

Hallittuihin sisäolosuhteisiin ja energiatehokkuuteen optimoiduilla kostutus- ja kuivausratkaisuilla

Marko Björkroth
Jouko Väärälä
Sweco Finland Oy



Yleinen harhaluulo:
koneellinen jäähdytys = tuloilman kuivaus



Miksi tuloilman kuivaustarve pitää tarkastella erikseen?

Ilmasto muuttuu, kuivaustarve kasvaa

- Nyk. mitoitusohjearvo ulkoilman entalpialle 57 kJ/kg (Sisäilmastoluokitus), vanhoissa järjestelmissä käytetty 50-55 kJ/kg
- Nykyisin pitäisi käyttää 60 kJ/kg mitoitusarvoa (* toimistorakennuksissa yms., korkein mitattu entalpia noin 70 kJ/kg)
- Vanhat järjestelmät voivat olla jäähdytys/kuivausteholtaan alimitoitettuja

IV-järjestelmien kuivauskyky on menetetty

- Vuosikymmeniä sitten käytetty jäähdytysratkaisu, suora höyrysteinen jäähdytyspatteri + jälkilämmitys kuivasi tuloilmaa tehokkaasti
- Nykyään jälkilämmitystä ei käytetä, jäähdytys usein kaukokylmällä
- Jäähdytykselle haastavin tilanne voi olla helteen sijaa kostea ja lauha sää

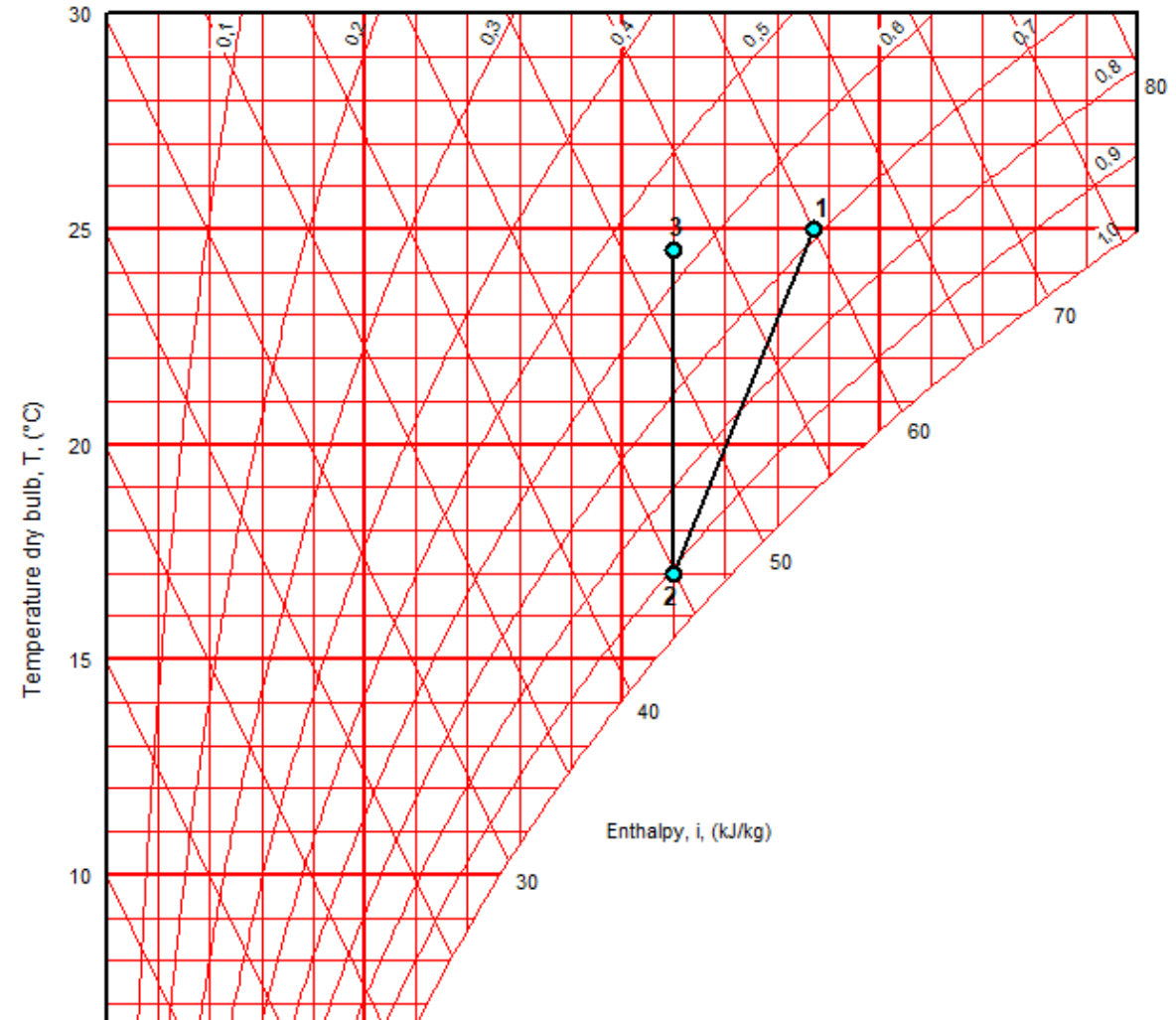
(* Sisäilman kosteudenhallinta muuttuvassa ilmastossa, Kalok Lam, Insinööritoimisto, Metropolia AMK 22.5.2024)

