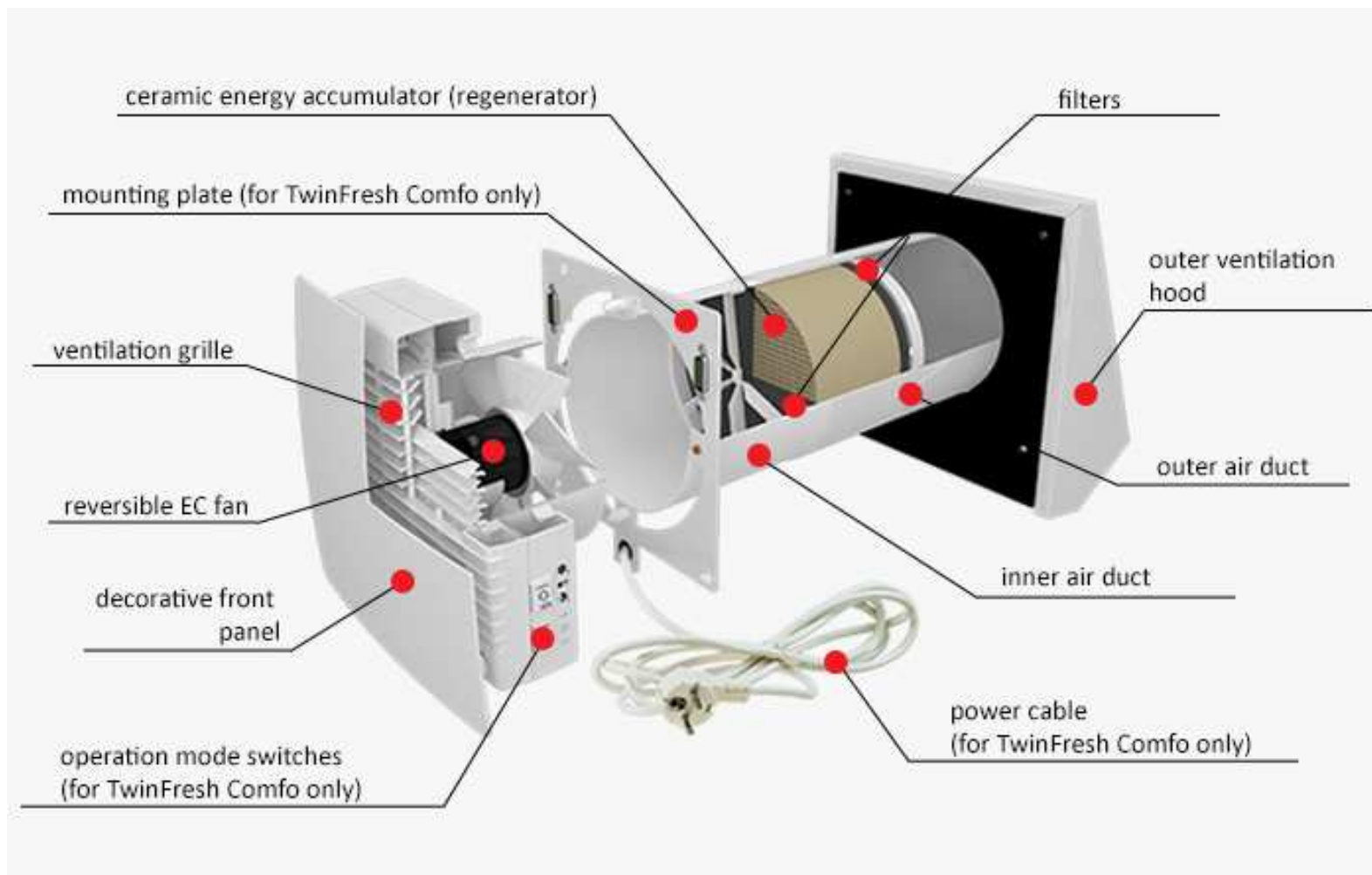


Ruumiagregaatide katsetused

- 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



Regeneratiivsed keraamilise soojustagastiga seadmed





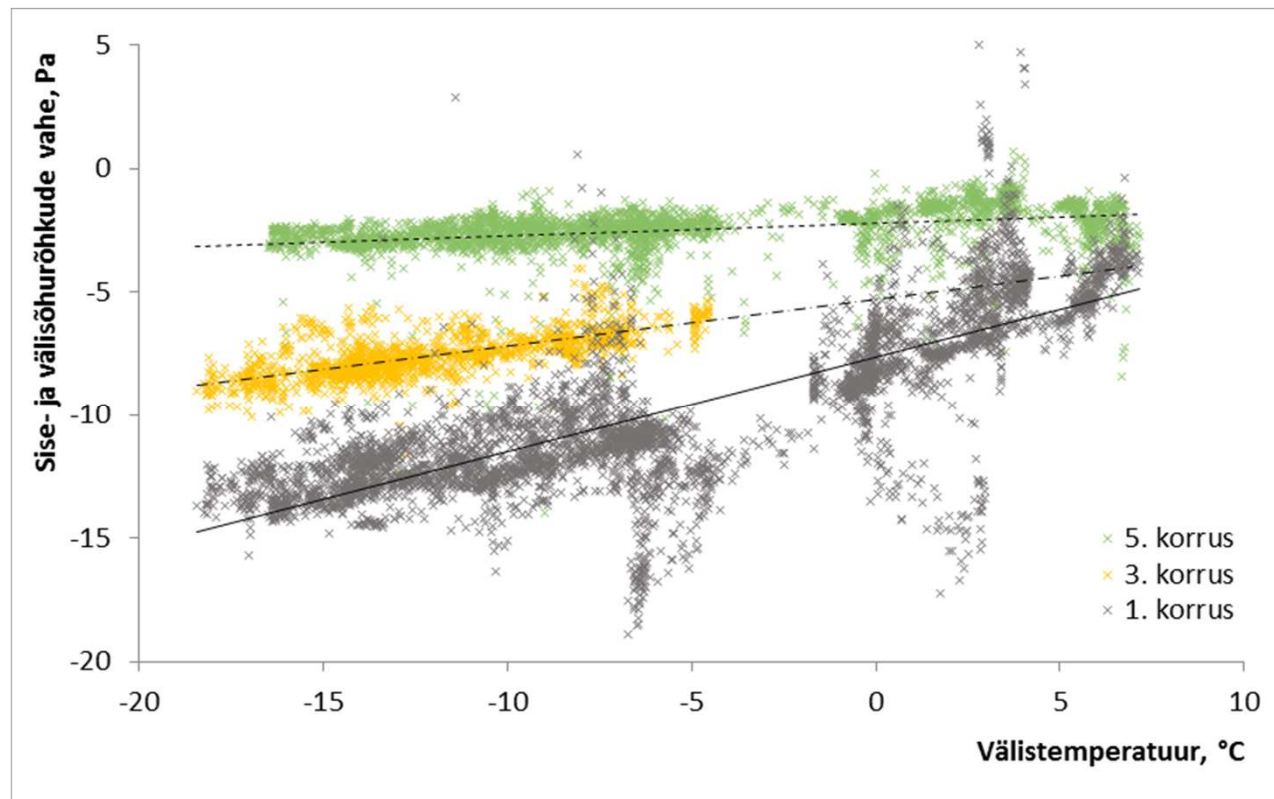
Regeneratiivsed keraamilise soojustagastiga seadmed

