

# Välisseintele esitatavad soojapidavuse nõuded

Ph. D Jazeps Paplavskis

12. märts 2009 Ehituskeskus

Väike-Männiku tn. 3, 11216 Tallinn

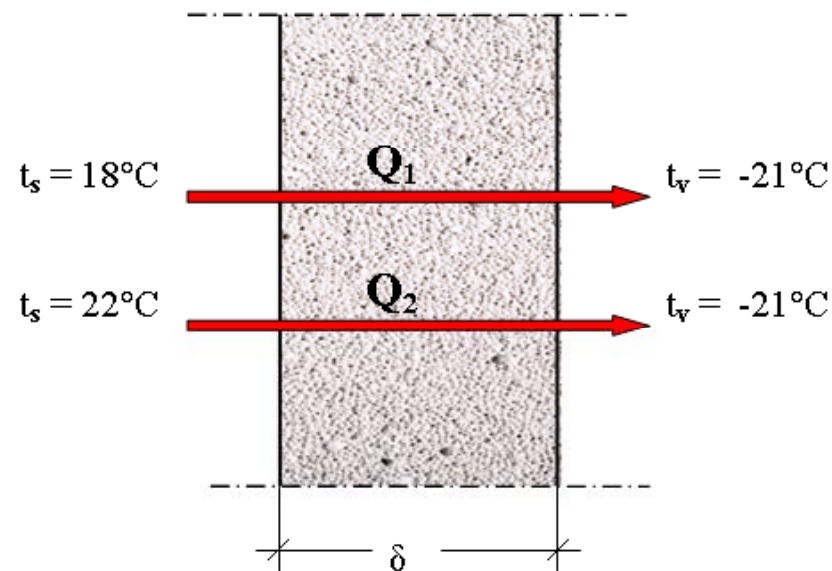
[www.aeroc.ee](http://www.aeroc.ee)

e-mail [aeroc@aeroc.ee](mailto:aeroc@aeroc.ee)

## Välisseina soojajuhtivus vastavalt EVS 837-1:2003

Maksimaalne soojajuhtivus sisetemperatuuri puhul 18 °C

$$U \leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$$



$$\text{Soojavool } Q = U (t_s - t_v) = \frac{1}{R} (t_s - t_v) = \frac{\lambda_U}{\delta} (t_s - t_v)$$

Selleks, et  $Q_1 = Q_2$  sisetemperatuuri 22°C puhul  $U \leq 0,254 \text{ W/m}^2\text{K}$

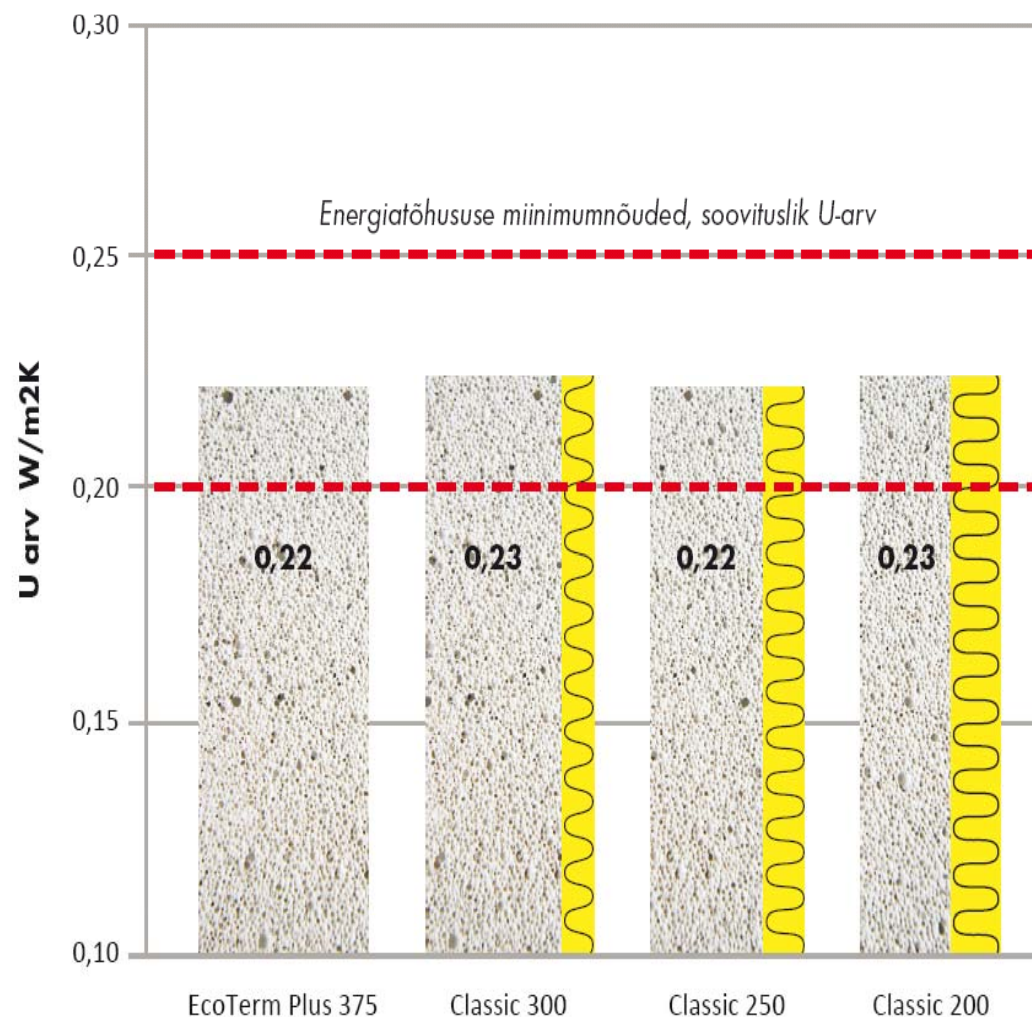
## Elamute välisseinte U-arv, nõutav või soovituslik

|              | Eesti     |                             | Soome     |             | Läti                                  | Leedu |
|--------------|-----------|-----------------------------|-----------|-------------|---------------------------------------|-------|
|              | EVS 837-1 | Energiatõhususe min. nõuded | Kuni 2010 | alates 2010 |                                       |       |
| Seinad       | 0,28      | 0,2...0,25                  | 0,24      | 0,17        | 0,25<br>( $\leq 100 \text{ kg/m}^3$ ) | 0,2   |
|              |           |                             |           |             | 0,3<br>( $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ )  |       |
| Katus        | 0,22      | 0,15...0,2                  | 0,15      | 0,09        | 0,2                                   | 0,16  |
| Põrand       | 0,22      | 0,15...0,2                  | 0,24      | 0,16        | 0,25                                  | 0,25  |
| Aknad, ukсед | 2,1       | 0,7...1,4                   | 1,4       | 1           | 1,8                                   | 1,6   |



# AEROC välisseinakonstruktsioonide U-arvud

| Ploki laius (mm)              | 375            | 300 | 250 | 200 |
|-------------------------------|----------------|-----|-----|-----|
| Soojustuse mark               | Klaasvill OL-P |     |     |     |
| Soojustuse paksus (mm)        | -              | 70  | 90  | 110 |
| Välis- ja siseviimistlus (mm) | 15             |     |     |     |
| Seina paksus (mm)             | 390            | 385 | 355 | 325 |





## AEROC välisseinte lahendused



Lisasoojustuseta sein



Ventileeritav lisasoojustusega sein



## Soojajuhtivus U

Eestis, vastavalt Energiatõhususe miinimumnõuetele, on soovituslik U-arv välisseinal  
 $0,2 - 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

AEROC EcoTerm



Tihedusklass  $300 \text{ kg/m}^3$

Soojaerijuhtivus kuival materjalil

$$\lambda_{10\text{dry}} = 0,072 \text{ W/mK}$$

Arvutuslik soojaerijuhtivus

$$\lambda_U = 0,088 \text{ W/mK}$$

$$U = 1/R$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Fibo 3



Tihedusklass  $650 \text{ kg/m}^3$

Soojaerijuhtivus kuival materjalil

$$\lambda_{10\text{dry}} = 0,20 \text{ W/mK}$$

Arvutuslik soojaerijuhtivus

$$\lambda_U = 0,29 \text{ W/mK}$$

$$R = R_{si} + \delta/\lambda_U + R_v$$

$$R_v = 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Silbet



Tihedusklass  $500 \text{ kg/m}^3$

Soojaerijuhtivus kuival materjalil

$$\lambda_{10\text{dry}} = 0,12 \text{ W/mK}$$

Arvutuslik soojaerijuhtivus

$$\lambda_U = 0,17 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_U = 0,15 \text{ W/mK (liimvuugi korral)}$$

