# LÄMPÖTILAN VAIKUTUS BETONIN SUHTEELLISEEN KOSTEUTEEN

Laura Virtanen, Vahanen Rakennusfysiikka Oy

Betonilattiapäivä 18.5.2022

VAHANEN

# SISÄLTÖ

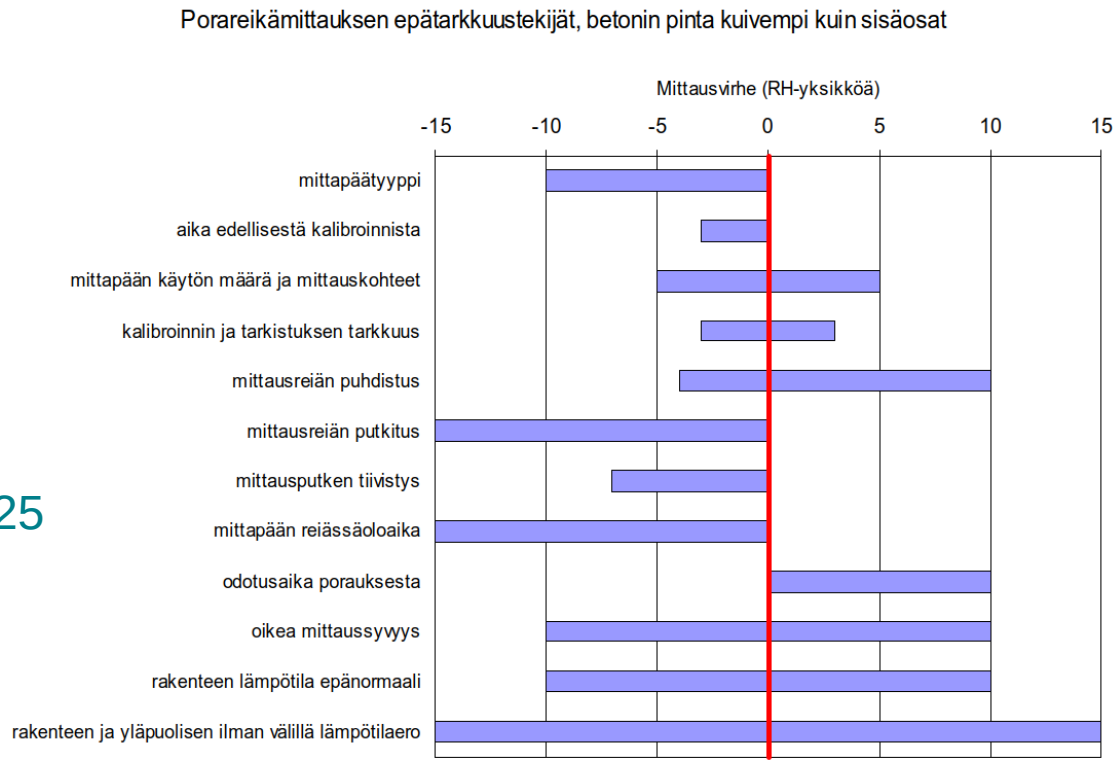
- Tutkimuksen tausta ja tutkimustarve
- Tutkimuksen tavoitteet
- Tutkimuksen suoritus
- Tulosten analysointi
- Johtopäätökset

# YLEISTIEDOT

- Opinnäytetyö  Rakennusterveysasiantuntija-koulutuksessa (RATEKO)
- Opinnäytetyön tekijä Laura Virtanen, DI
  - Pääohjaaja TkT Tarja Merikallio, Vison Oy
  - Työn ohjaaja Pauli Sekki, DI
- Ohjausryhmässä edustukset
  - eGate Smart Building Innovation
  - Rakennusteollisuus RT ry
  - RKM Group Oy
  - Rudus Oy
  - Skanska Oy
  - Suomen Betoniyhdistys ry
  - Vigilan Oy
  - Wiiste Oy

# TUTKIMUSONGELMA

- Betonirakenteiden kuivuminen on edelleen haaste uudisrakentamisessa
- Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen tyypillisesti porareikämittauksella
  - Suosituslämpötila (päällystettävyyttä arvioitaessa) 18…25 ºC
  - Toisaalta suositellaan tehtävän lähellä lattian käytönaikaista lämpötilaa
  - Menetelmä herkkä lämpötilan muutoksille




RT103333, 2021

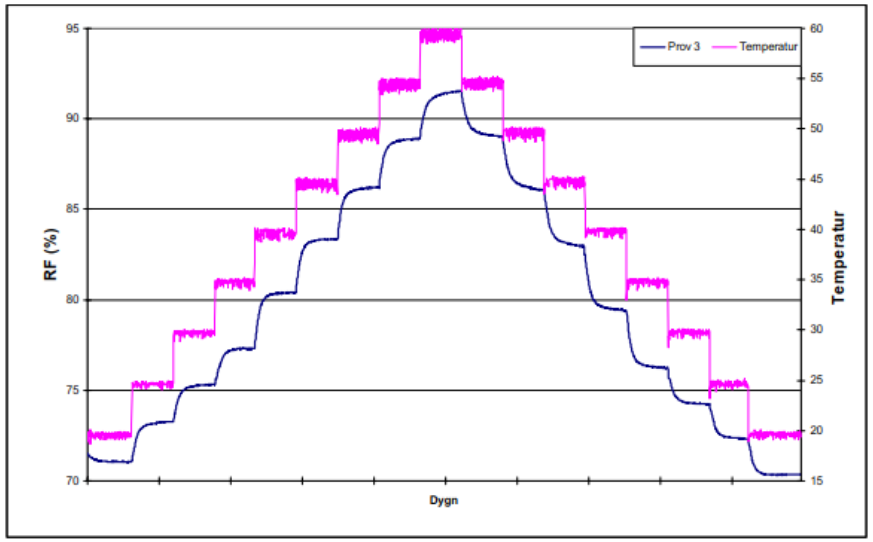
**Kuinka kriittinen tilanne on, jos on mitattu 83 RH-% lämpötilassa 20ºC, mutta kohteeseen tulee lattialämmitys (27 ºC) ja vesihöyrytiivis lattiapäällyste?**