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





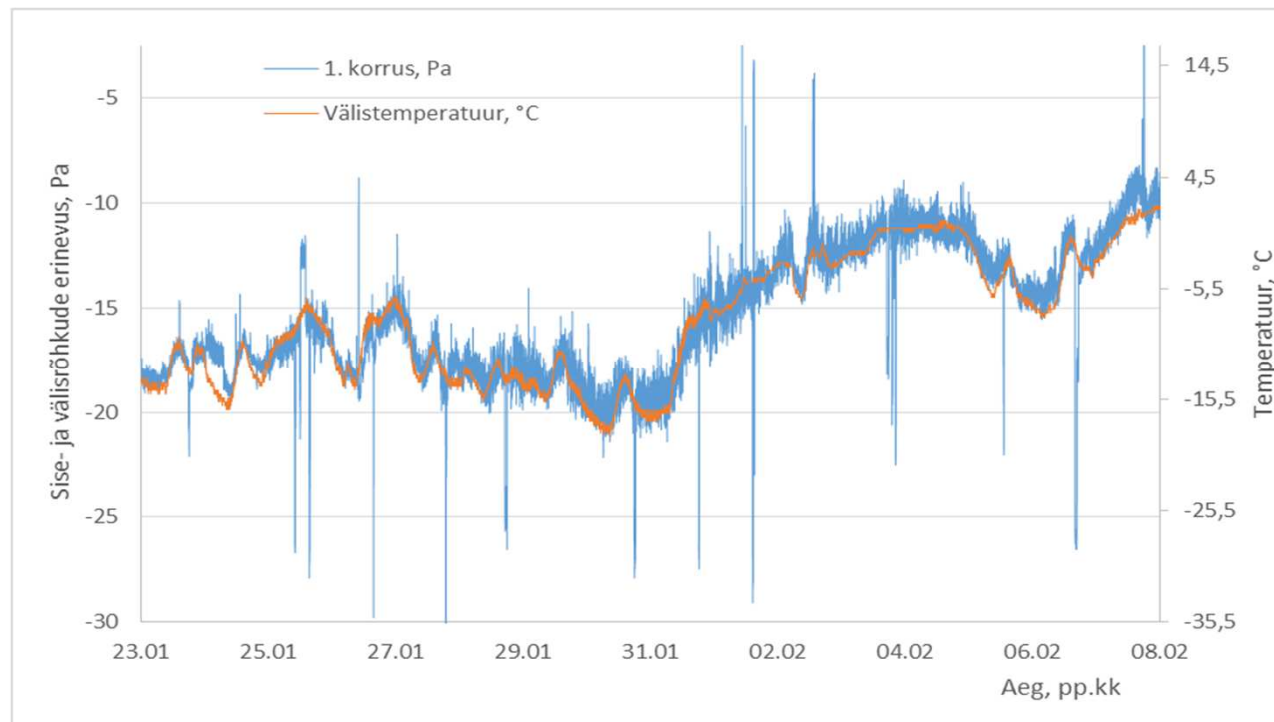
Alarõhust tulenevad probleemid



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



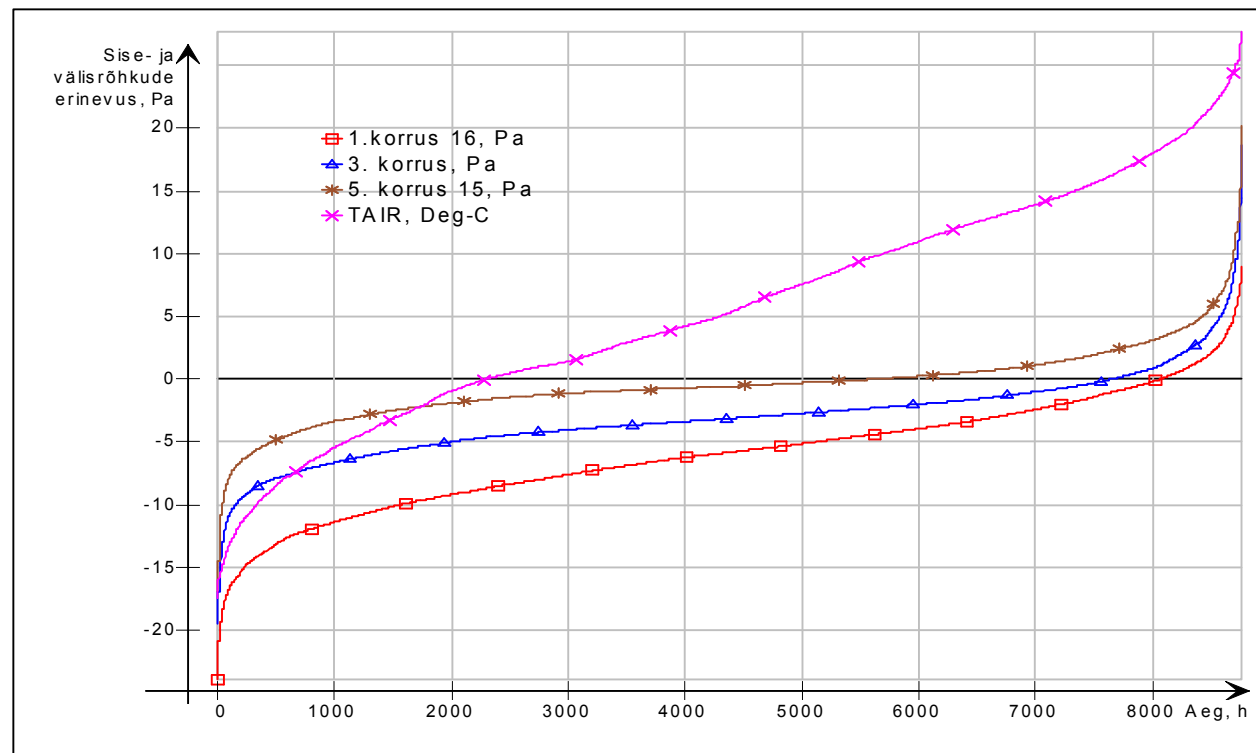
Alarõhust tulenevad probleemid



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



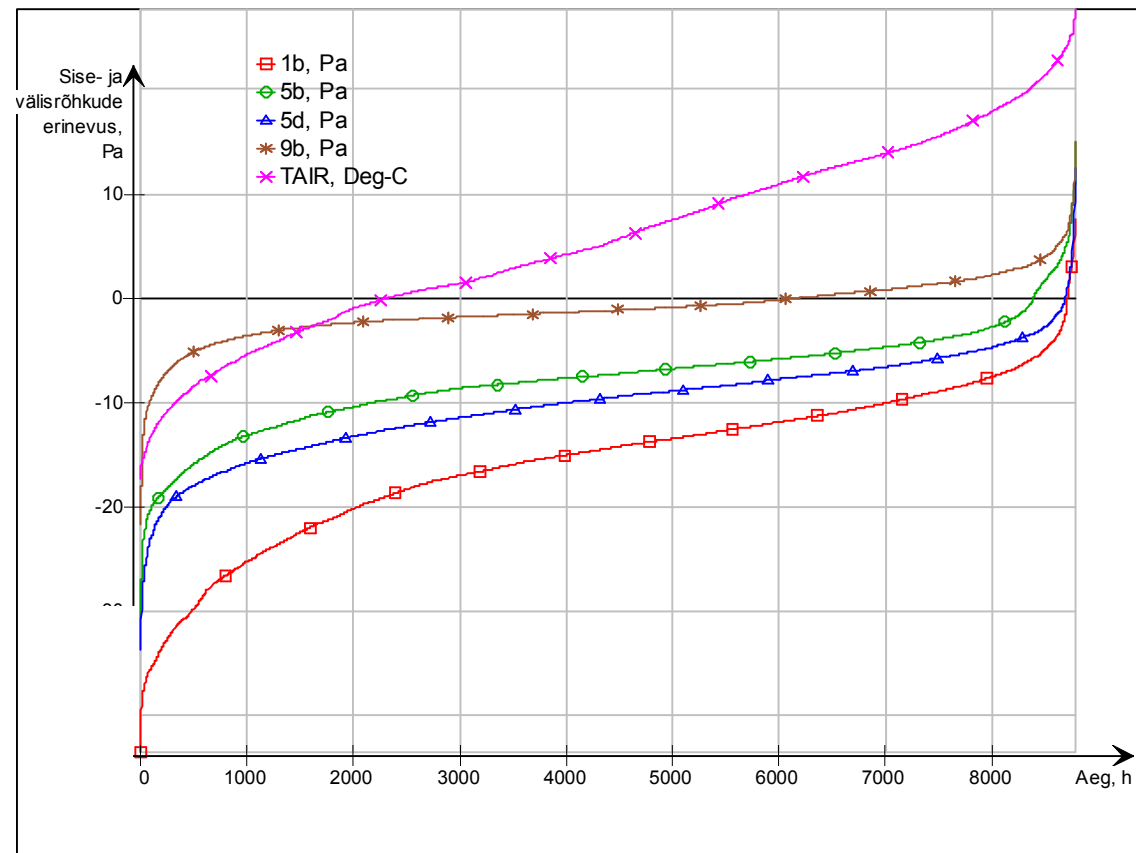
Alarõhust tulenevad probleemid



Välist
hoon
põhja



Alarõhust tulenevad probleemid



Väliste
hoone
põhjal,