$\delta$  – seina paksus m



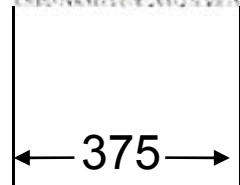


## Seina paksus (mm) ilma lisasoojustuseta:

( $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

Aeroc EcoTerm (300 kg/m<sup>3</sup>)

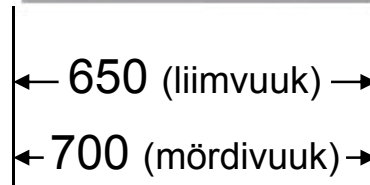
$\lambda_u = 0,088 \text{ W/mK}$



Silbet (500 kg/m<sup>3</sup>)

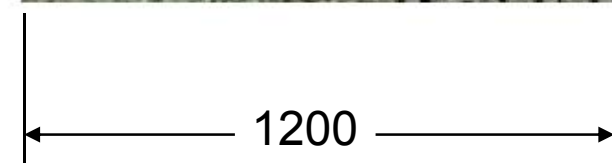
$\lambda_u = 0,15 \text{ W/mK}$  (liimvuuk)

$\lambda_u = 0,17 \text{ W/mK}$  (mördivuuk)

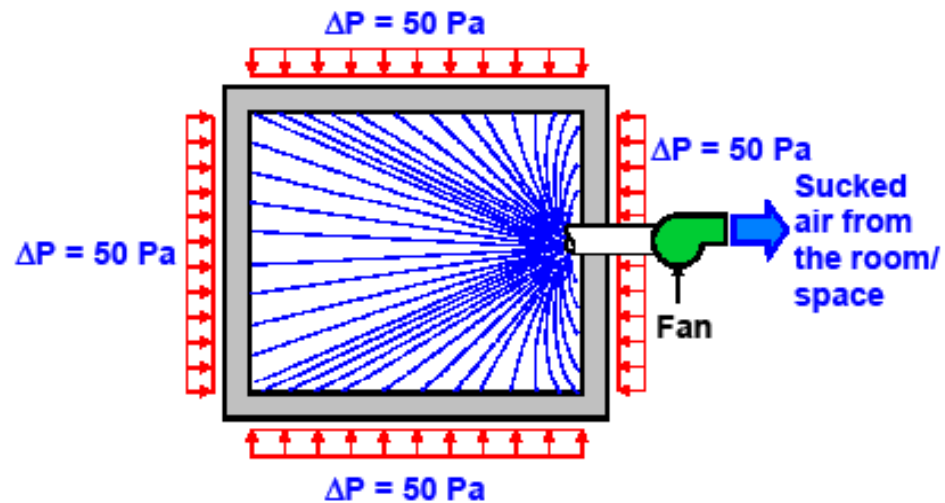


Fibo 3 (650 kg/m<sup>3</sup>)

$\lambda_u = 0,29 \text{ W/mK}$  (mördivuuk)