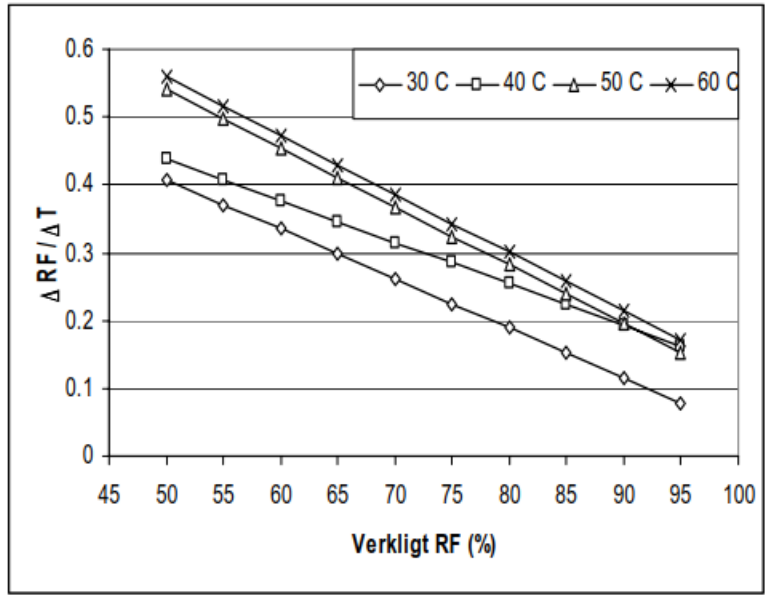
VAHANEN

# TUTKIMUSONGELMA JA TAVOITE

- Aihetta tutkittu Lundin yliopistossa (*Fredin & Skoog, TVBM-5057 Fuktmätning i betong, 2005)*
  - Määritettiin yhden betonin lämpötilan ja suhteellisen kosteuden välinen korrelaatiokäyrä
  - Koesarja tehtiin 40 vuotta vanhalle betonille (K30, v/s 0,55)
- Päätavoitteena on selvittää betonin suhteellisen kosteuden ja lämpötilan välistä riippuvuutta




*Figur 4.1: RF variation*




*Figur 4.2: ΔRF/ΔT för olika intervall*

Fredin & Skoog, 2005.

# LABORATORIOTUTKIMUS-VAIHE

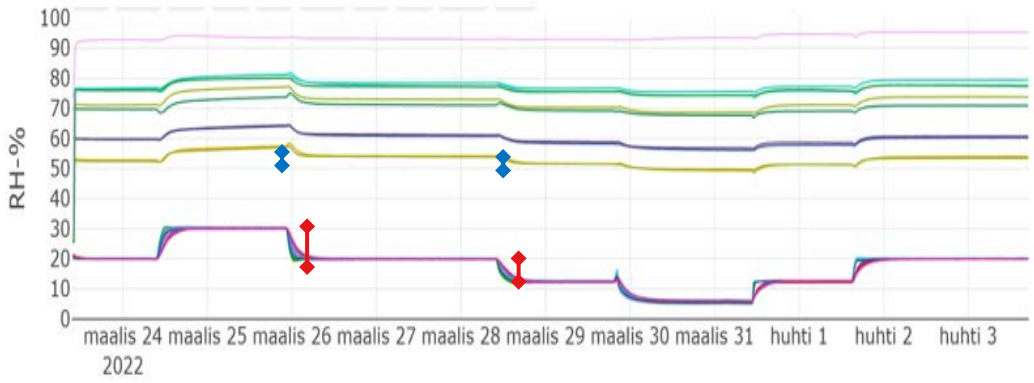
- Tarkastelussa 6 nykyaikaista betonia, C35/45, ikä ~3 vuotta
  - 2 x v/s ~0,45
  - 2 x v/s ~0,6
  - 2 x v/s ~0,73
- Esivalmistelu
  - Poraus, putkitus, tiivistys (RT103333)
  - Kastelu / kuivatus tasapainokosteuteen: RH-% 50…100 %

    Testisarjat 6…8 kpl/betonilaatu

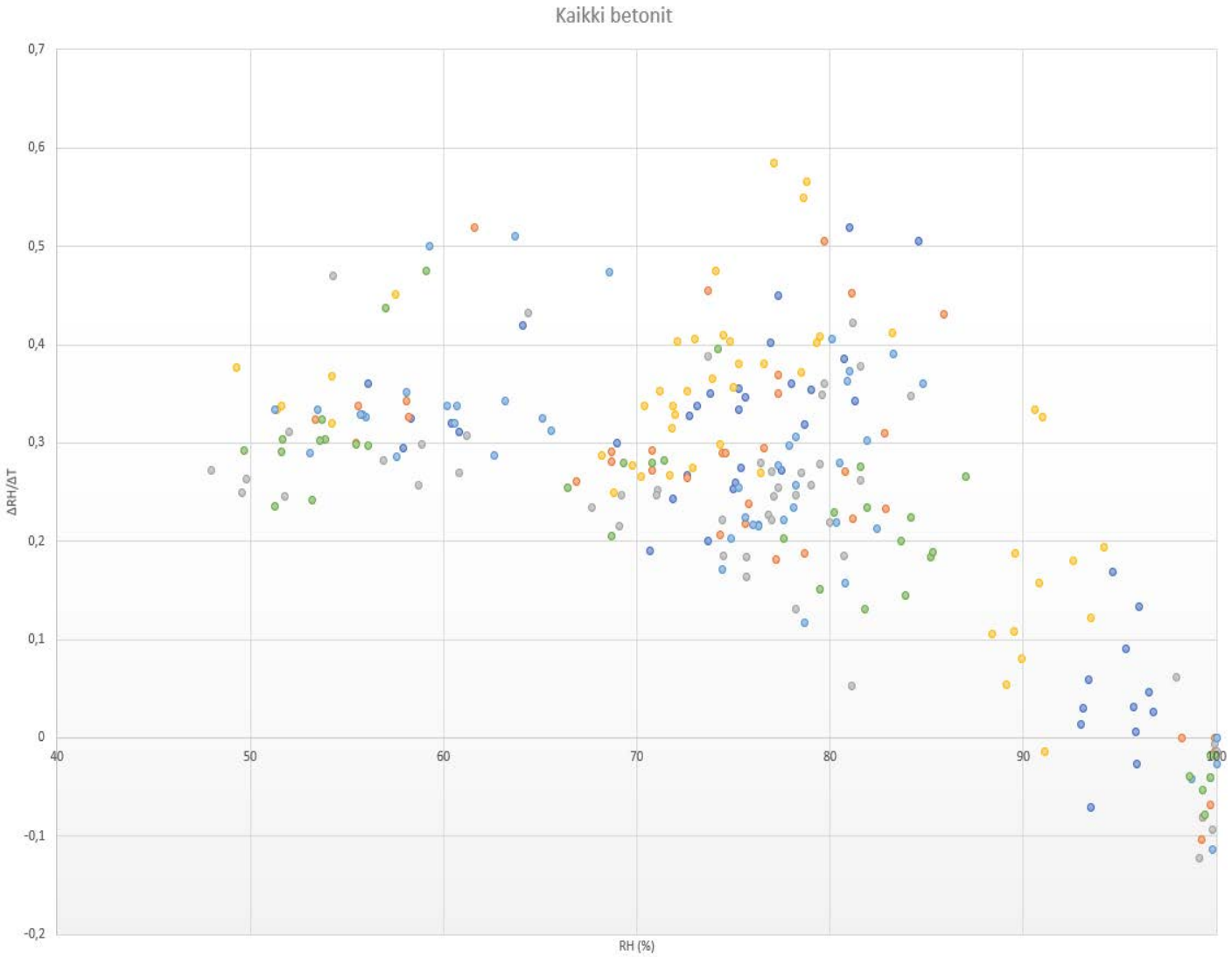
    Yhteensä 43 koekappaletta
  - Paketointi vesihöyrytiiviisti
- Lämpötilasyklitys, 4 kpl
  - 20 ºC →30 ºC →20 ºC →12,5 ºC →-2…6 ºC →12,5 ºC →20 ºC
  - Jatkuvatoiminen, etäluettava RH-%- ja lt-seuranta