Väljatõmbeõhu soojuspump





Väljatõmbeõhu soojuspump



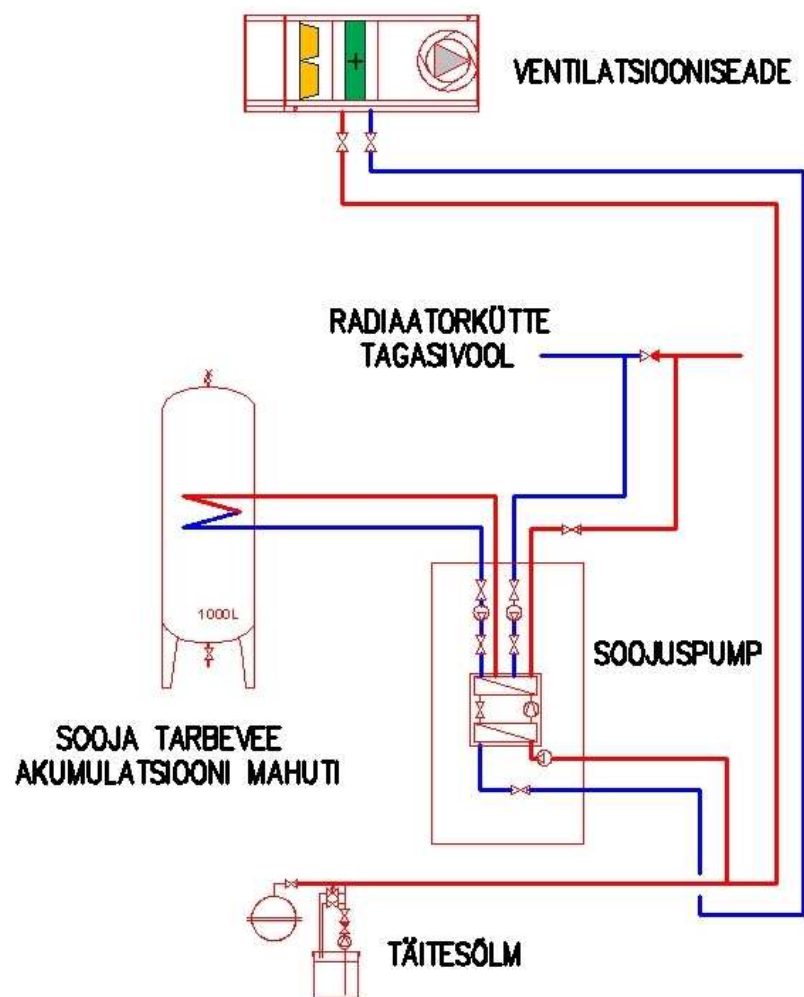


Väljatõmbeõhu soojuspump





Põhimõtteline skeem





Kuhu väljatõmbeõhu soojuspump sobib?

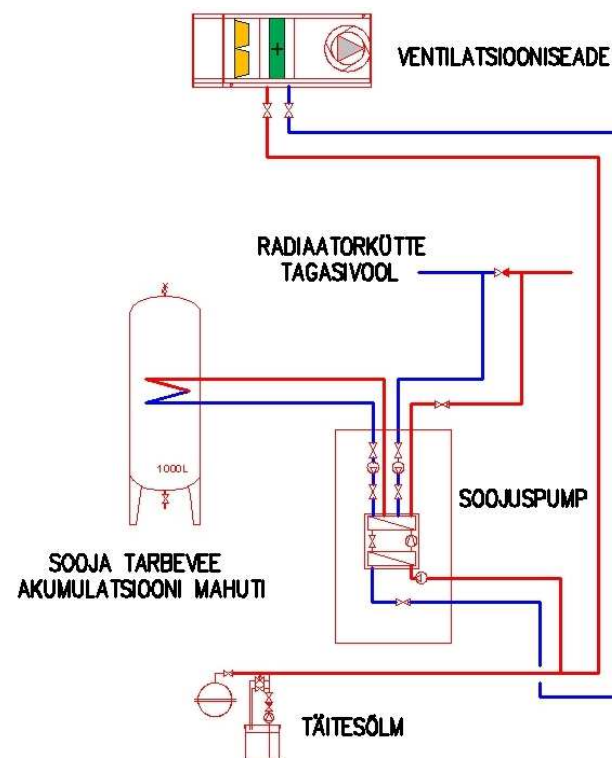
- Ka praegu võib Eestist leida maju millele ehitatakse veel soojustagastuseta väljatõmbeventilatsioon
- Mida olemasolevate VT ventilatsioonisüsteemidega peale hakata?
- Väljatõmbeõhu soojuspump sobib nii uutele kui ka vanadele kortermajadele