Jäähdytys vai kuivaus?

**1→2 →3: (1) 25 °C 60 kJ/kg ulkoilman
jäähdytys (2) +17 °C lämpötilaan
ja (3) ilman lämpeneminen sisätiloissa
+24,5 °C lämpötilaan (S1 tavoite)**

Huoneilman RH 57 %, jos ei sisäisiä
kosteuskuormia ja huonelämpötila korkea

Tuloilman kastepiste 15,5 °C

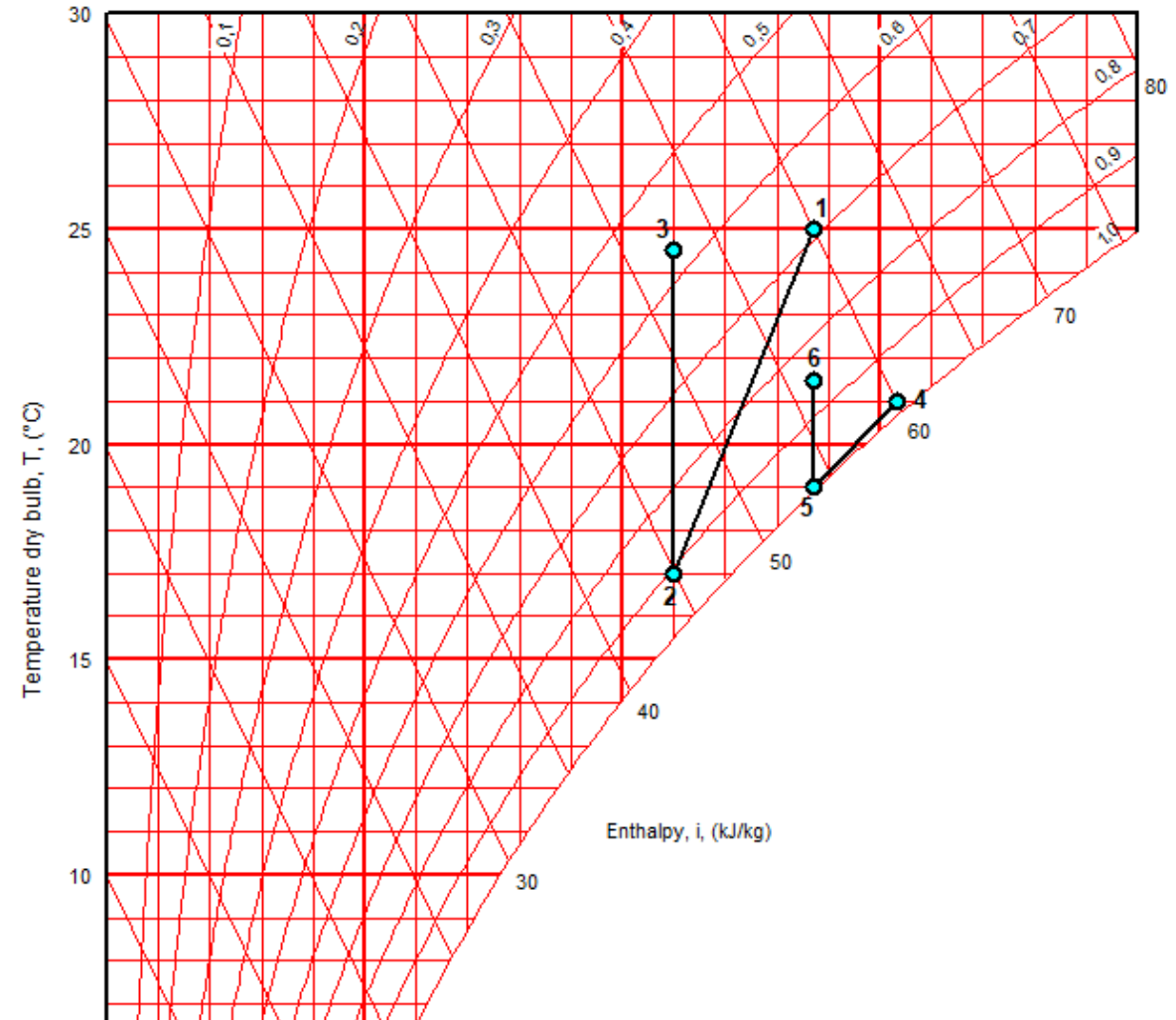


Jäähdytys vai kuivaus?

**1→2 →3: (1) 25 °C 60 kJ/kg ulkoilman
jäähdytys (2) +17 °C lämpötilaan
ja (3) ilman lämpeneminen sisätiloissa
+24,5 °C lämpötilaan (S1 tavoite)**

**4→5 →6: kellaritilan tuloilmakoneen
prosessi**

- ulkoilma +21 °C, kosteus 98 %
- tuloilma +19 °C, huoneilma 21,5 °C
- ei aurinkokuormaa eikä merkittäviä sis.
lämmönlähteitä → tuloilmaa ei tarvitse
jäähdyttää alle +19...+20 °C →
tuloilmaa ei saada kuivattua
→ huoneilman kosteus ≥ 85 %