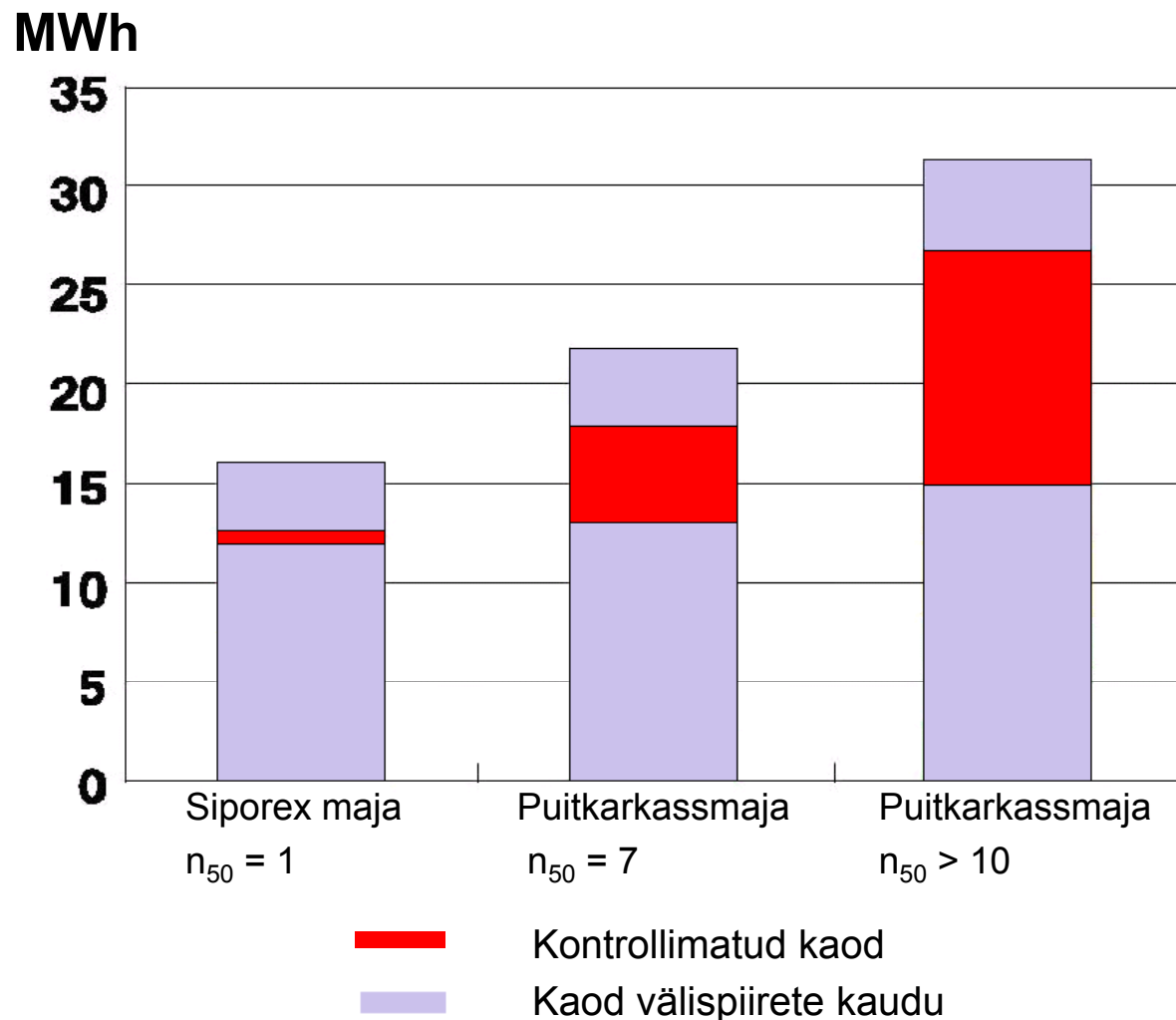


## Hoone õhutiheduse mõõtmine





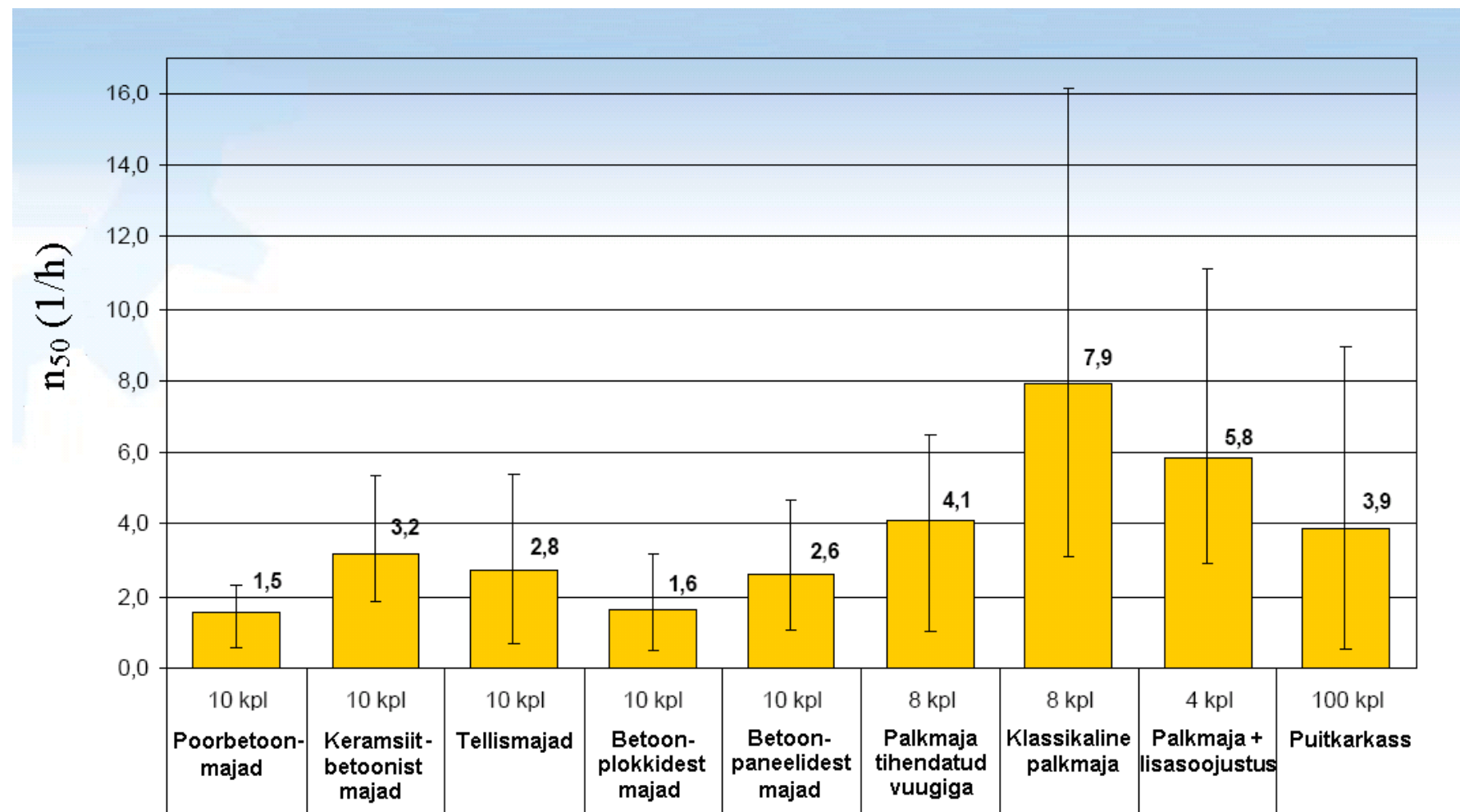
## Erineva õhutihedusega tarindite energiatarve



100 m<sup>2</sup> põrandapinnaga eramu. Konstruktsioonide U-arv on sama.

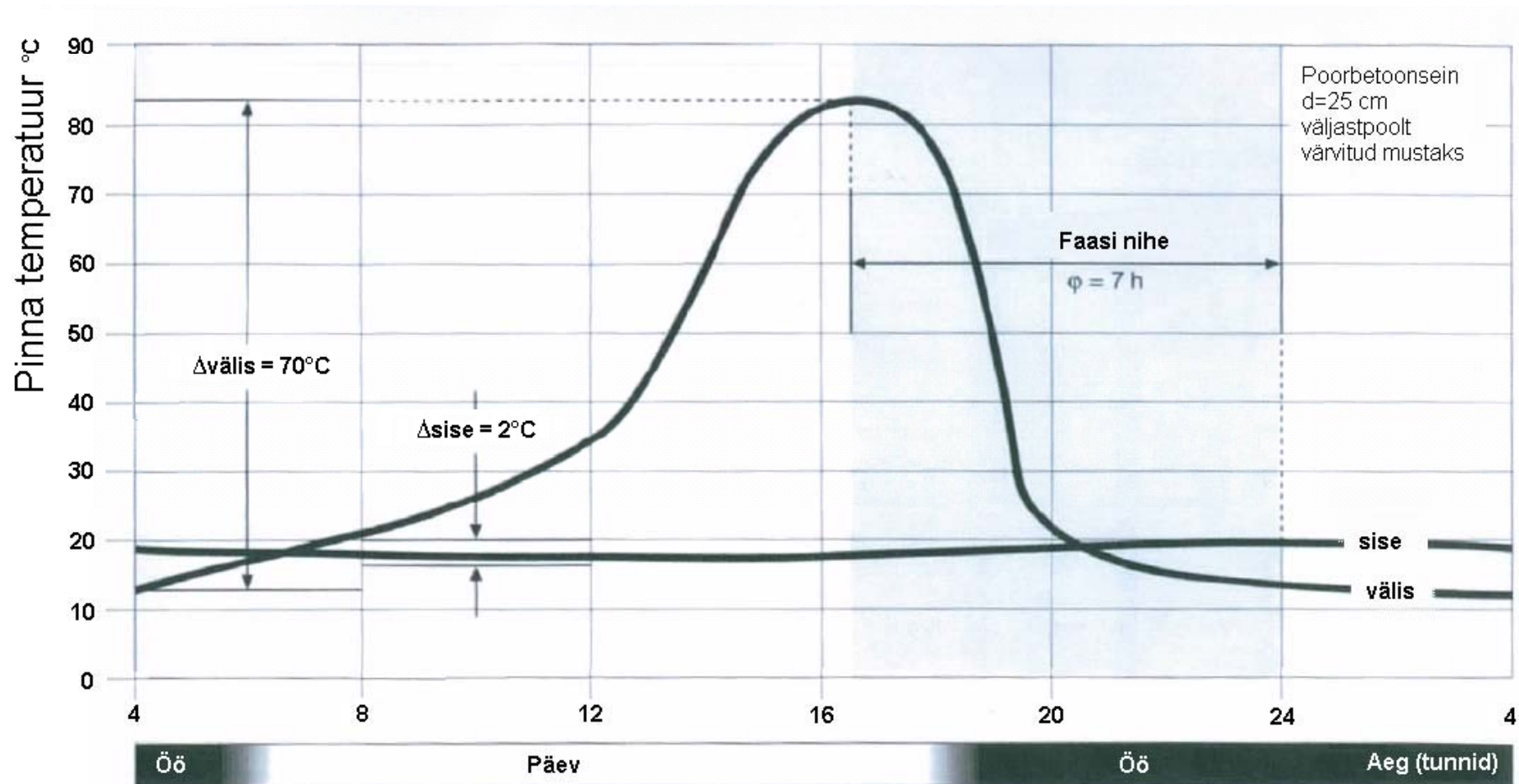
**Infoallikas:** Tampere Tehnikaülikooli uurimus, vt. Jämera Talokirja 2007

## Õhutiheduse võrdlus



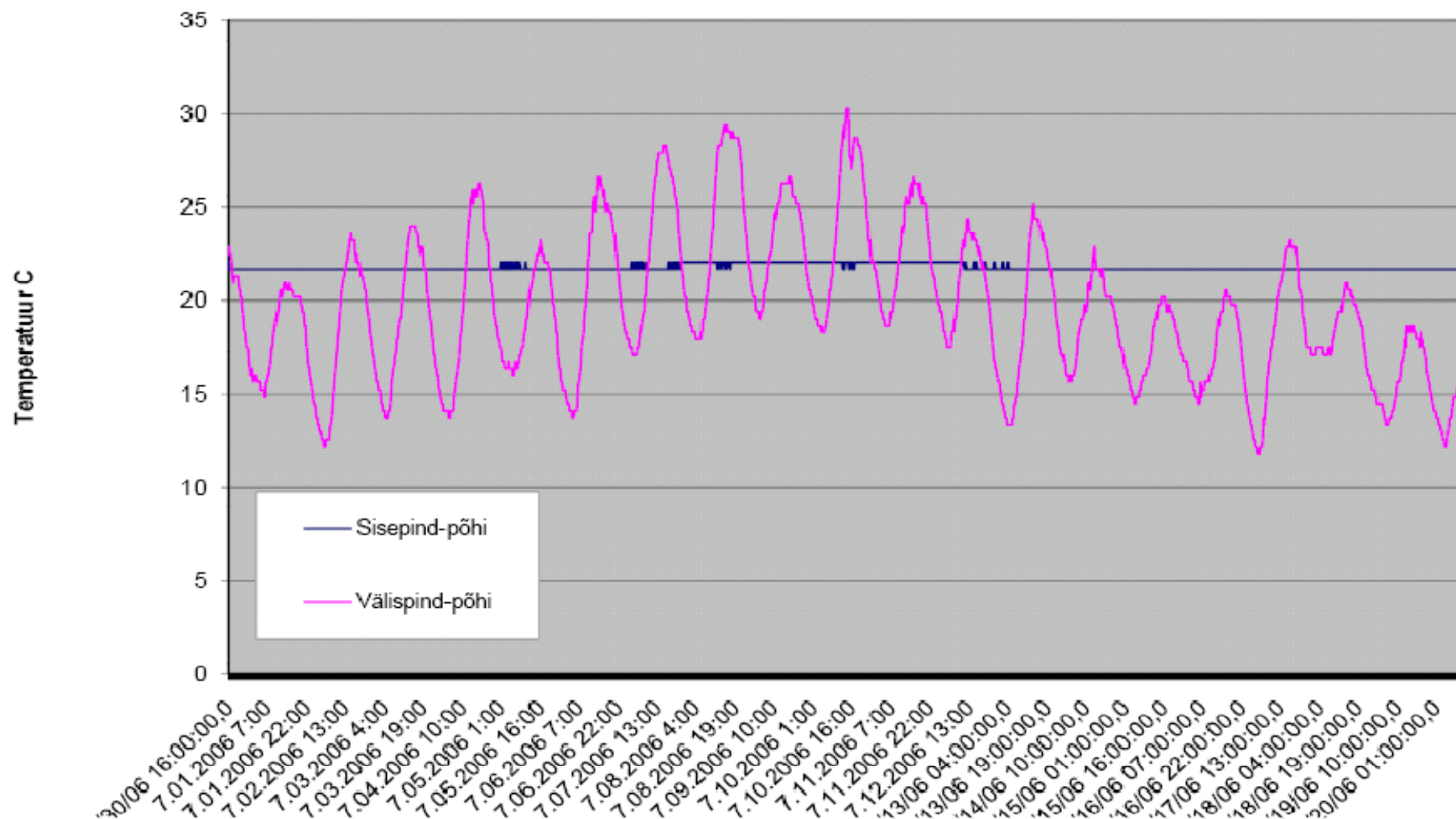
**Infoallikas:** RAKENNUSTEN ILMANPITÄVYYS – uudet suunnitteluohjeet apuvälineenä.  
 Betonin uudet haasteet – seminar. 7.2.2008. Minna Korpi (Tampere Tehnikaülikool)