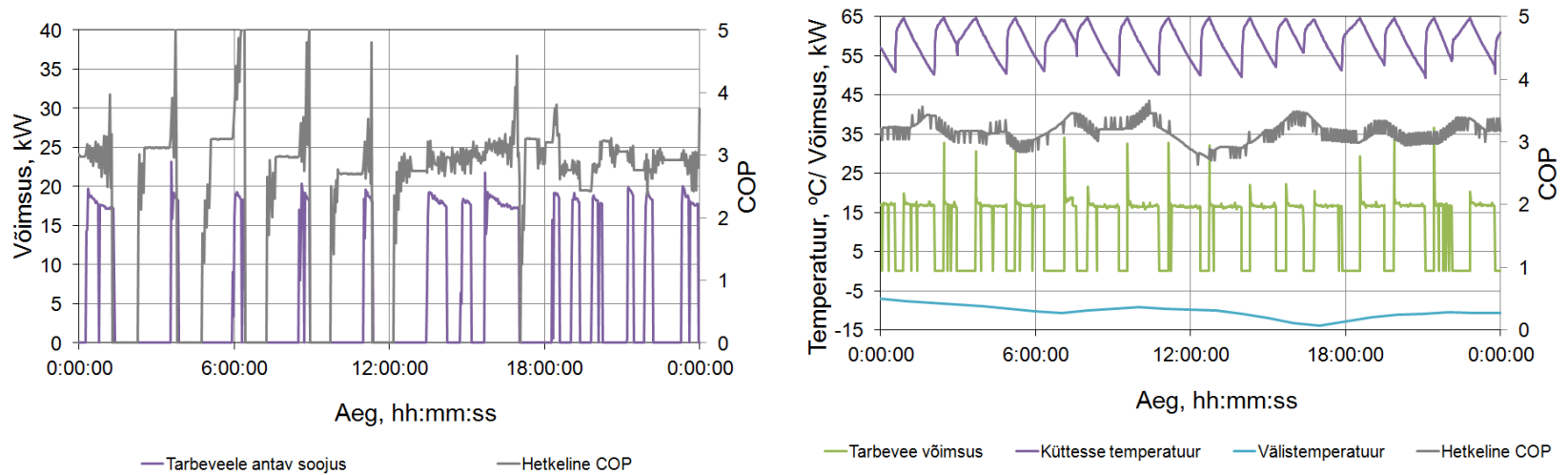
Väljatõmbeõhu soojuspump

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





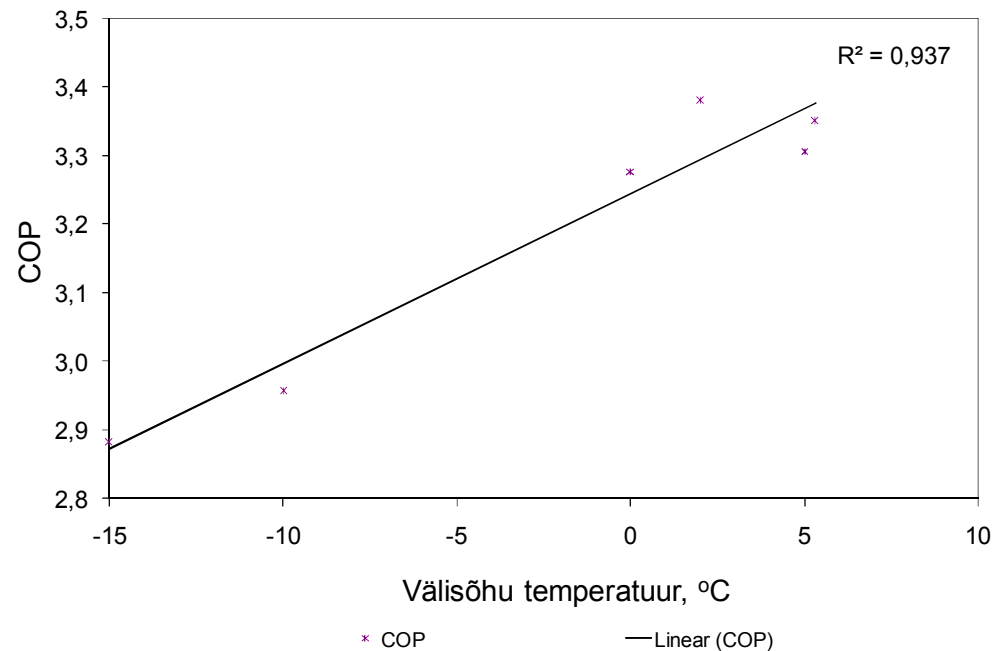
VT soojuspumba töötusükkel



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