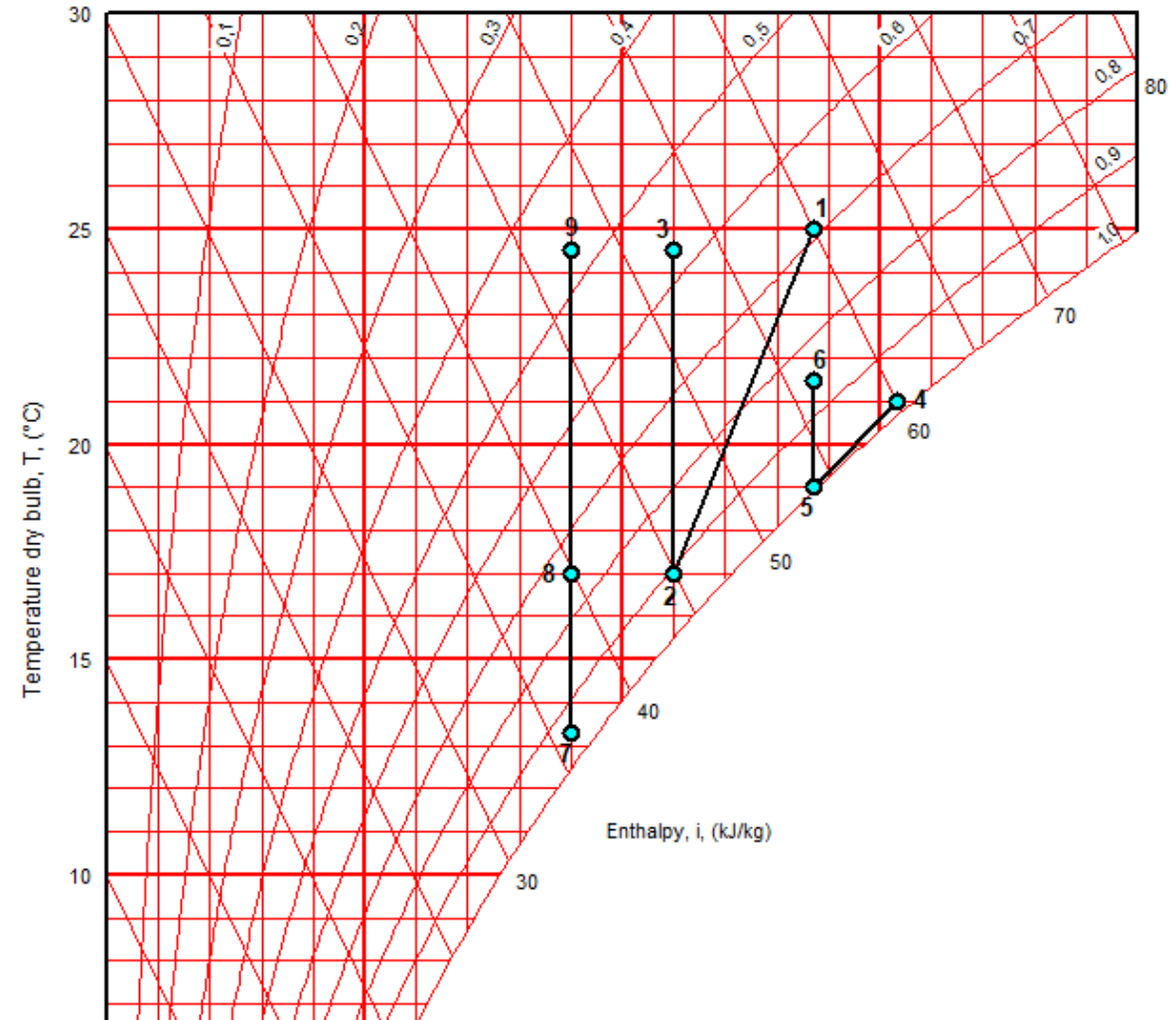
Jäähdytys vai kuivaus?

**1→2 →3: (1) 25 °C 60 kJ/kg ulkoilman
jäähdytys (2) +17 °C lämpötilaan
ja (3) ilman lämpeneminen sisätiloissa
+24,5 °C lämpötilaan (S1 tavoite)**

**4→5 →6: kellaritilan tuloilmakoneen
prosessi**

**7→8 →9: huoneilman kosteus 9 g/kg
tuloilmalla**

- edellyttää jäähdytystä noin 13 °C lämpötilaan + jälkilämmitys
- huoneilman kosteus 45–60 % lämpötilasta (21–25 °C) riippuen
- tuloilman kastepiste 12,5 °C



Jäähdytys vai kuivaus?