## Seina soojusinerts



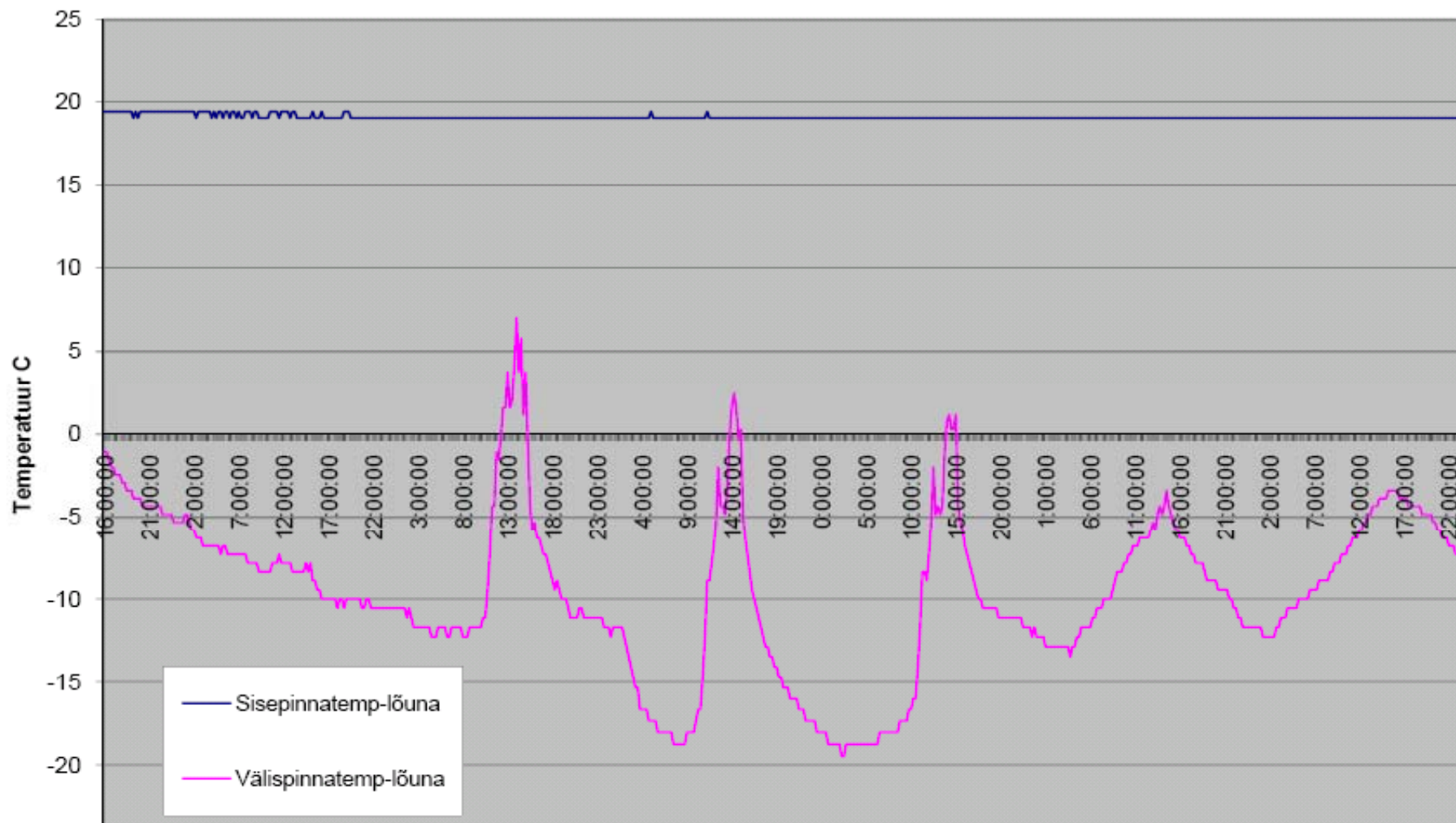
Infoallikas: Porenbeton Handkuche Wisbaden 2002

## Sise- ja välistemperatuurid suveperioodil



**Infoallikas:** Tallinna Tehnikakõrgkooli katsetulemused

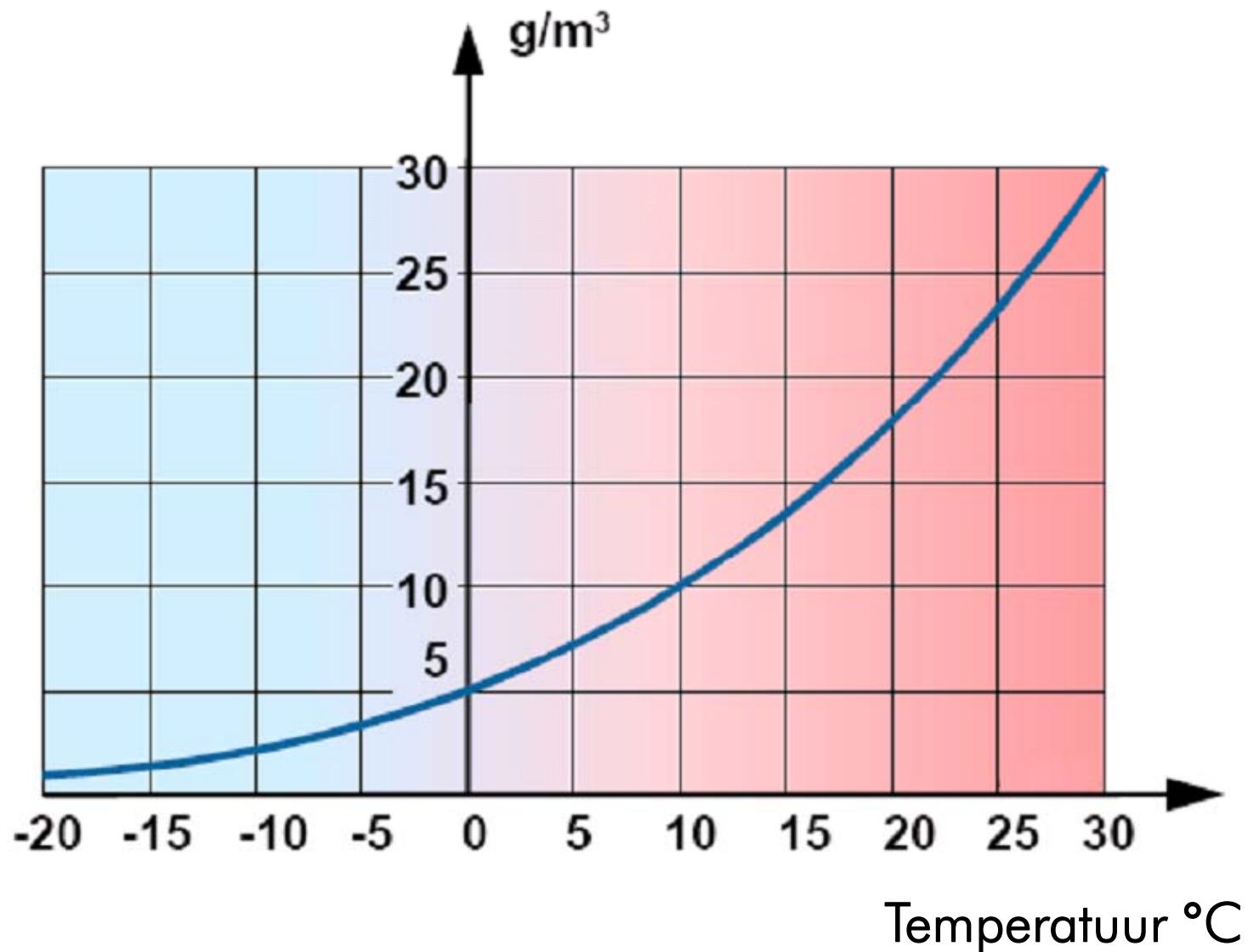
## Sise- ja välistemperatuurid talveperioodil