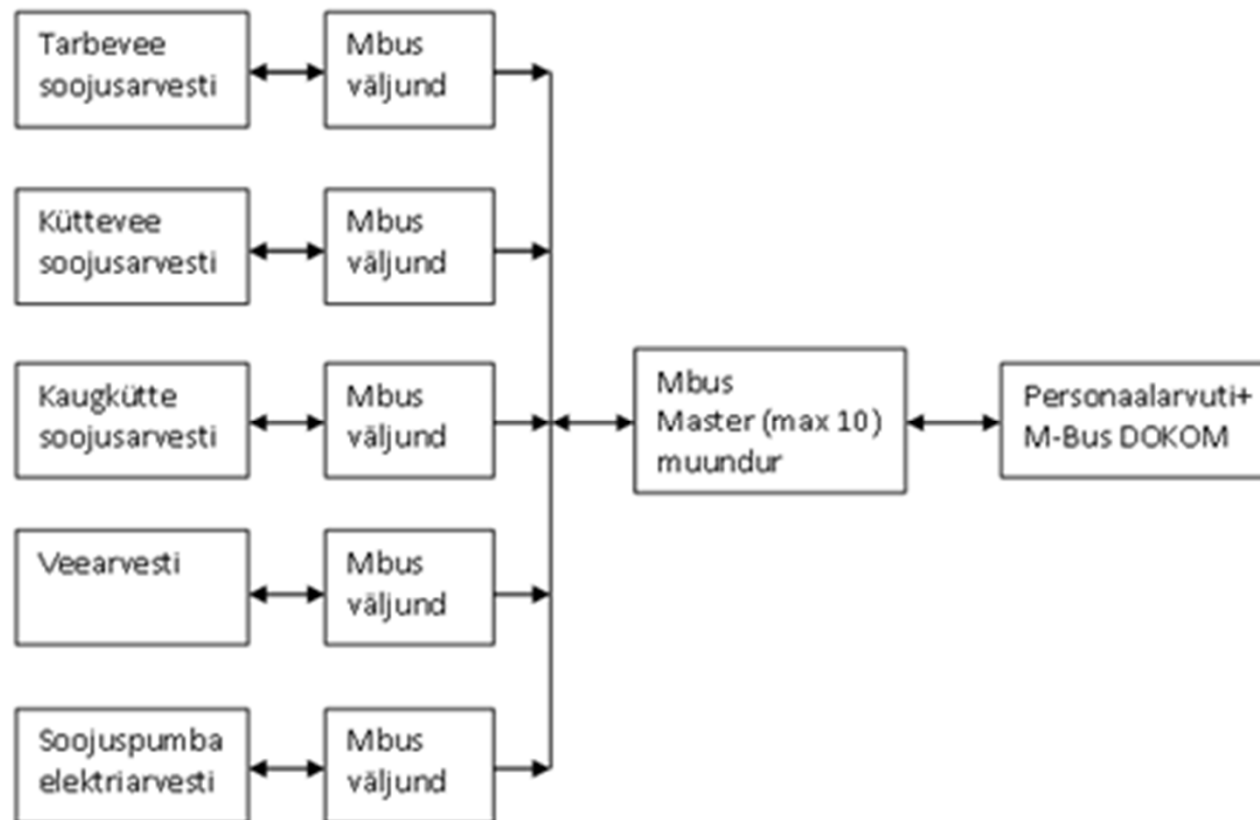
COP sõltuvus väliõhu temperatuurist



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



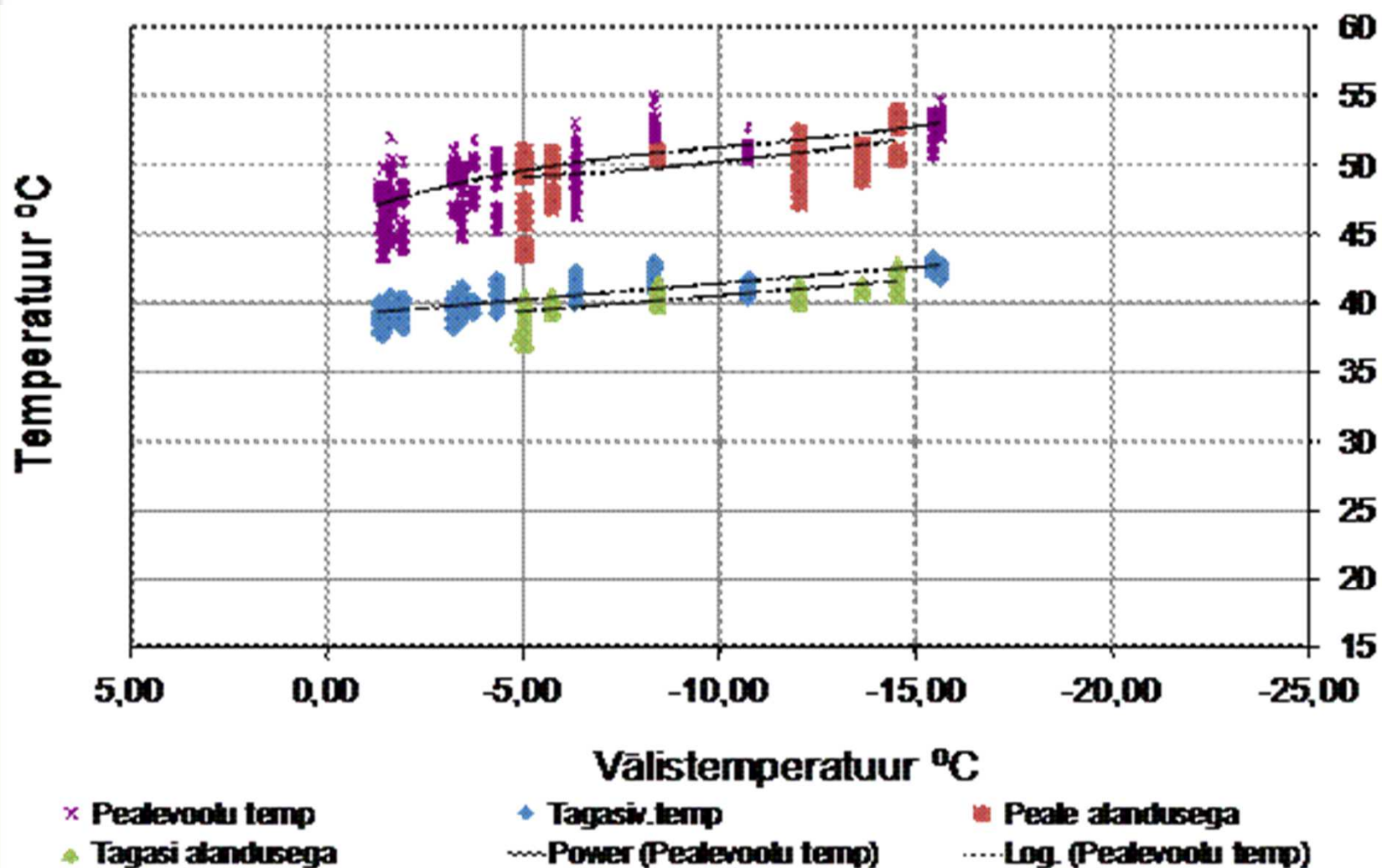
Väljatõmbeõhu soojuspumba uuringud



- Mõõtmistel kasutatud salvestusintervall 1 min