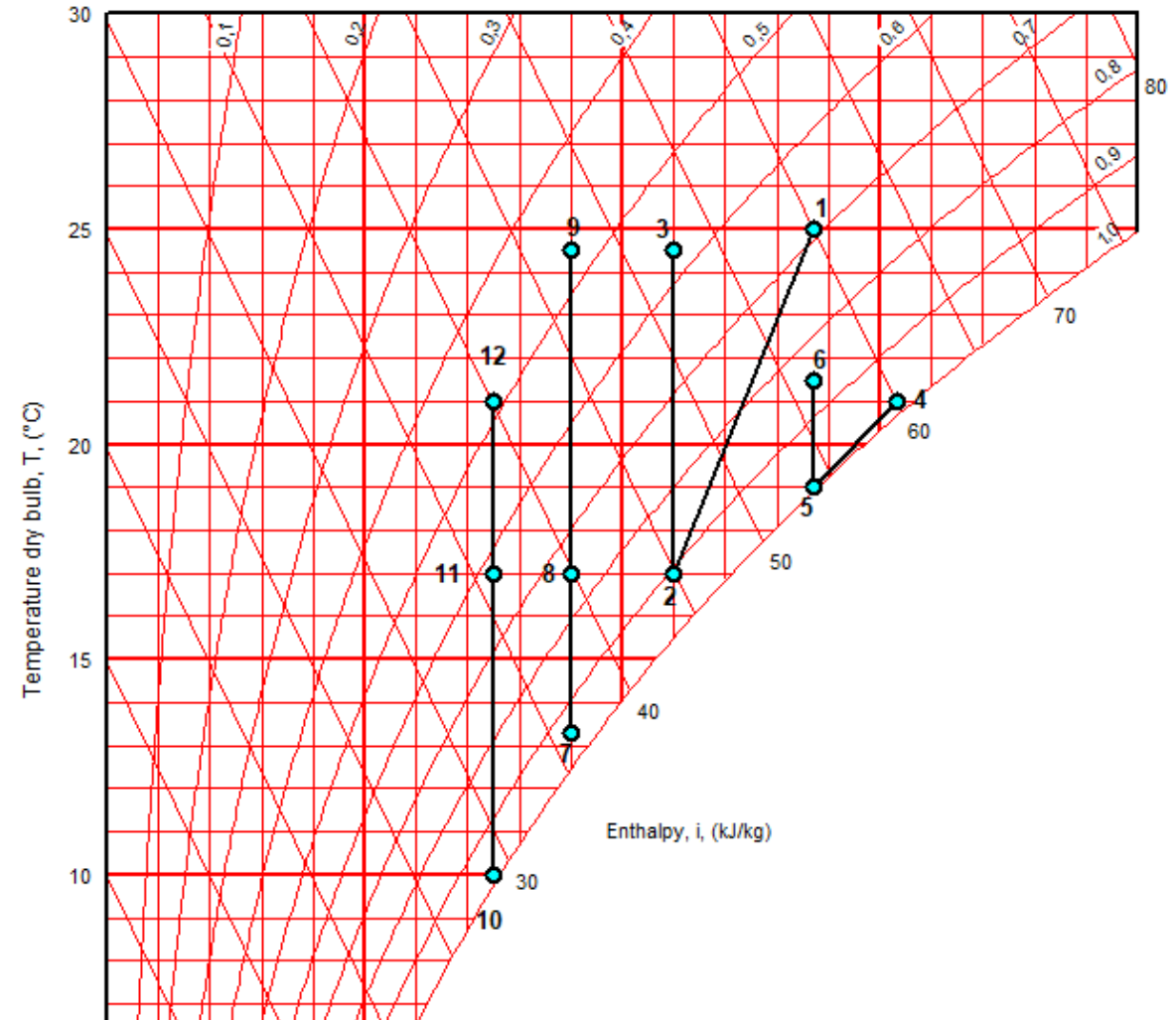
**1→2 →3: (1) 25 °C 60 kJ/kg ulkoilman
jäähdytys (2) +17 °C lämpötilaan
ja (3) ilman lämpeneminen sisätiloissa +24,5
°C lämpötilaan (S1 tavoite)**

**4→5 →6: kellaritilan tuloilmakoneen
prosessi**

**7→8 →9: huoneilman kosteus 9 g/kg
tuloilmalla**

**10→11 →112: tuloilman kuivaus 7,5 g/kg
tasolle**

- museoiden, arkistojen yms. olosuhdehallittujen tilojen iv-prosessi
- huoneilman tavoitearvo yleensä noin 21 °C ja 50 % RH
- ilma pitää jäähdyttää noin 10 asteeseen
- saattaa edellyttää normaalia 7/12 °C mitoitusta kylmempää jäähdytysvettä



Lämmitys/jäähdytys, kostutus/kuivaus mitoitustehot 1 m³/s ilmavirralla

- 1 m³/s ilmavirran lämmitys 17→25 °C vaatii 9,2 kW tehon
- 1 m³/s kostean (60 kJ/kg) ilmavirran **jäähdytys** 25 →17 °C vaatii 18,1 kW jäähdytystehon
- 1 m³/s kostean ulkoilman (60 kJ/kg) **kuivaus** 9 g/kg tasolle vaatii noin 28,7 kW jäähdytystehon + jälkilämmityksen (4,5 kW) +17 °C
- 1 m³/s kostean ulkoilman (70 kJ/kg) **kuivaus** 7,5 g/kg tasolle vaatii noin 50 kW jäähdytystehon + jälkilämmityksen (9,2 kW) +17 °C
- talvipakkasilla 0,3 g/kg ulkoilman kostutus 6,17 g/kg tasolle (huoneilman kosteus n. 40 %) vaatii 25,36 kg/h höyryä, kostuttimen sähkönkulutus noin 19 kW
- 21 °C 55 % RH ilman kuivaus 45 % suhteelliseen kosteuteen vaatii
 1. jäähdytyksen n. 9,5 °C lämpötilaan, teho 1 m³/s ilmavirralla 18,8 kW
 2. jälkilämmityksen 21 °C lämpötilaan, teho 14,0 kW
- Kostutus/kuivaus vie enemmän tai kalliimpaa energiaa (sähkö vs. kaukolämpö tai VJK:lla tuotettu jäähdytysvesi vs. kaukokylmä) kuin lämmitys/jäähdytys