# TULOSTEN KÄSITTELY

- RH-% ja lt-kuvaajien läpikäynti
- Muutostekijä ΔRH/ΔT
- Pistekuvaaja: muutostekijä mitatun RH-% funktiona




| 20->30 | | | 30->20 | | | 20->12,5 | | | 12,5->1 | | | 1->12,5 | | | 12,5->20 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ΔT | ΔRH | ΔRH/ΔT | ΔT | ΔRH | ΔRH/ΔT | ΔT | ΔRH | ΔRH/ΔT | ΔT | ΔRH | ΔRH/ΔT | ΔT | ΔRH | ΔRH/ΔT | ΔT | ΔRH | ΔRH/ΔT |
| 9,9 | 3,5 | 0,3535 | -9,8 | -3,4 | 0,3469 | -7,4 | -2,5 | 0,3378 | -13,7 | -4,1 | 0,2993 | 13,5 | 3,6 | 0,2667 | 7,6 | 2,7 | 0,3553 |
| 10,1 | 5,1 | 0,505 | -10,1 | -3,9 | 0,3861 | -7,5 | -2,7 | 0,36 | -11,2 | -2,9 | 0,2589 | 11,3 | 3,5 | 0,3097 | 7,6 | 2,7 | 0,3553 |
| 9,7 | 1,3 | 0,134 | -9,7 | -0,3 | 0,0309 | -7,4 | 0,2 | -0,027 | -15,4 | -0,1 | 0,0065 | 15,1 | 0,7 | 0,0464 | 7,5 | 0,2 | 0,0267 |
| 10,5 | 4,3 | 0,4095 | -10,6 | -3,2 | 0,3019 | -7,7 | -2,5 | 0,3247 | -6,1 | -2,2 | 0,3607 | 6,1 | 1,8 | 0,2951 | 7,8 | 2,5 | 0,3205 |
| 10,2 | 5,4 | 0,5294 | -10,1 | -4,2 | 0,4158 | -7,5 | -1,9 | 0,2533 | -6,5 | -1,3 | 0,2 | 6,2 | 1,7 | 0,2742 | 7,7 | 2,1 | 0,2727 |
| ei tulosta | | | ei tulosta | | | -7,2 | -0,1 | 0,0139 | -7,1 | 0,5 | -0,07 | 6,5 | 1,1 | 0,1692 | 7,7 | 0,7 | 0,0909 |
| 10 | 4,5 | 0,45 | -10 | -3,5 | 0,35 | -7,8 | -1,9 | 0,2436 | -6,3 | -1,2 | 0,1905 | 6,1 | 0 | 0 | 7,8 | 4,6 | 0,5897 |
| 10,2 | 4,4 | 0,4314 | -10 | -3,1 | 0,31 | -7,4 | -2 | 0,2703 | -11,2 | -2,1 | 0,1875 | 11,2 | 2,5 | 0,2232 | 7,3 | 1,7 | 0,2329 |
| 9,7 | 0 | 0 | -9,7 | 1 | -0,103 | -7,4 | 0,5 | -0,068 | -14,6 | 0,2 | -0,014 | 14,5 | 0 | 0 | 7,4 | -0,6 | -0,081 |
| 9,9 | 4,5 | 0,4545 | -9,9 | -2,9 | 0,2929 | -7,2 | -2,1 | 0,2917 | -6,9 | -1,8 | 0,2609 | 6,4 | 1,8 | 0,2813 | 7,7 | 2,1 | 0,2727 |