**Infoallikas:** Tallinna Tehnikakõrgkooli katsetulemused



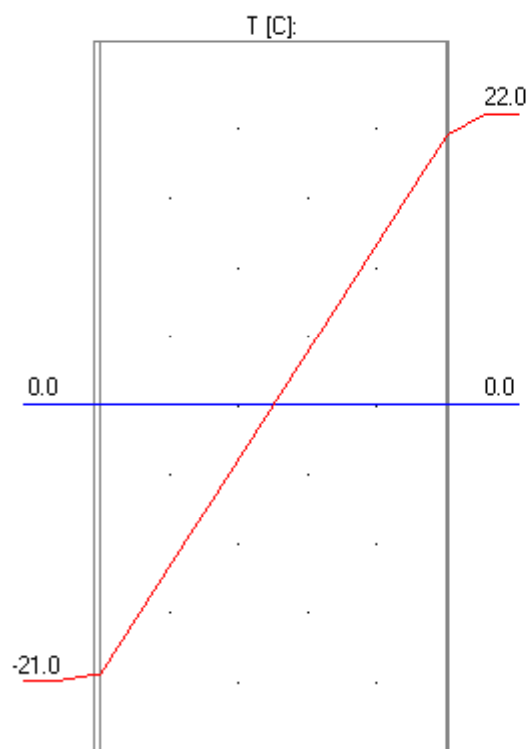
## Küllastunud veeauru kogus õhus



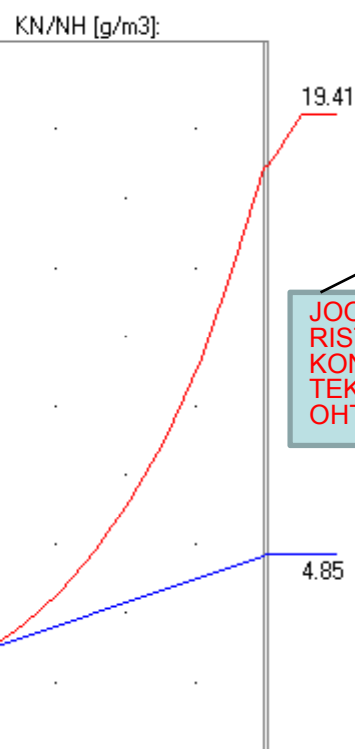


# Temperatuuri ja niiskuse jaotus AEROC EcoTerm 375 plokkidest välisseinas

Temperatuuri jaotus

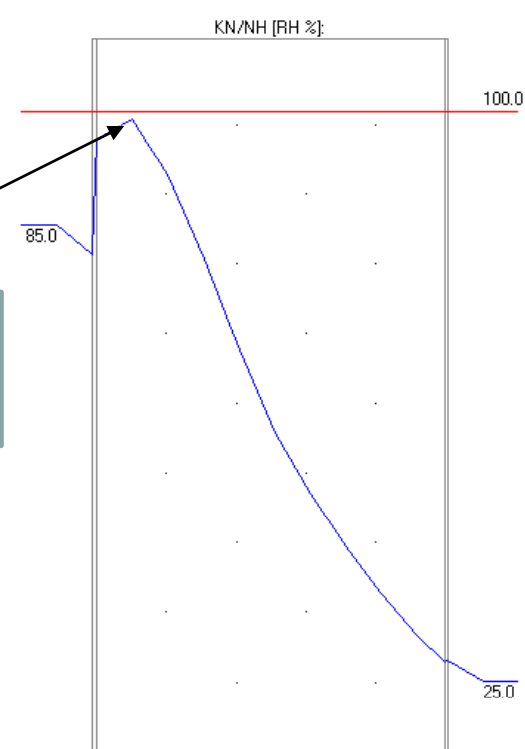


$T_v = -21^\circ \text{C}$   $T_s = +22^\circ \text{C}$   
 $R_h = 85\%$   $R_h = 25\%$



JOONED EI  
RISTU,  
KONDESAADI  
TEKKIMISE  
OHTU POLE

Niiskuse jaotus



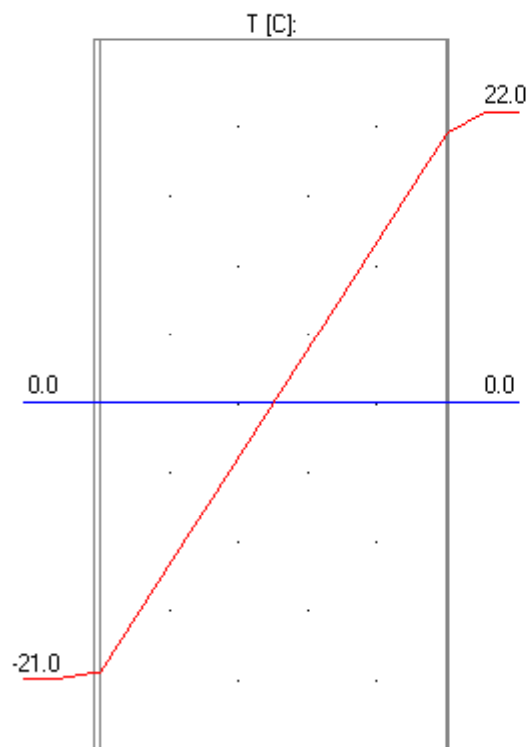
— Küllastunud õhu niiskus seinas  
— Tegelik õhu niiskus seinas

AEROC EcoTerm 375 + Sakret MRP välisviimistlus  $\mu = 9,5$



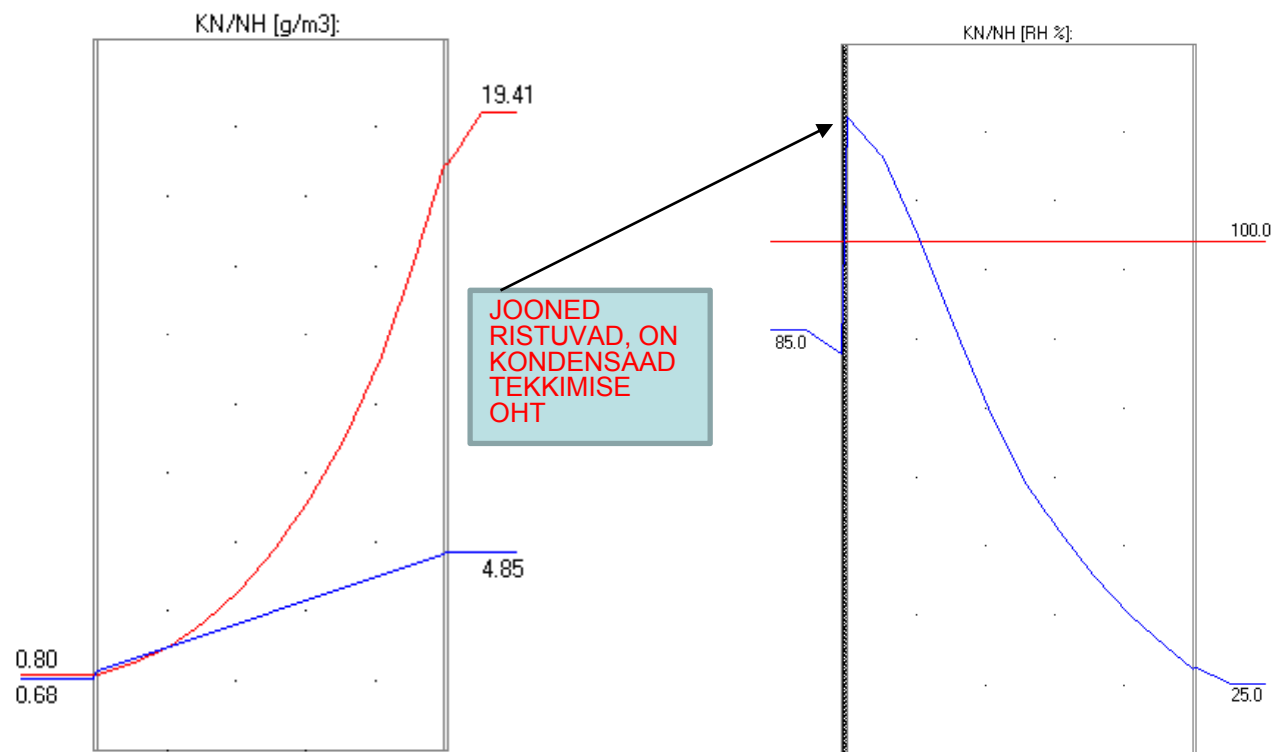
# Temperatuuri ja niiskuse jaotus AEROC EcoTerm 375 plokkidest välisseinas