K
LTO

Olosuhdehallittujen tilojen ilmastointi pitää suunnitella ensisijaisesti kostutus/kuivausprosesseina.

Esim. regeneratiivisen LTO ohjaus kostutus/kuivaustarpeen mukaan (kosteuden talteenotto)

Case 1, olosuhdehallitun tilan (Serlachius museon Kartanon laajennus) ulkoilmavirran säätö

- Museon yksitt. ilmanvaihtokone +/- 5,0 m³/s (noin +/- 6,0 kg/s)
- Palvelualueen koko 1000 m², mitoitusilmavirta 5 dm³/s,m²
- Max. henkilömäärä palvelualueella 250
 - ihmisten kosteustuotto 60 g/h,hlö, yht. 15 kg/h (4,2 g/s) → kosteuslisä ihmisistä 0,7 g/kg
- Olosuhdevaatimukset
 - vakio 21 °C RH 50 % (7,7 g/kg) tai pieni liukuma vuodenajan mukaan
 - **kesä** 22,0±0,5 °C RH 52 %
 - **talvi** 20,0 ±0,5 °C RH 48 %
- IV-koneen varustus
 - **nestekiertoinen LTO**
 - palautusilmaosa
 - lämmitys-, jäähdytys- ja jälkilämmityspatterit
 - höyrykostutin
- Kesän mitoitusilanne
 - lämmin ja kostea sää, entalpia 70 kJ/kg
 - **vanhat mitoitusarvot (55-57 kJ/kg) ei enää riittäviä**
 - iv-kone toimii 100 % ulkoilmavirralla
 - tuloilma kuivattava arvoon 8,6-1,0 = 7,6 g/kg
- Ulkoilmavirran säätö
 - CO₂ pitoisuusohjaus
 - lisäksi pakotus 50 % tai 100 % ilmavirralla aikaohjelmilla

Mitoitustehot 5 m³/s ulkoilmavirralla

Kesä

- LTO:n (nestekierto.) merkitys pieni
 - ”kylmän talteenotto” voi pienentää jäähdytystarvetta kuumalla säällä, muttei auta ilmakehän kosteuteen
- Tuloilma pitää pystyä kuivaamaan kesällä 7,6 g/kg kosteuteen asti
 - **tuloilma pitää jäähdyttää n. +10 °C lämpötilaan**
 - 7/12 °C liuoslämpötila ei riitä, vaan tarvitaan esim. **+2/7 °C**
 - pitää käyttää laimeaa etanoli-glykoli- tms. liuosta
 - **jäähdytyksen mitoitus-teho 249 kW**
- Jälkilämmityksen suurin tehontarve (mitoitustilanne) 69,0 kW, kun kuivaus täydellä teholla (+10→+21 °C)
 - jälkilämmitykseen tarvitaan kuumaa, jopa +70 °C lämmitysvettä kesällä (vanhat iv-koneet)

Talvi

- nestekierto LTO pienentää lämmöntarvetta
- **nestekierto LTO ei ota kosteutta talteen**
- kostutustarve täydellä 5 m³/s ilmavirralla
 - -5 °C ulkolämpötilassa (RH 70 %) 1,7→7,5 g/kg, 34,8 g/s eli 125 kg/h
 - -26 °C ulkolämpötilassa (RH 70 %) 0,25→7,5 g/kg, 43,5 g/s eli 157 kg/h
 - tarvitaan 120 kW höyrykosteutin