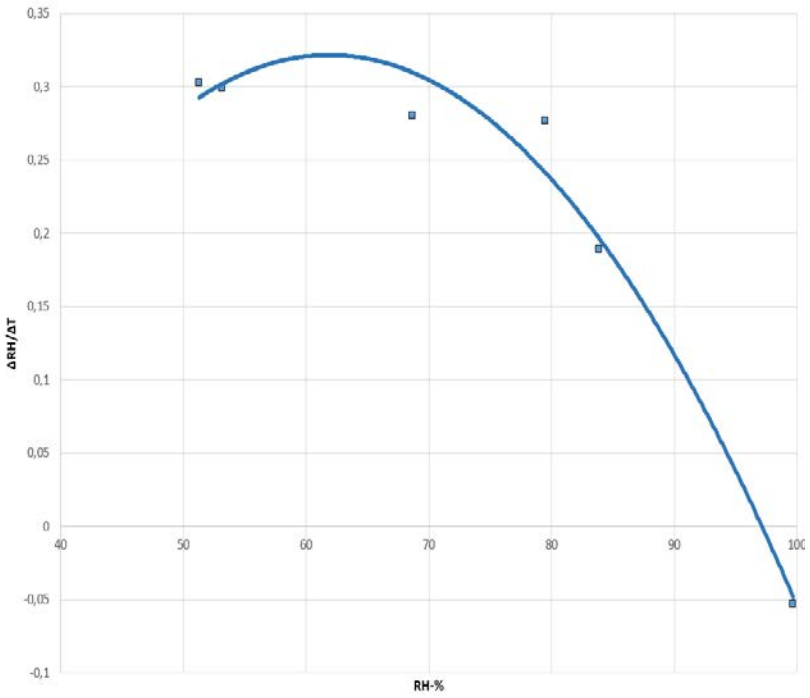




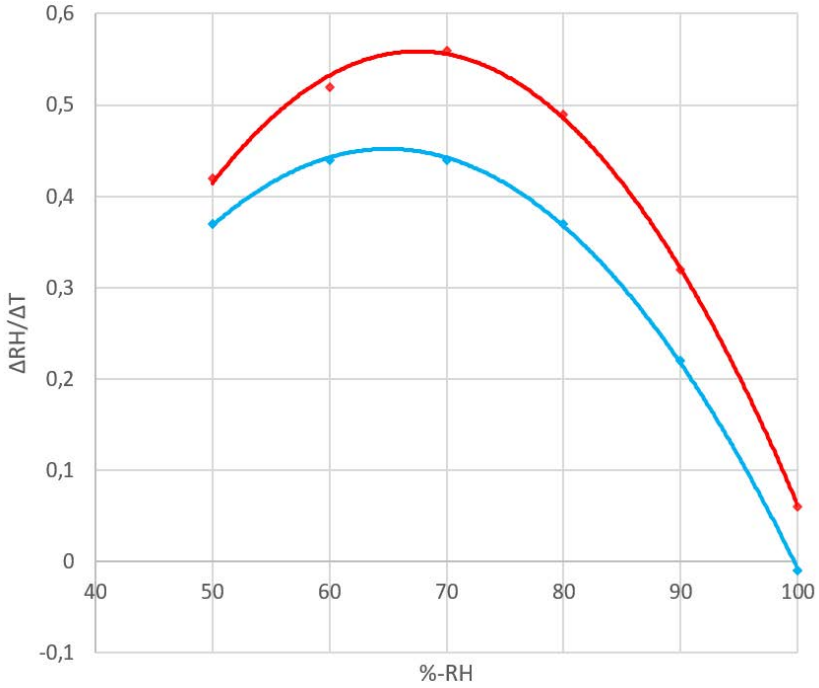

VAHANEN

# POHDINTAA JA TULOSTEN KÄSITTELYÄ

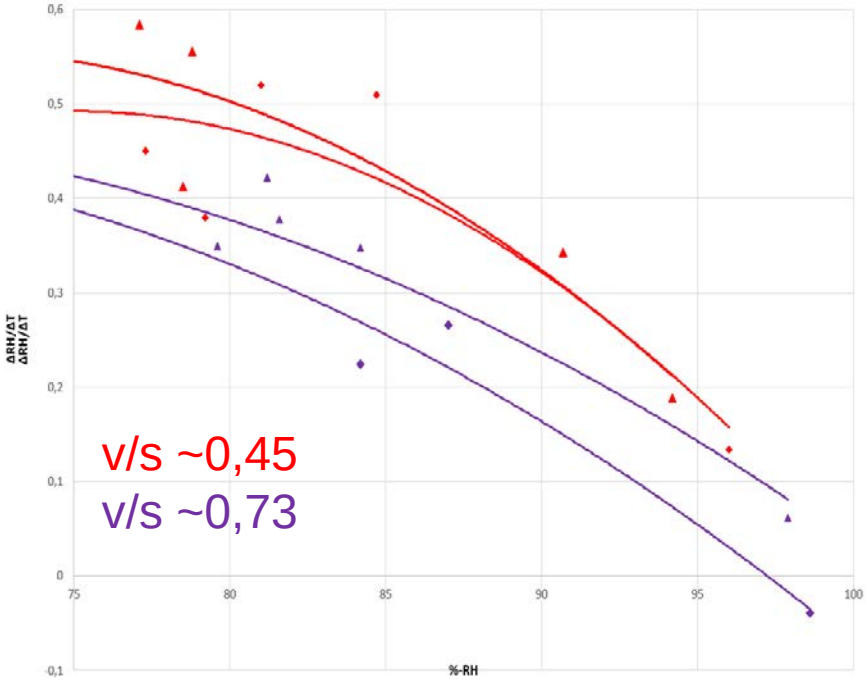
Käyrän muoto




Lämpötilan vaikutus



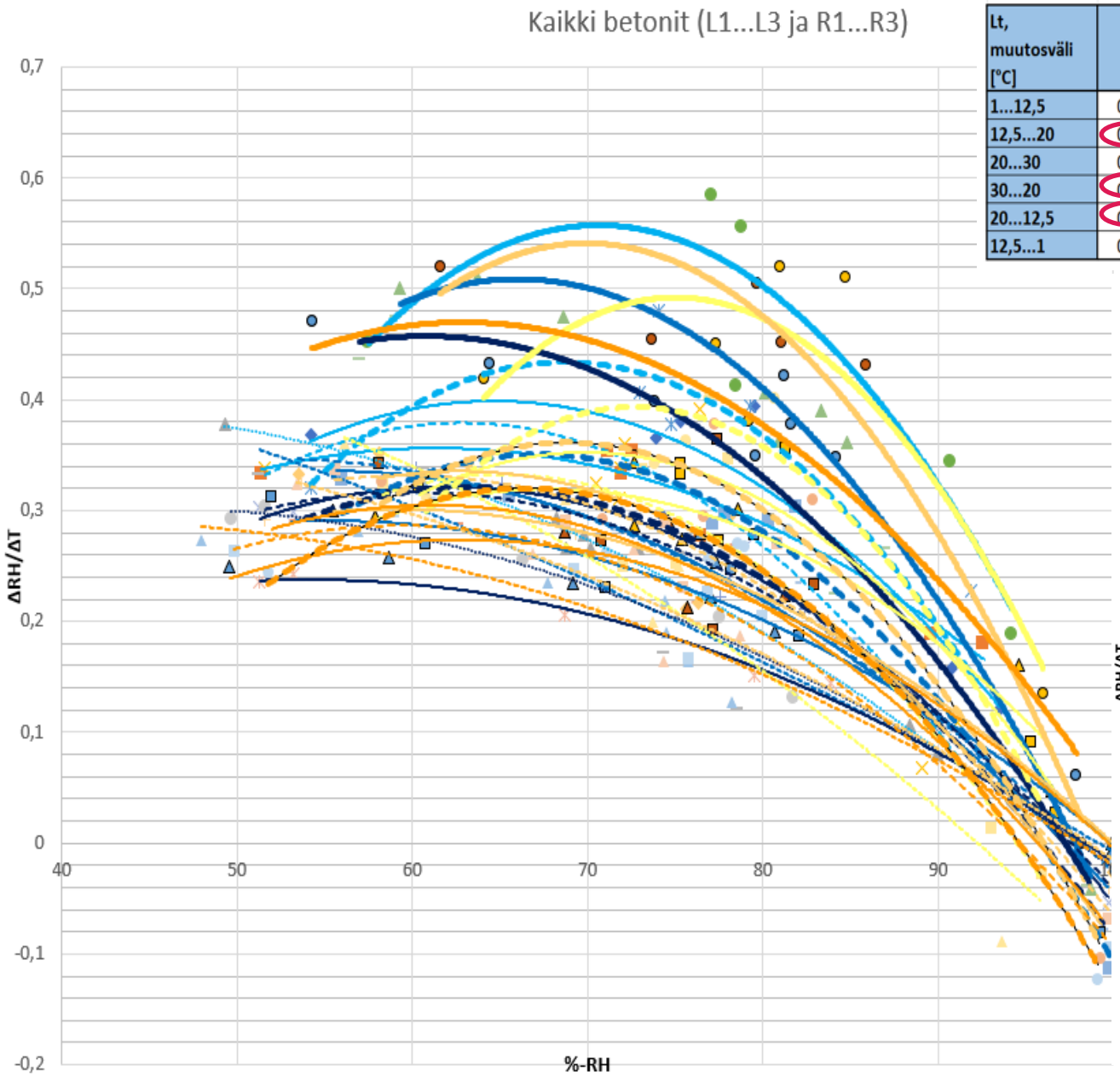

Vesi-sementtisuhteen vaikutus



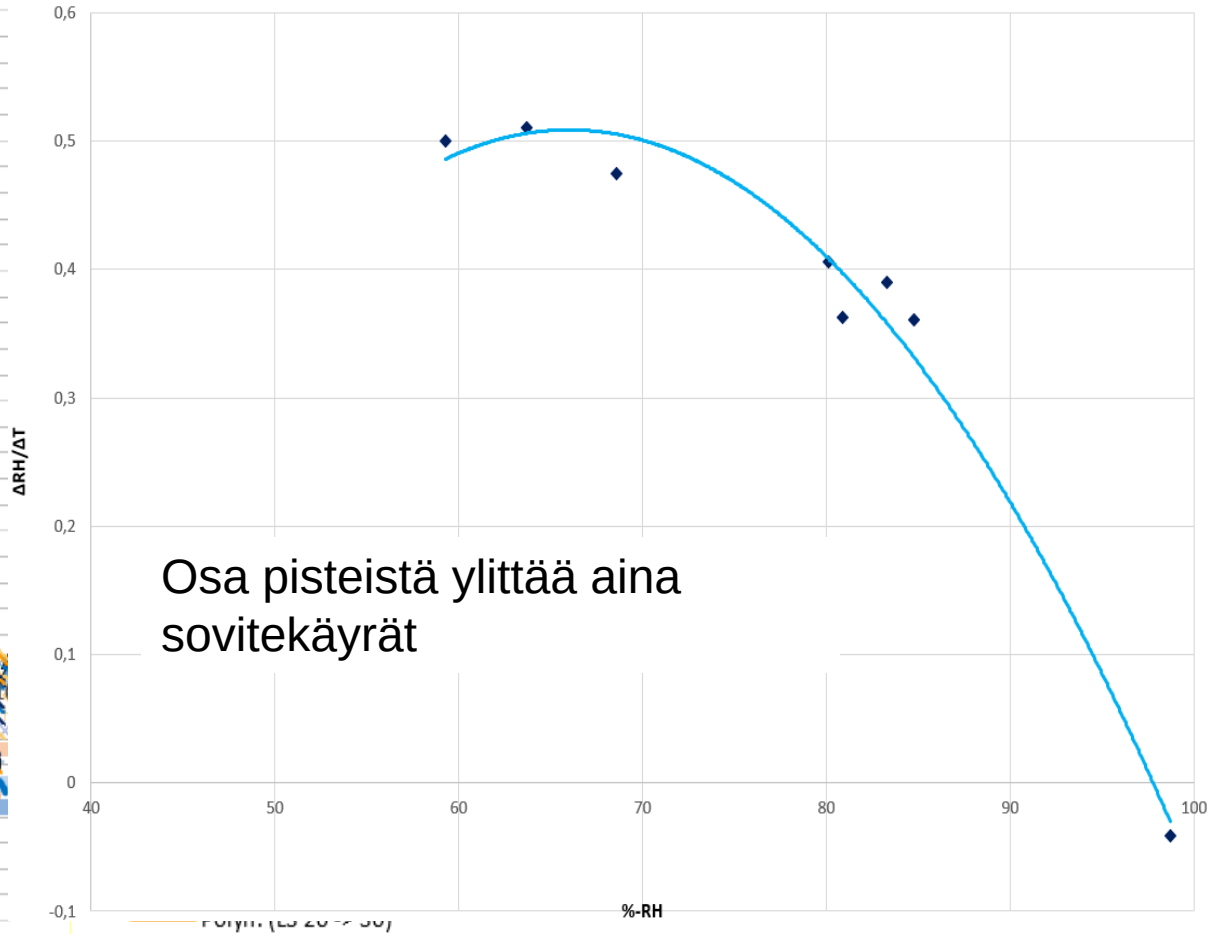



VAHANEN

# KAIKKI TULOKSET YHDESSÄ

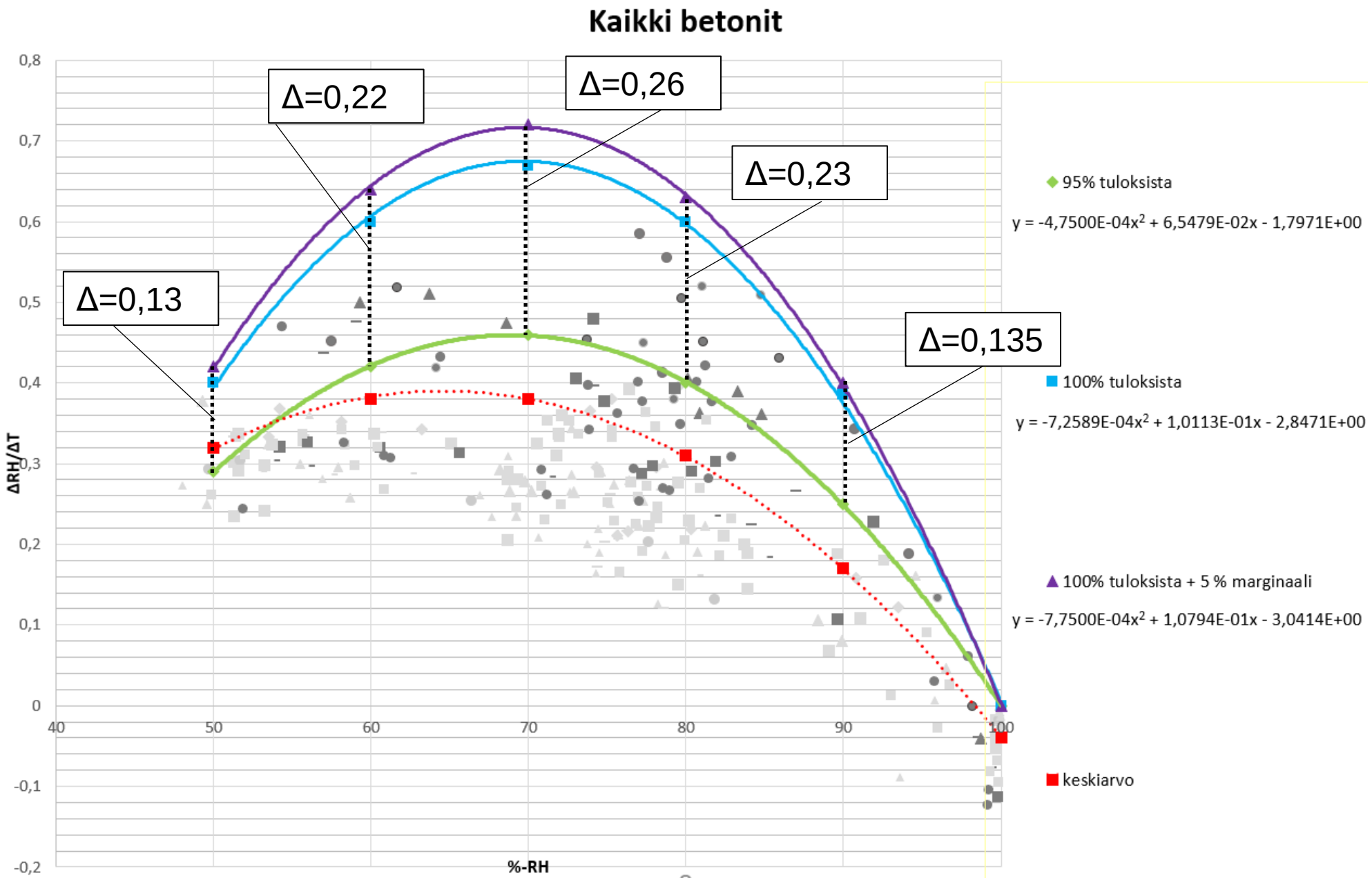



| Lt, muutosväli [°C] | R1 | R2 | R3 | L1 | L2 | L3 | keskiarvo, muutosväli | mediaani, muutosväli | keskiarvo, muutos ylös- tai alaspäin | mediaani, muutos ylös- tai