Temperatuuri jaotus



$T_v = -21^{\circ}\text{C}$   $T_s = +22^{\circ}\text{C}$   
 $R_h = 85\%$   $R_h = 25\%$

Niiskuse jaotus



— Küllastunud õhu niiskus seinas  
— Tegelik õhu niiskus seinas

AEROC EcoTerm 375 + Maxit Serpo välisviimistlus  $\mu = 21$



## Veeauru erijuhtivuse koefitsendid (difusioonitakistus konstandid) $\mu$

|     |                                            |         |
|-----|--------------------------------------------|---------|
| 1.  | AEROC poorbetoon (sõltuvalt mahukaalust)   | 4 – 6   |
| 2.  | Keramsiitbetoon                            | 6       |
| 3.  | Mineraalvill                               | 1       |
| 4.  | Vahtpolüstüreen (EPS) (AS Reideni Plaat)   | 30 – 70 |
| 5.  | Lubitsement liivkrohv                      | 6       |
| 6.  | Sakret MRP mineraaldekoratiivkrohv (4 mm)  | 9,5*    |
| 7.  | Maxit Serpo polümeerdekoratiivkrohv (4 mm) | 21**    |
| 8.  | Maxit Serpo tsement-polümeerkrohv (6mm)    | 19,3**  |
| 9.  | Maxit IP color mineraalkrohv (6mm)         | 15,2**  |
| 10. | Maxit Sil silikaatkrohv (6mm)              | 29,0**  |
| 11. | Maxit Silco silikoonkrohv (6mm)            | 41,0**  |

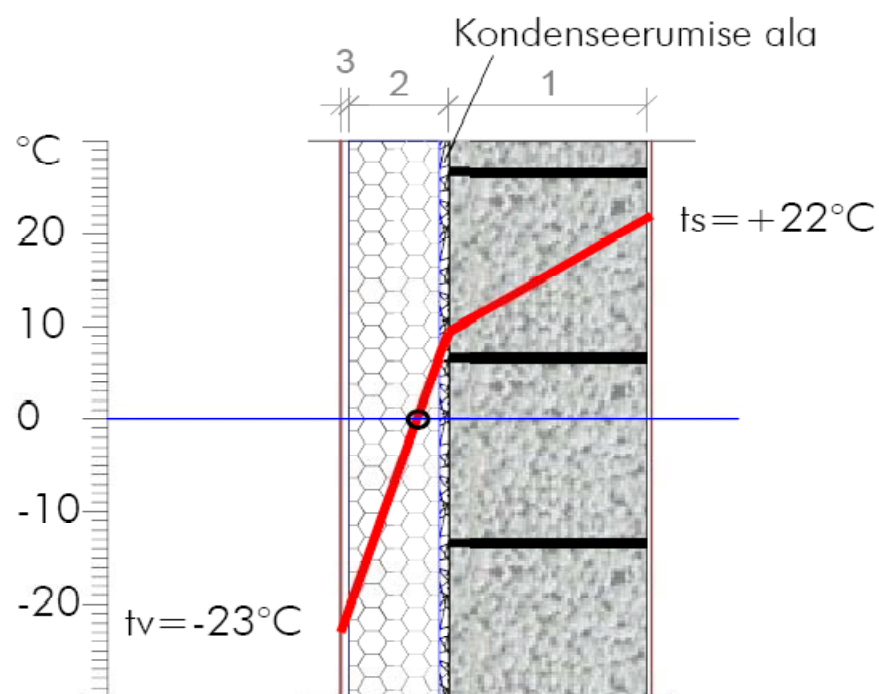
---

\* Tallinna Tehnikaülikooli mõõtmistulemused (märts 2008)

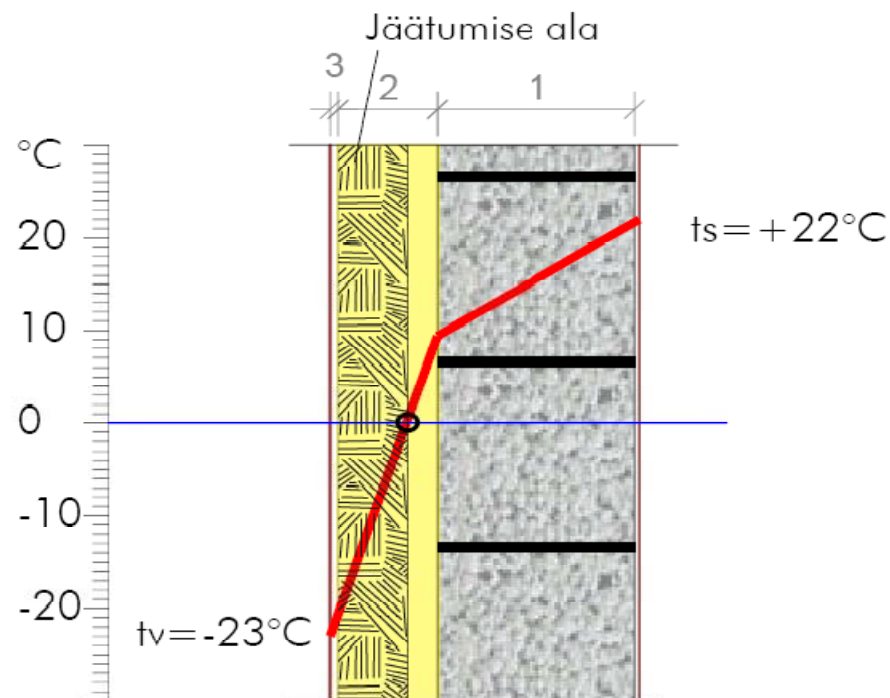
\*\* Maxit AS andmed

## Tallinna Tehnikakõrgkooli katsetulemused

Autorid: E.Jõgioja, R.Reinpuu, J.Mironova



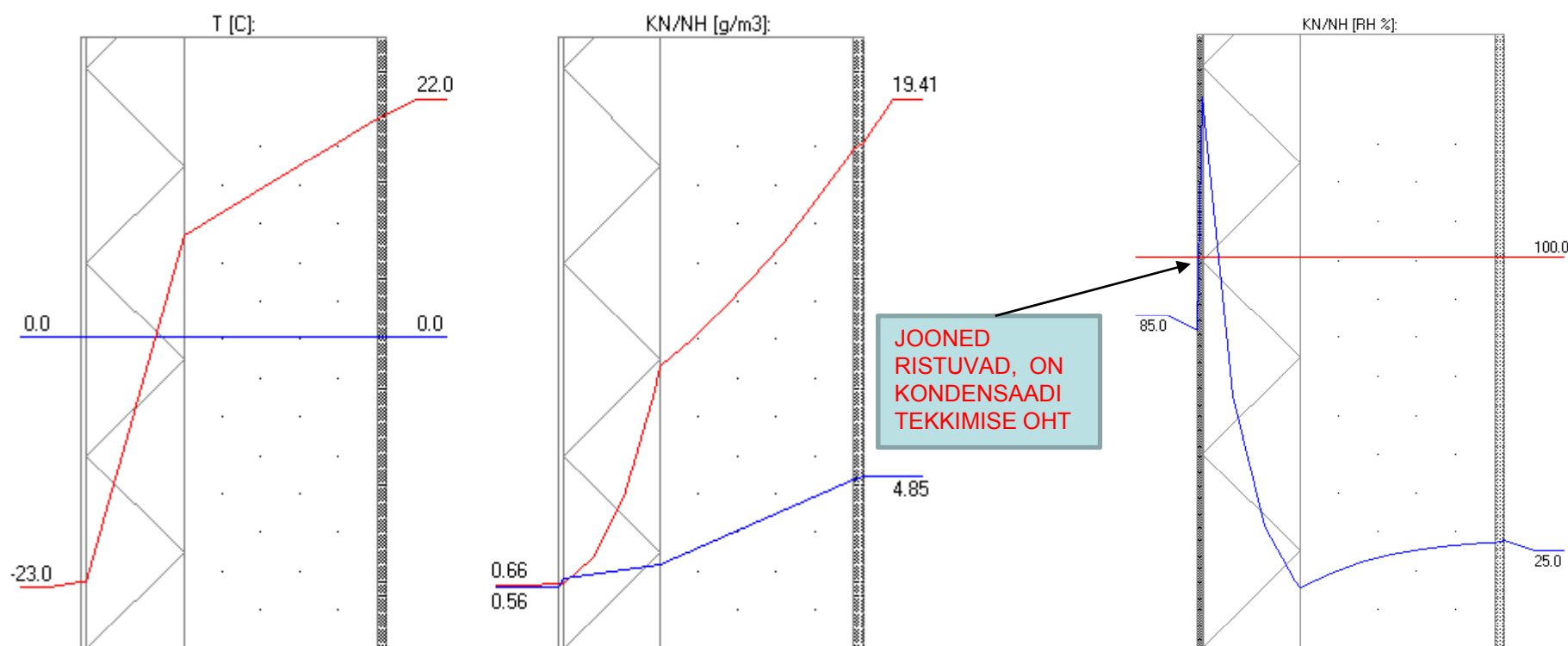
1. Fibro plok 200 mm
2. Vahtpolüstüreen 100 mm
3. Õhekrohv 4 mm