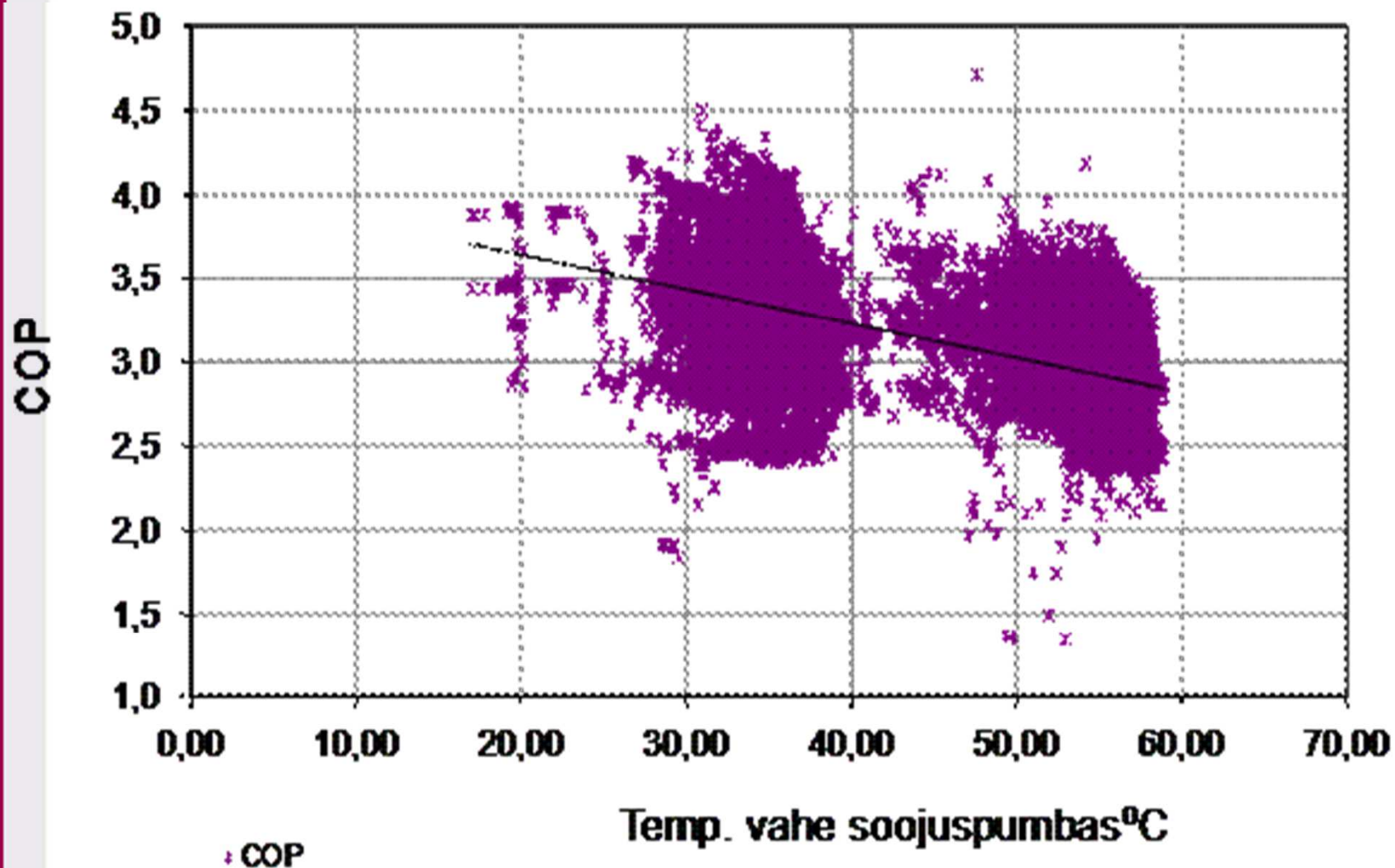


Hoone küttegaafik



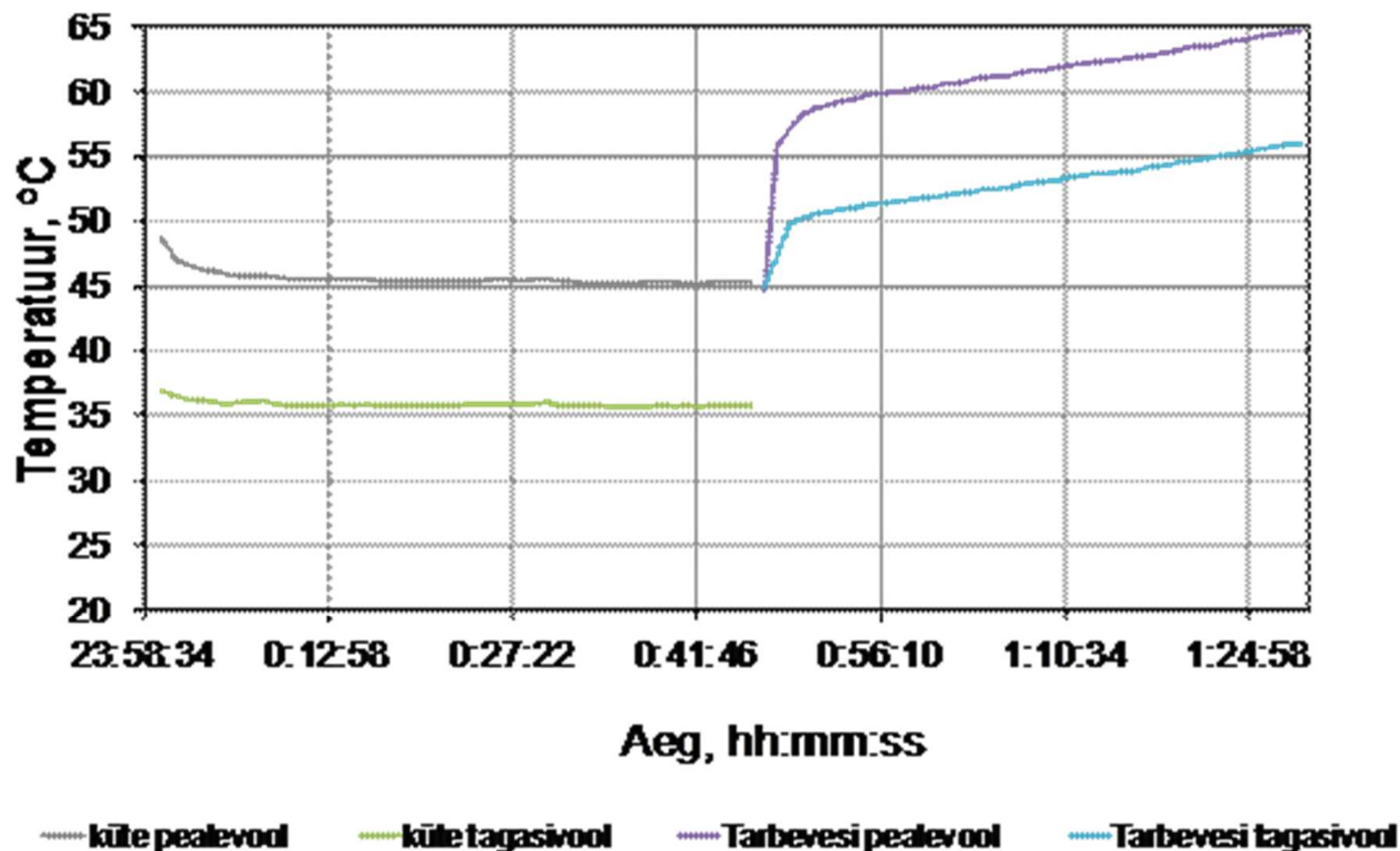


COP sõltuvus temperatuuride vahest soojuspumbas



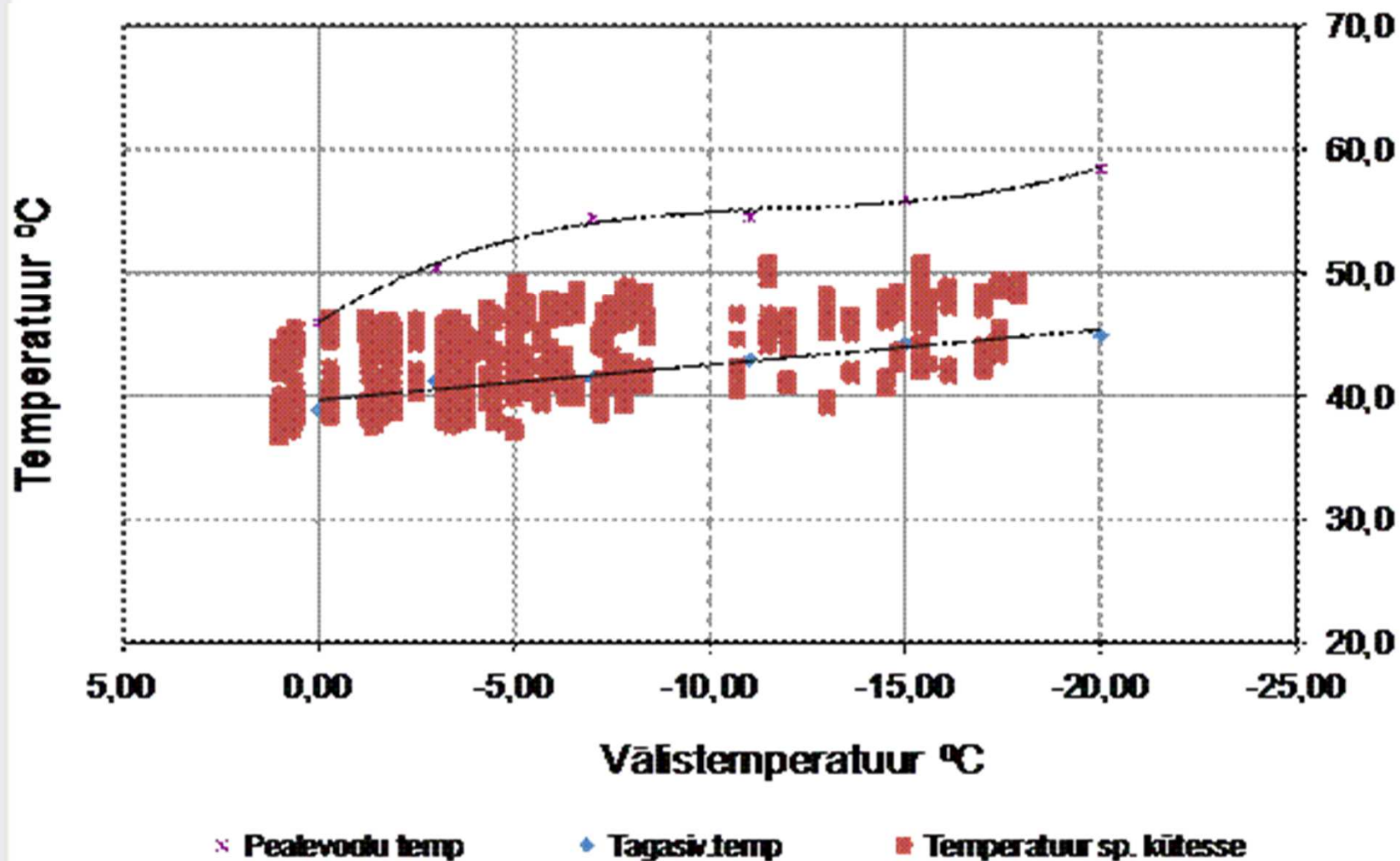


Soojuspumba töö kütmise ja tarbevee soojendamise perioodil