alaspäin | keskiarvo, kaikki | mediaani, kaikki |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1...12,5 | 0,934 | 0,935 | 0,992 | 0,901 | 0,958 | 0,930 | 0,942 | 0,934 | 0,929 | 0,934 | 0,932 | 0,935 |
| 12,5...20 | 0,859 | 0,993 | 0,976 | 0,934 | 0,864 | 0,919 | 0,924 | 0,926 | | | | |
| 20...30 | 0,934 | 0,980 | 0,975 | 0,771 | 0,943 | 0,923 | 0,921 | 0,939 | | | | |
| 30...20 | 0,778 | 0,967 | 0,992 | 0,937 | 0,929 | 0,923 | 0,921 | 0,933 | 0,934 | 0,940 | | |
| 20...12,5 | 0,873 | 0,932 | 0,991 | 0,909 | 0,958 | 0,942 | 0,934 | 0,937 | | | | |
| 12,5...1 | 0,991 | 0,903 | 0,987 | 0,912 | 0,943 | 0,950 | 0,948 | 0,946 | | | | |




Osa pisteistä ylittää aina sovitekäyrät

# YHTEENVETO KAIKISTA TULOKSISTA



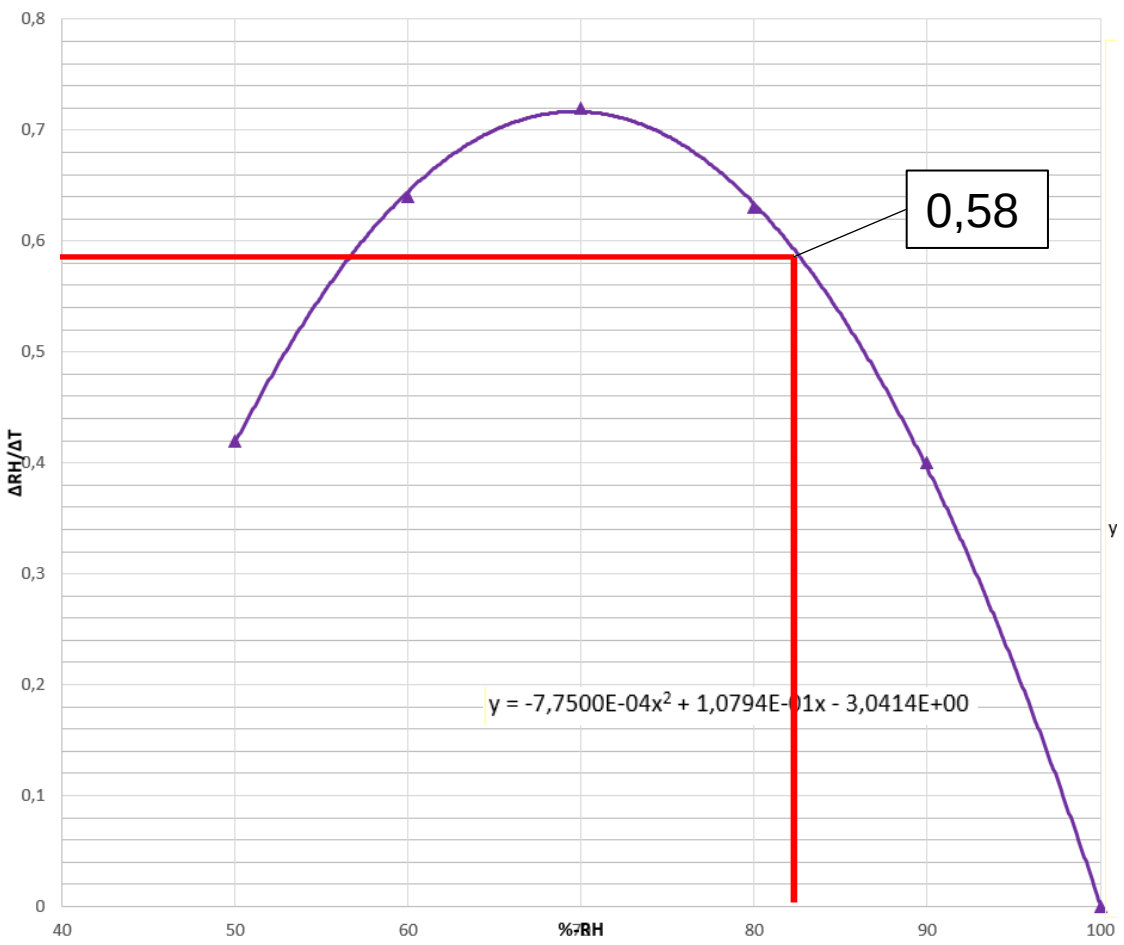

VAHANEN

# EHDOTUS

- Lämpötilan muuttuessa ylöspäin muutoksen aiheuttamaa vaikutusta betonin RH-% mahdollista arvioida:

$$\Delta RH = (-7{,}75 * 10^{-4} * RH^2 + 0{,}10794 * RH - 3{,}0414) * \Delta T$$

  - Sis. 5 % varmuusmarginaalin




**Kuinka kriittinen tilanne on, jos on mitattu 83 RH-% lämpötilassa 20ºC, mutta kohteeseen tulee lattialämmitys (27 ºC) ja vesihöyrytiivis lattiapäällyste?**