1. Fibro plok 200 mm
2. Kivivill 100 mm
3. Õhekrohv 4 mm

**Infoallikas:** Tallinna Tehnikakõrgkooli toimetised nr. 8 2005 a.

## Temperatuuri ja niiskuse jaotus mineraalvillaga soojustatud keramsiitbetooni plokkidest välisseinas



$T_v = -23^\circ C$     $T_s = +22^\circ C$

$R_h = 85\%$     $R_h = 25\%$

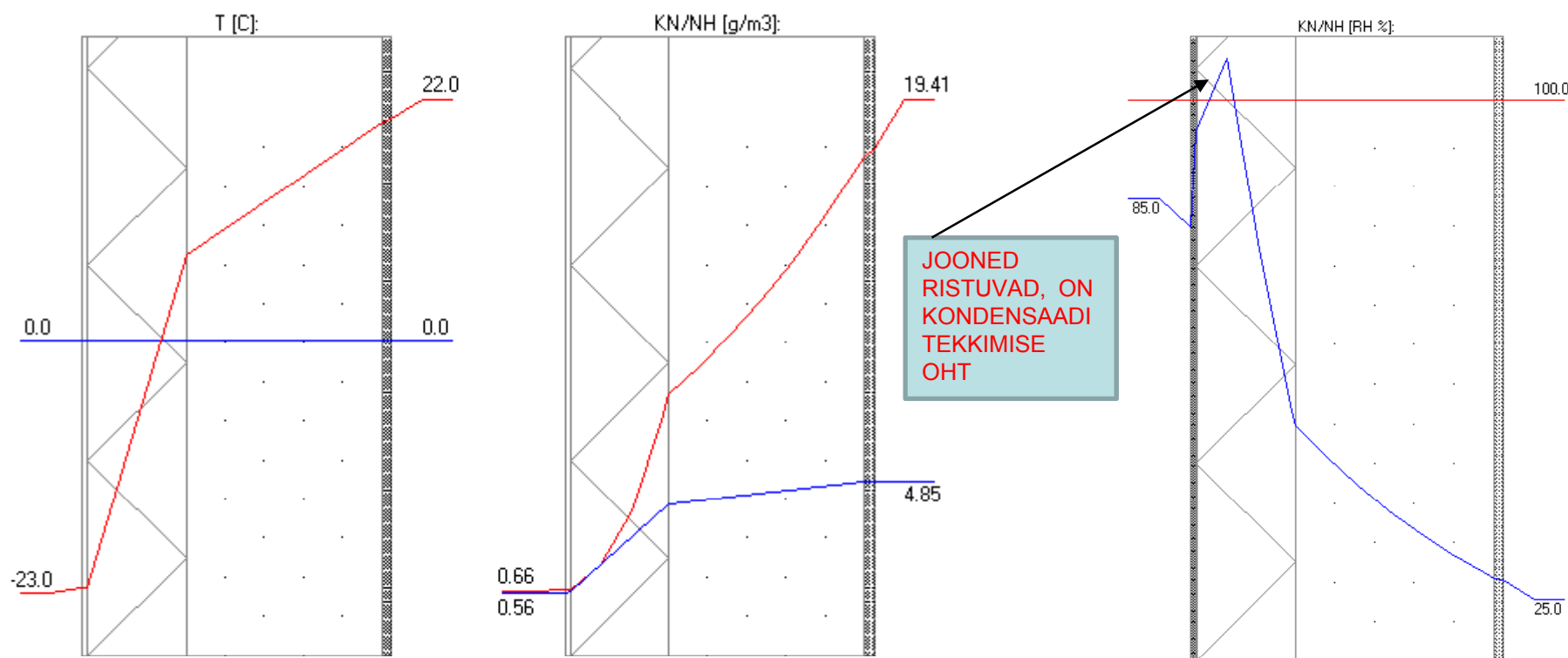
———— Küllastunud õhu niiskus seinas

———— Tegelik õhu niiskus seinas

Fibo 3 200 + Isover OL-P 100 + Maxit Serpo välisviimistlus ( $\mu=21$ )



## Temperatuuri ja niiskuse jaotus vahtpolüstüreeniga soojustatud keramsiitbetoonplokkidest välisseinas



$T_v = -23^\circ \text{C}$     $T_s = +22^\circ \text{C}$   
 $R_h = 85\%$     $R_h = 25\%$

— Küllastunud õhu niiskus seinas  
 — Tegelik õhu niiskus seinas

Fibo 3 200 mm + EPS 100 mm + Maxit Serpo välisviimistlus 5 mm ( $\mu=21$ )

## Seina erinevate kihtide aurutakistuse $S_d = \mu \times d$ võrdlus

### Seina konstruktsioon

Maxit polümeerkrohv ( $\mu=21,0$ ) + vahtpolüstüreen ( $\mu=60$ ) + keramsiitbetoon või poorbetoon ( $\mu=6$ ) + mineraalkrohv ( $\mu=6$ )

“Rusikareegli” nõue

$$\frac{S_{d_{soe}}}{S_{d_{k\ddot{u}lm}}} \geq 5$$

**Vahtpolüstüreen** soojustuse puhul

$$S_{d_{k\ddot{u}lm}} = 21,0 \times 0,005 + 60 \times 0,1 = 6,105 \text{ m}$$

$$S_{d_{soe}} = 6 \times 0,01 + 6 \times 0,2 = 1,26 \text{ m}$$

$$\frac{S_{d_{soe}}}{S_{d_{k\ddot{u}lm}}} = \frac{1,26}{6,105} = 0,21 < 5$$

Järeldus: ei rahulda nõuet

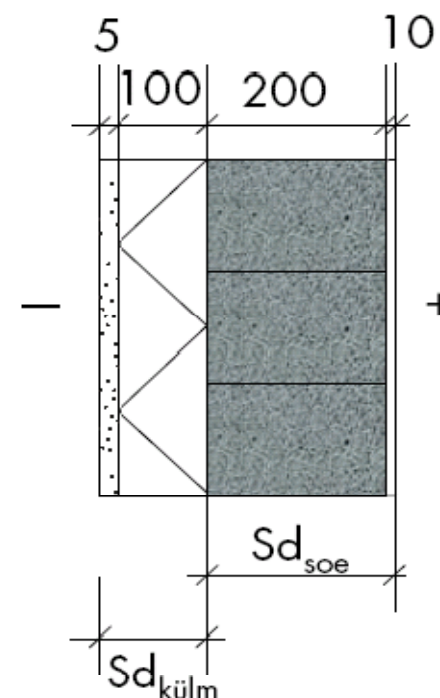
**Mineraalvilla** soojustuse puhul

$$S_{d_{k\ddot{u}lm}} = 21,0 \times 0,005 + 1 \times 0,10 = 0,205 \text{ m}$$

$$S_{d_{soe}} = 6 \times 0,01 + 6 \times 0,20 = 1,26 \text{ m}$$

$$\frac{S_{d_{soe}}}{S_{d_{k\ddot{u}lm}}} = \frac{1,26}{0,205} = 6,15 > 5$$

Järeldus: rahuldab nõuet



## Kas vahtpolüstüreen on “hingav” või “mittehingav” soojusisolatsioon?

- Mõiste “hingamine” ehitusfüüsikas on määratlemata. Sellepärast tuleb alati täpsustada mida “hingamise” alla mõeldakse.
- Kui “hingamise” all mõeldakse õhu ja veeauru liikumist läbi välisseina konstruktsiooni, siis see võib toimuda kahel moel:
  - konvektiivselt
  - difuusselt
- Õhu kogused, mis läbivad seina kas konvektiivsel või difuussel teel ehitusfüüsikas ei võeta arvesse ruumi ventileerimisel, kuna nad on väiksed ning ei taga vajalikku õhu vahetust ruumis.  
Sellepärast **läbi seina ruumi ventilatsiooni ei toimu.**
- Kui aga “seina hingamise” all on mõeldud õhu ja veeauru **difuusne liikumine läbi seina**, siis see on korrektne väljend, kuid seda võib kasutada seina konstruktsiooni kohta, mitte aga vahtpolüstireeni kui soojusisolatsiooni materjali kohta.
- Vahtpolüstüreen eraldi võetuna ei ole “hingav” või “mitte hingav” materjal. Kõik sõltub sellest millise materjali soojustamiseks teda kasutatakse.