Case 1: RAU muutos, ulkoilmavirran säätö 10...50 %

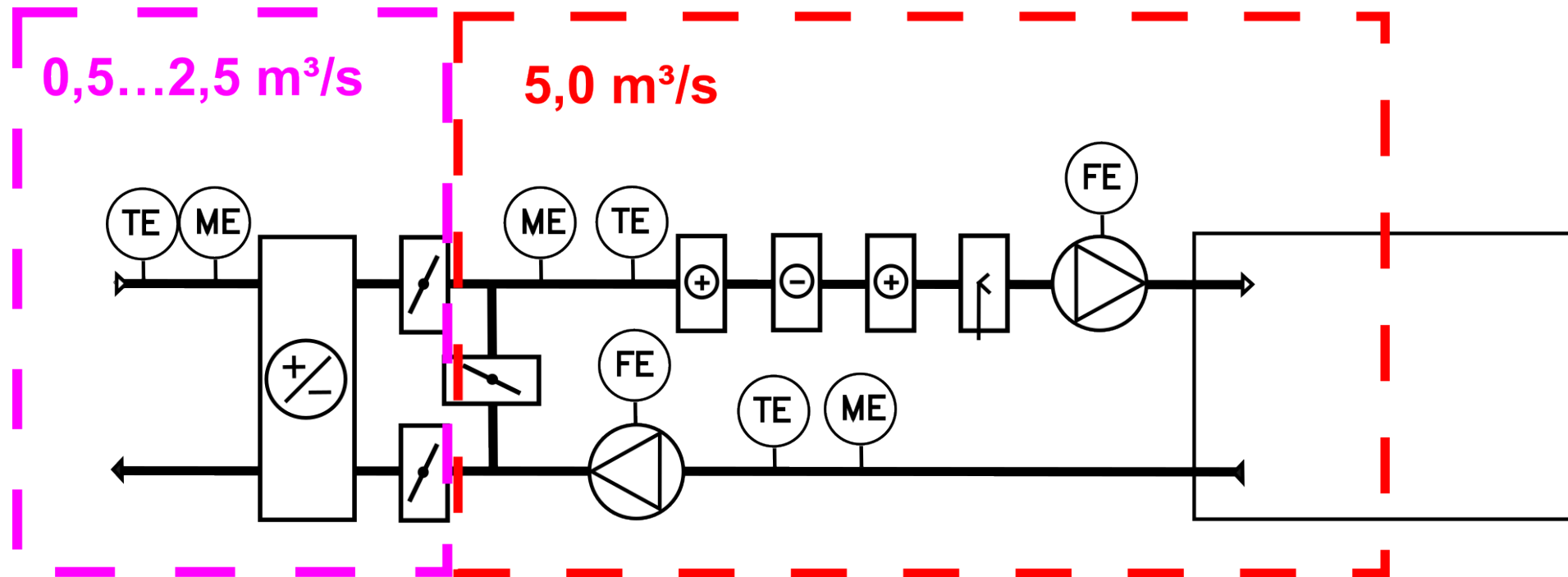
Ulkoilmavirran minimointi

- Maksimoidaan palautusilman määrä
 - ulkoilmavirta minimissään 6 l/s henkilöä kohti (S3) → mitoitusulkoilmavirta 1,5 m³/s (30 % kokonaisilmavirrasta)
 - S2 luokassa riittää 8-10 l/s, hlö ulkoilmavirta 40-50 % kokonaisilmavirrasta
 - **säädetään ulkoilmavirtaa CO₂ pitoisuuden mukaan esim. 10...50 %**
- Ulkoilman osuus enintään 50 % → kostutuksen mitoitus-teho alenee liki 50 %
 - energiantarve alenee enemmän kuin 50 %, kun iv-konetta ei enää ajeta aikaohjelman mukaan 50/100 % ulkoilmavirralla