ΔRH/ ΔT = 0,58 RH-%/ºC

ΔT=7ºC 20ºC → 27ºC

ΔRH= 4,1 RH-%

**$RH_{korjattu}$ =$RH_{mitattu}$+ ΔRH**

= 83 RH-%+4,1 RH-%

**= 87,1 RH-%**

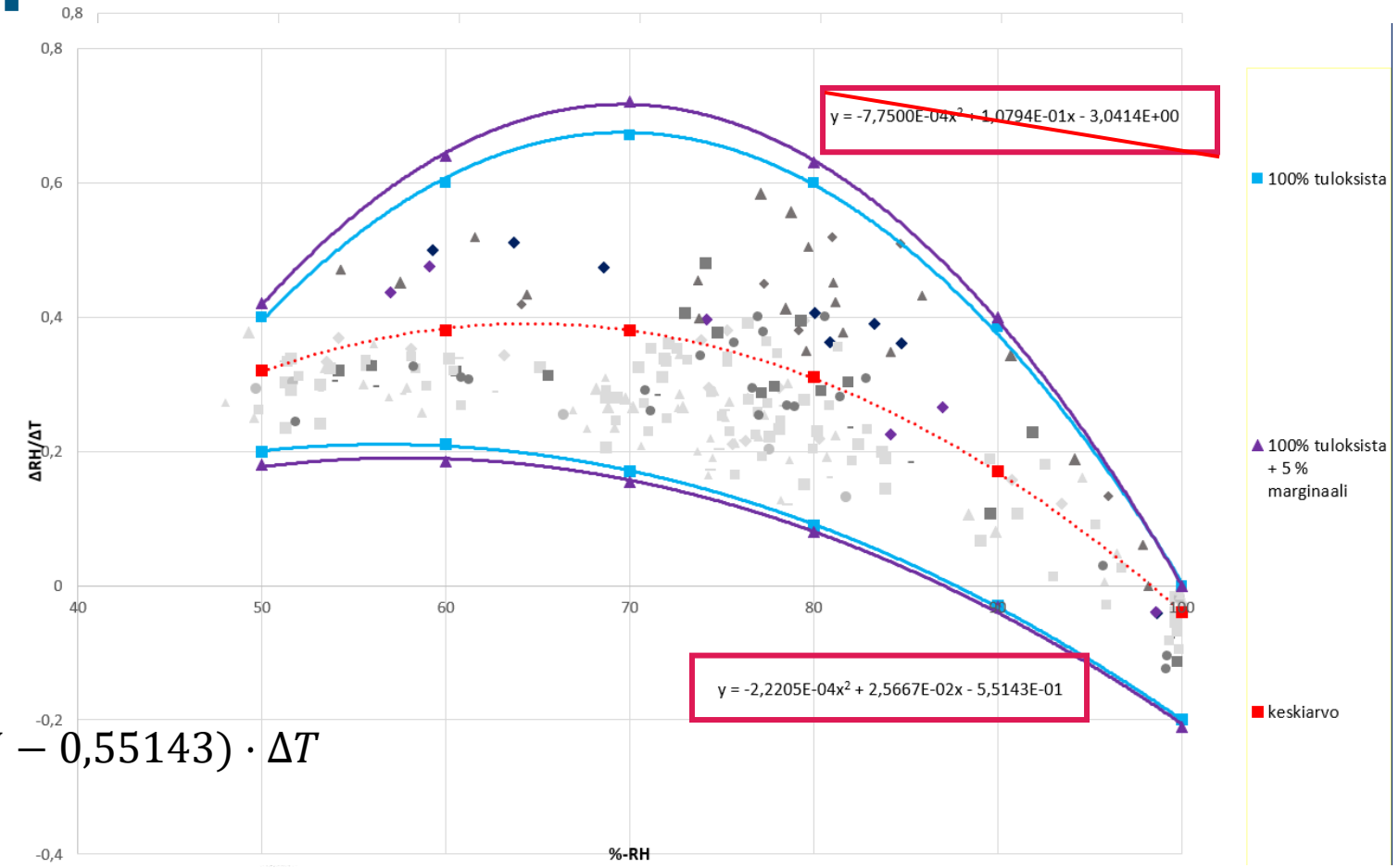


VAHANEN

# ENTÄ JOS LÄMPÖTILAA LASKETAAN?

- **Edellä esitetty kuvaaja ei päde!**
- Lämpötilan muuttuessa alaspäin voidaan muodostaa uusi 5% varmuusmarginaalin sisältävä yhtälö

$$\Delta RH = (-2{,}2205 \cdot 10^{-4} RH^2 + 0{,}02567 \cdot RH - 0{,}55143) \cdot \Delta T$$






VAHANEN

# ENTÄ JOS LÄMPÖTILAA LASKETAAN?

- Esimerkiksi rakennetta kuivatettu lämpötilaa nostamalla (27ºC) ja mitattu 87 RH-%, mikä RH-% kun 20 ºC?

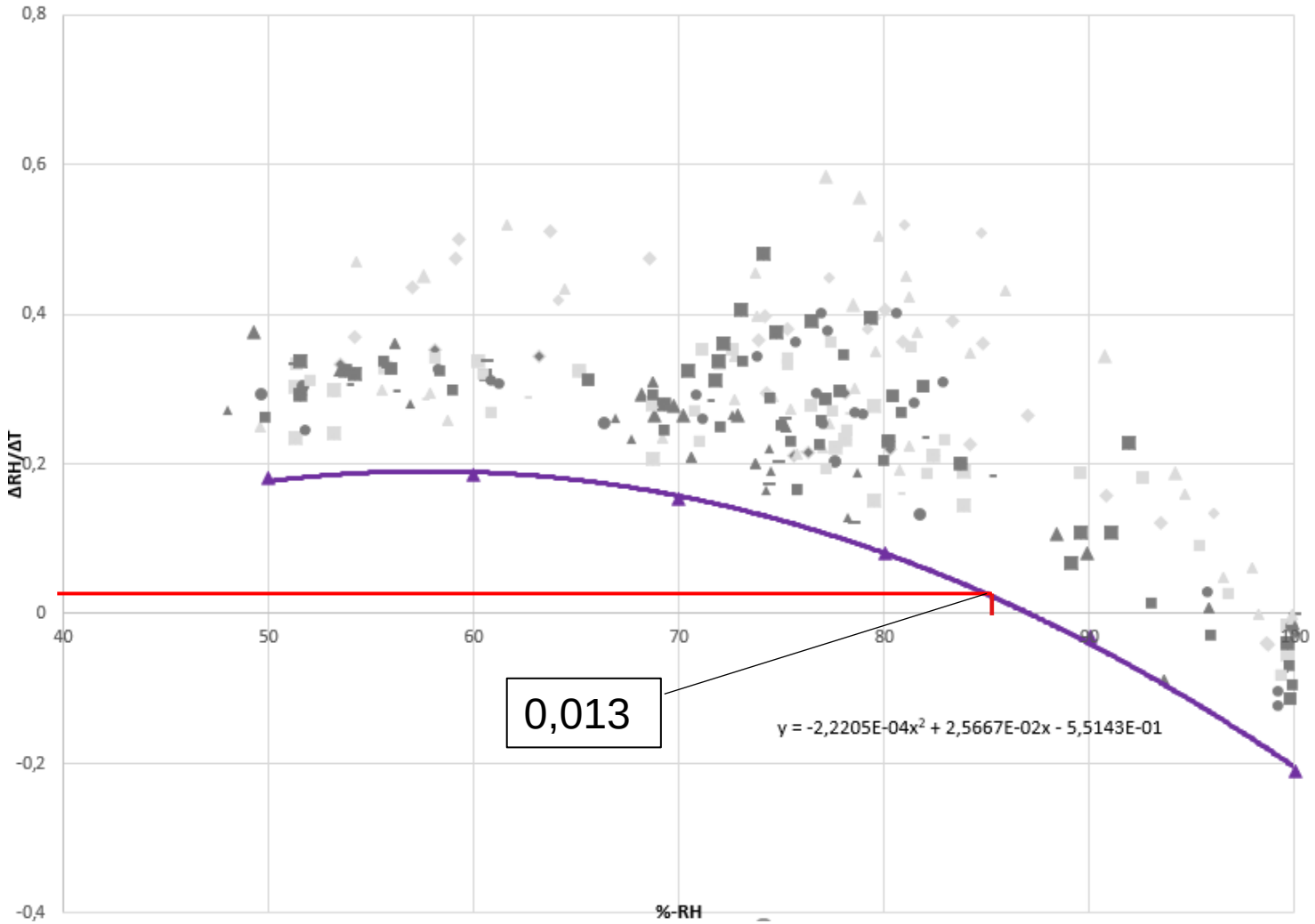
$$\Delta RH = (-2{,}2205 \cdot 10^{-4} RH^2 + 0{,}02567 \cdot RH - 0{,}55143) \cdot \Delta T$$