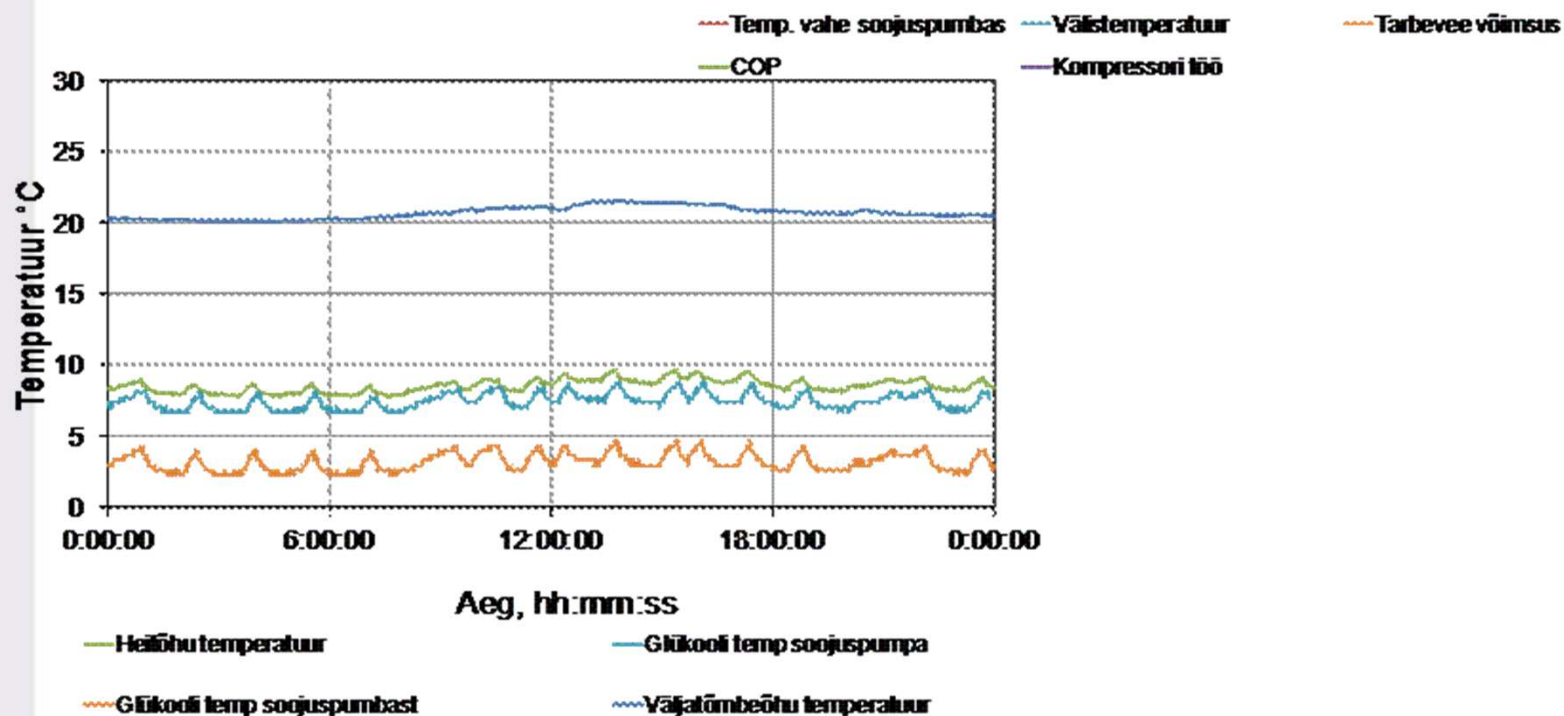
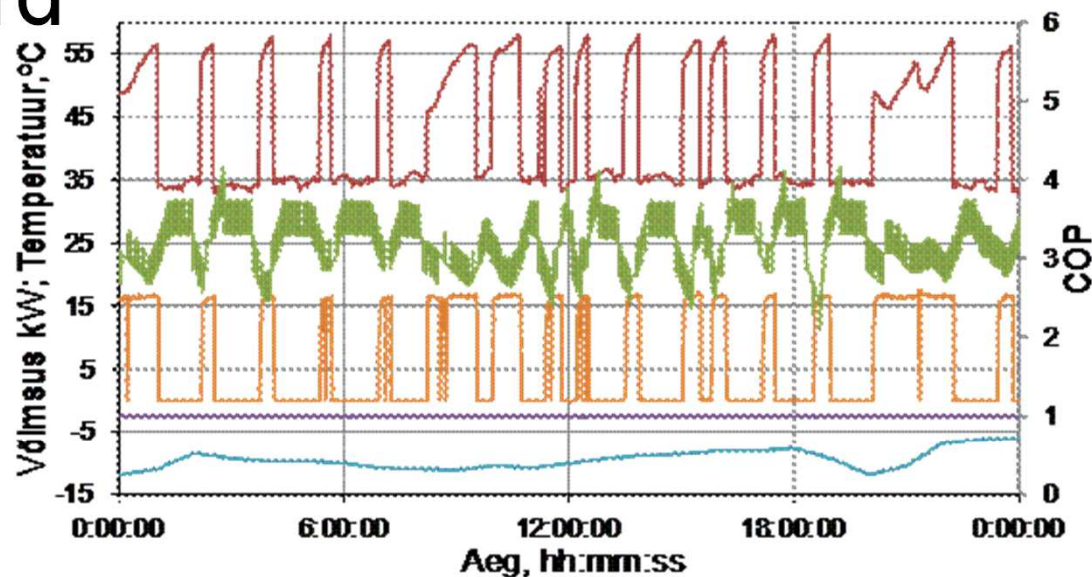


Soojuspumba töö sõltuvus küttegaafikust





Talvine olukord





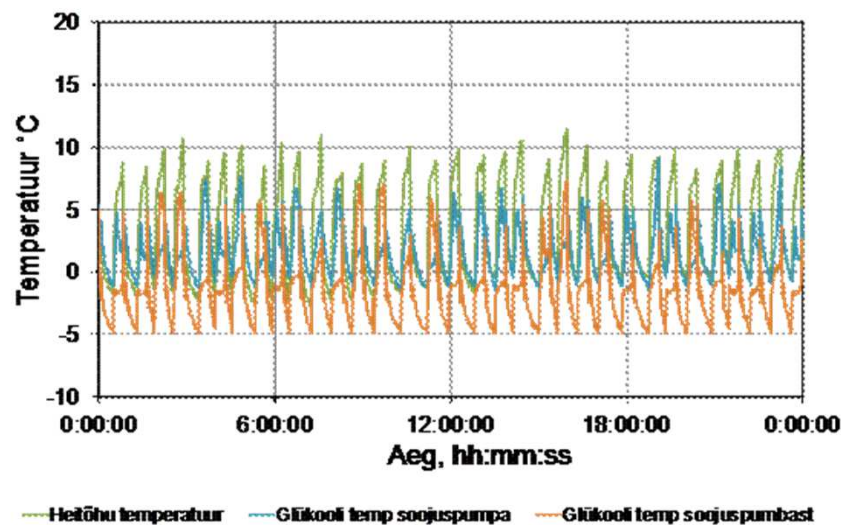
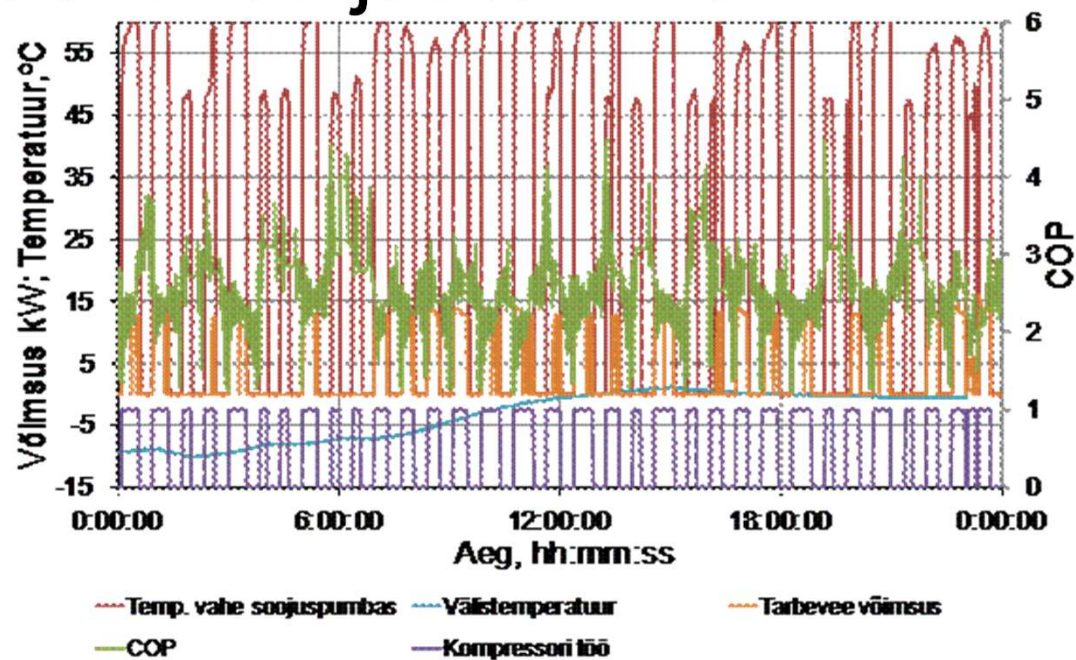
Talvise ja suvise päeva tarbimisandmed