Jäähdytyspatterin uusi mitoitus

- Mitoitustilanteessa jäähdytyspatterille tulee 2,5 m³/s ulkoilmaa ja 2,5 m³/s palautusilmaa
 - ulkoilman tila esim. +25 °C, RH 88 % (70 kJ/kg, kosteutta 17,61 g/kg)
 - poistoilma +22 °C RH 52 % (43,9 kJ/kg, kosteutta 8,56 g/kg)
 - sekoituspisteen tila (jäähdytyspatterille tuleva ilma) 23,5 °C, 13,085 g/kg (76,6 % RH, 55,9 kJ/kg)
- Mitoitus-teho 163 kW (-34 %)
 - jäähdytysveden mitoituslämpötilaa voi ehkä nostaa esim. +2/+7 → +3/+8 °C

Erilliset ilmanvaihto- ja kiertoilmakoneet



Case 2, SLK –talo (opetusrakennus)

lähtötilanne

Kaikki jäähdytys kaukokylmällä

Ensiöpuoli +8°C / +16 °C, dT **8K**

- Palkki- ja konvektoriverkosto
 - 10 °C / 17 °C
 - 312 kW
 - **Kesällä ”sataa sisälle”**
- IV-jäähdytysverkosto
 - 10 °C / 17 °C
 - 1000 kW
 - **Tuloilmaa ei voi kuivattaa**

Kaukokylmän ensiövirtaama 39 dm³/s

- Mitoitusilmamäärä 63,5 m³/s
- Kesäajan vajaakäyttöä ei ole huomioitu mitoituksessa
- **Kaukokylmäyhtiön verkon rajoituksista johtuen täyttä tehoa ei saada käyttöön, koska saatavissa oleva ensiövirtaama on vain 24 dm³/s**

Case 2, SLK –talo muutokset

Lämpöpumpulla buustattu kaukokylmä
Ensiöpuoli +8°C / +21 °C, dT 13K

- Palkki- ja konvektoriverkosto **El toimenpiteitä**
 - 10 °C / 17 °C
 - 312 kW
 - Palkkiverkoston toiminta-alue laajeni ja palkeista ei tipu vettä
- IV-jäähdytysverkosto **lämpöpumpun kautta**
 - 6 °C / 11 °C
 - 1000 kW
 - **Tuloilman jäähdytys kuivaa tuloilmaa**
 - **Tuloilman jälkilämmitys**

Opetusrakennus
Kaukokylmän ensiövirtaama 24 dm³/s

- Mitoitusilmamäärä 63,5 m³/s
- Kesän huippukuormalla ilmamäärä 25%
- Ilmanvaihdon ja toiminnan keskittäminen
- Lämpöpumpun hukkalämpöä käytetään ilmanvaihdon jälkilämmityspattereissa
- **Sisäilman olosuhteet saadaan kuivatuksen myötä halutuiksi**
- **Kaukokylmästä saadaan tarvittava jäähdytysteho halutuilla lämpötilatasoilla, vaikka vesivirta on pienempi**

Case 3, maanalaiset (kellari/luola) varasto ja työtilat

- Kellarissa sijaitsevat varasto- ja työtilat
 - Ongelmana liian korkea ilmankosteus
 - ei pelkkä viihtyvyysongelma, myös varastoitavat tavarat kärsivät
 - Tuloilmakoneessa jäähdytyspatteri, tuloilman mitoituslämpötila $15,5\text{ °C}$
 - jäähdytys kaukokylmällä
 - Pienet lämpökuormat
 - tuloilman lämpötila vaihdellut hellejaksojenkin aikana $19\text{--}20,5\text{ °C}$
 - poistoilman lämpötila $21\text{--}22\text{ °C}$
 - Jäähdytys n. 20 °C lämpötilaan rajaa tuloilman kosteuden maksimiarvon noin 14 g/kg tasolle
 - huoneilman suhteellinen kosteus saattoi nousta 80-90 prosenttiin
 - tuloilman (noin $1,2\text{ m}^3/\text{s}$) mukana $7\text{ g/s} = 25\text{ l/h}$ tai 600 l/d ylimääräistä kosteutta sisälle
- Korjausehdotus:
- Lisätään jälkilämmityspatteri
 - Tuloilman jäähdytys $+16\text{ °C}$ ja jälkilämmitys $+20\text{ °C}$
 - Em. kuivaa tuloilman noin 11 g/kg tasolle → huoneilman RH noin 70 %



PIIVU-FINLANDIA

Rakennusten energiamääräykset
TERVETULOAI