ΔRH/ ΔT = 0,013 RH-%/ºC

ΔT=-7ºC 27ºC → 20 ºC

ΔRH= -0,1 RH-%

**$RH_{korjattu}$ =$RH_{mitattu}$+ ΔRH**
= 87 RH-%- 0,1 RH-%
**= 86,9 RH-%**

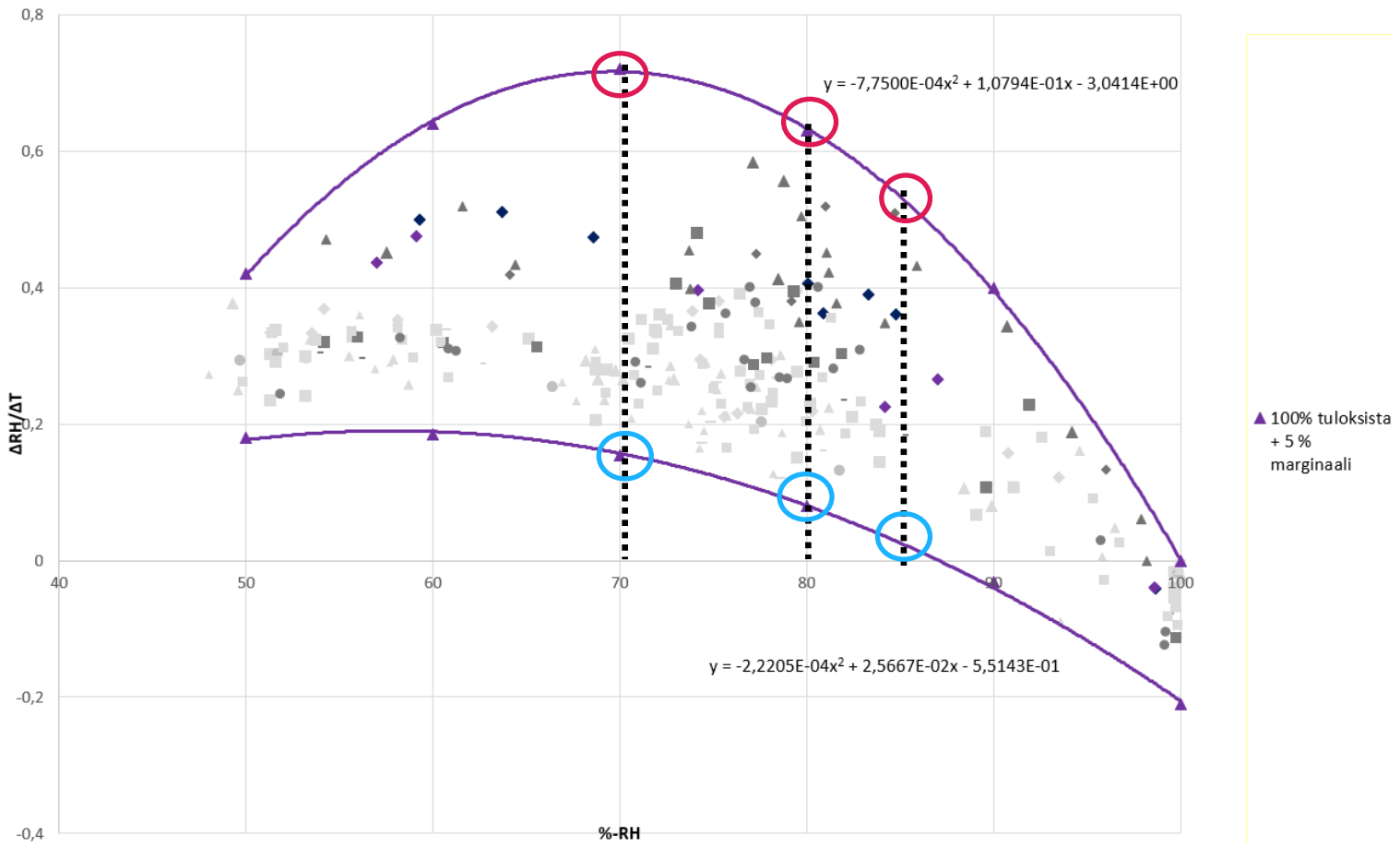





VAHANEN

# EHDOTUS RISKINARVIOINTIIN

| RH-%, mitattu | Lt, mitattu | Lt, loppu | RH-% korjattu |
|---|---|---|---|
| 85 | 20 | 28 | **89,3** |
| 85 | 28 | 20 | **84,7** |
| 80 | 20 | 28 | **85,1** |
| 80 | 28 | 20 | **79,3** |
| 70 | 20 | 28 | **75,7** |
| 70 | 28 | 20 | **68,7** |




Mitataan kuitenkin käyttölämpötilassa aina kun mahdollista!



VAHANEN

# KIITOS MIELENKIINNOSTANNE!

# KYSYMYKSIÄ, KESKUSTELUA?

**Laura Virtanen**
Asiantuntija, DI

044 389 0137

Laura.virtanen@vahanen.com

Vahanen Rakennusfysiikka Oy

VAHANEN

VAHANEN

Rakennetaan onnistumisia