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	%	

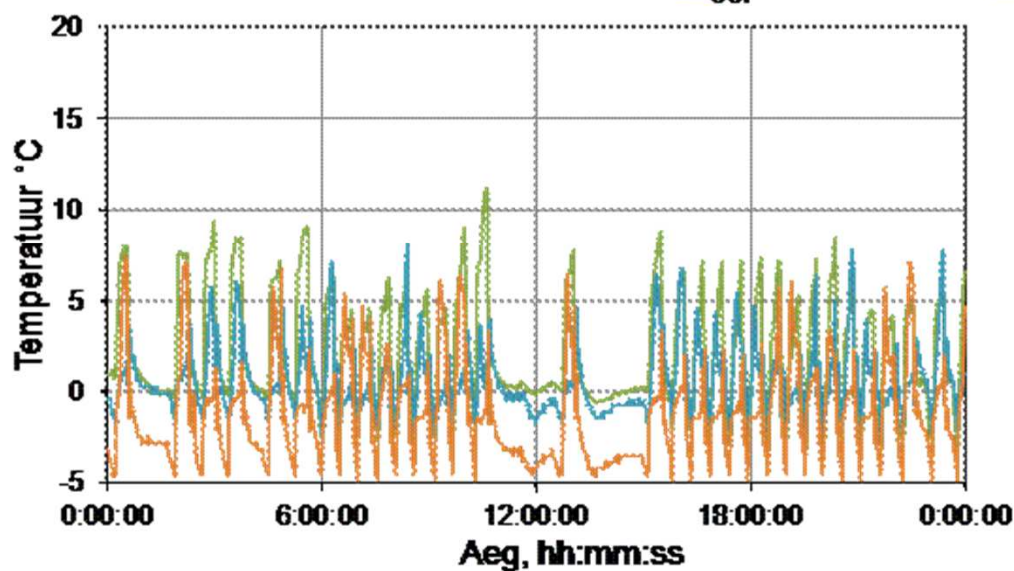
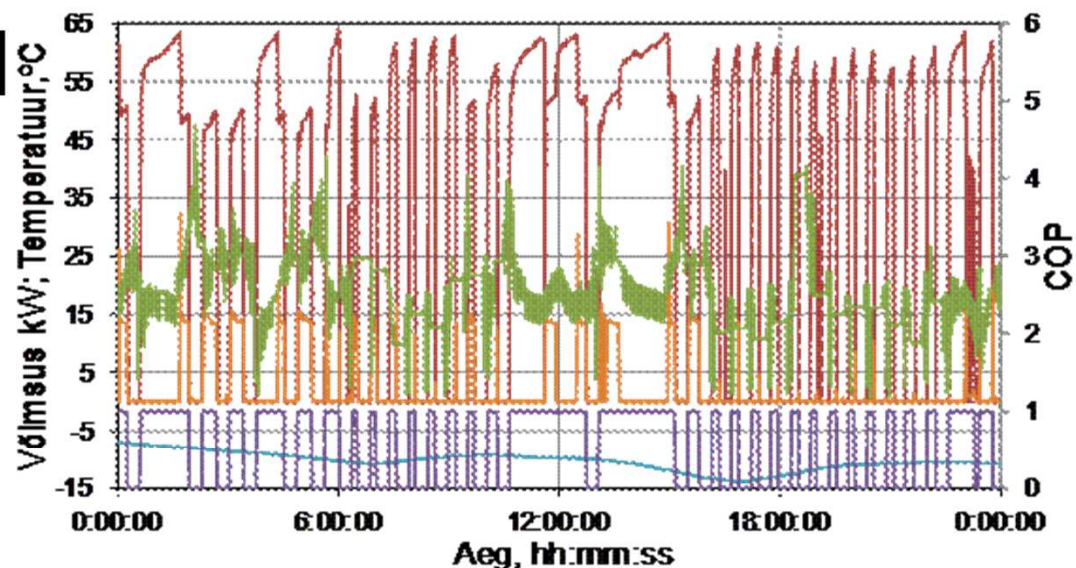


Soojusvaheti jäätumine





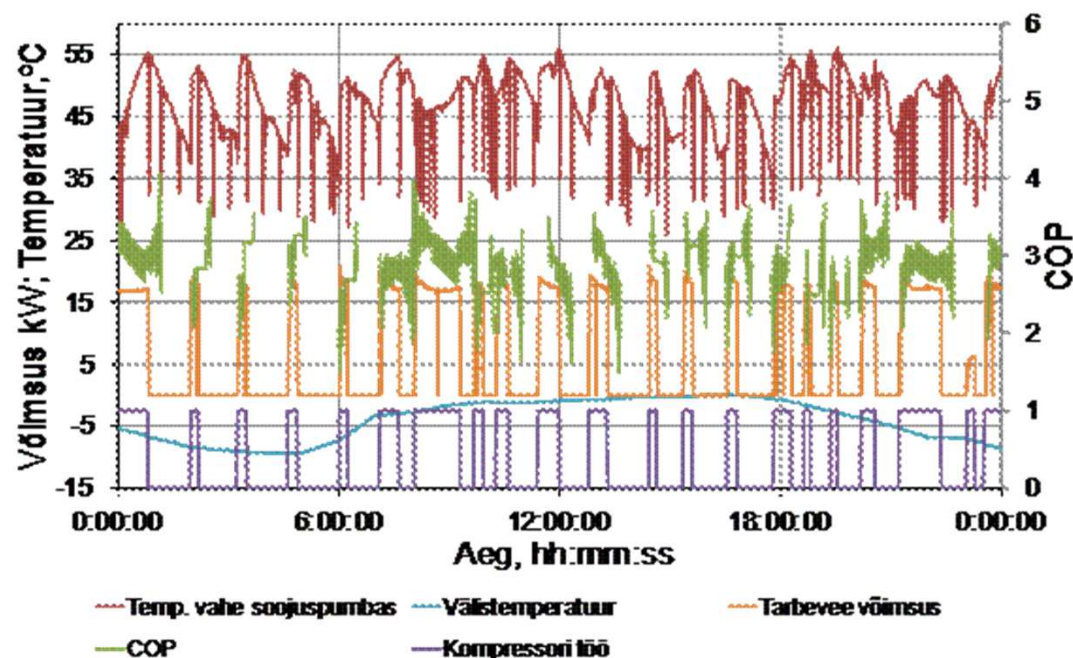
Õhuvooluhulga vähendamine madalatel temperatuuridel



Heliõhu 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 hindamiskoefitsent 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
TEHNIKAÜLIKOO