## Difuusne “hingamine”

**Difuusne** õhu ja veeauru liikumine läbi seina on väga positiivne materjali või seina konstruktsiooni omadus, kuna

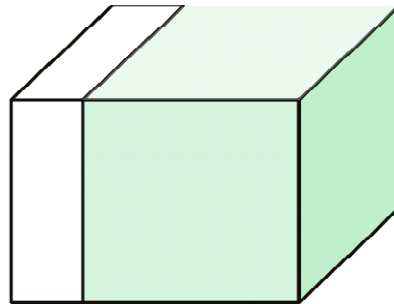
- sein akumuleerib ruumis oleva liigse veeauru ja CO<sub>2</sub>, mis liiguvad ruumi seestpoolt väljapoole s.o suuremast kontsentratsioonist väiksema kontsentratsiooni suunas.
- ühtlasi hapnik, mida kasutame hingamiseks liigub väljapoolt sissepoole.

Mida väiksem on materjali difusiooni takistus konstant  $\mu$ , seda paremini ülalmainitud protsessid toimuvad.

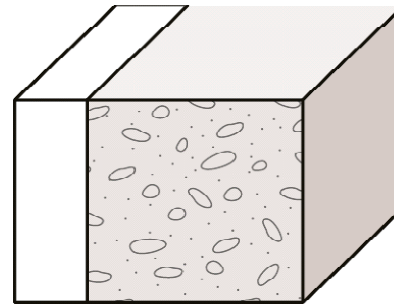
Selles seisneb põhimõtteline erinevus gaasbetooni ja puidu ning tavalise raudbetooni või klaasi vahel

## Vahtpolüstüreeni ja teiste materjalide difusiooni takistuskonstant $\mu$

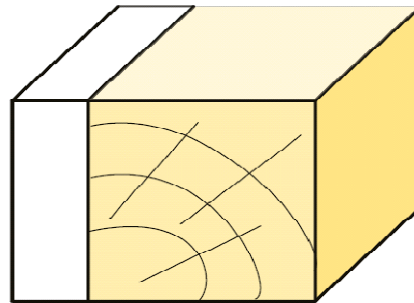
AS Reideni Plaat deklareerib vahtpolüstireenil  $\mu=30 - 70$



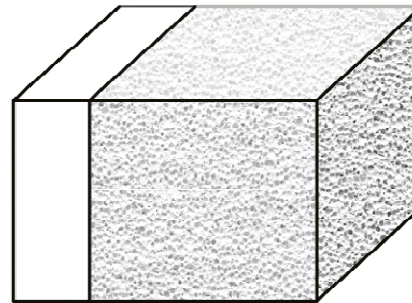
Klaasplokid  $\mu=\infty$



Raudbetoon  $\mu=100$   
Columbia kivi  $\mu=100$



Puit  $\mu=40$



Gaasbetoon  $\mu=4,6 - 6$   
Keramsiitbetoon  $\mu=6$



## AEROC ja Tarmatrade OÜ erinevused lähteandmete (raamtingimuste) valikul kondensaadi tekkimise kontrolliks

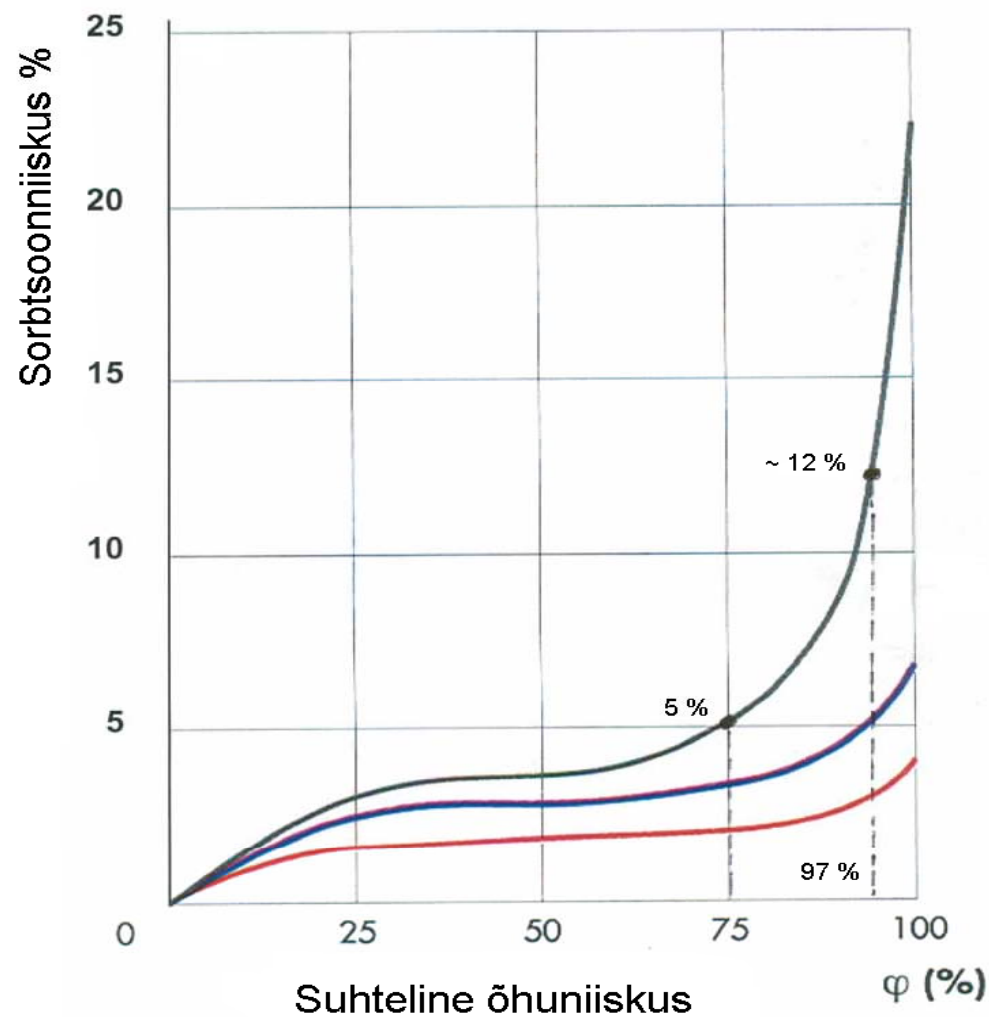
|   | Lähteandmed                                             | Firma                                               |                                   |
|---|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|
|   |                                                         | AEROC                                               | Tarmatrade                        |
| 1 | Arvutus metoodika                                       | dofterm 2.2                                         | H. Glaseri meetod<br>DIN 4108     |
| 2 | Väliskliima Tallinnas                                   | -21 °C<br>Eesti kliima teatmik<br>ET-2 0103-0329    | - 10 °C<br>DIN 4108-3             |
| 3 | Siseruumi relatiivne niiskus kütte perioodil            | 25%                                                 | 50%                               |
| 4 | Difusiooni takistus koefitsiendid $\mu$ polümeerkrohvil | vastavalt TTÜ katsetelt<br>Sakret 9.5<br>Maxit 17.8 | 100<br>(valmistaja pole märgitud) |
| 5 | vahtpolüstireenil $\mu$                                 | 60<br>LBN 002-01                                    | 40                                |

**MÄRKUS:** AS Reideni Plaat deklareerib  $\mu=30 - 70$  vahtpolüstireenile

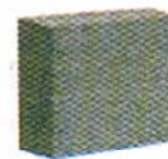




## Erinevate materjalide sorptsiooniiskus



Poorbetoon

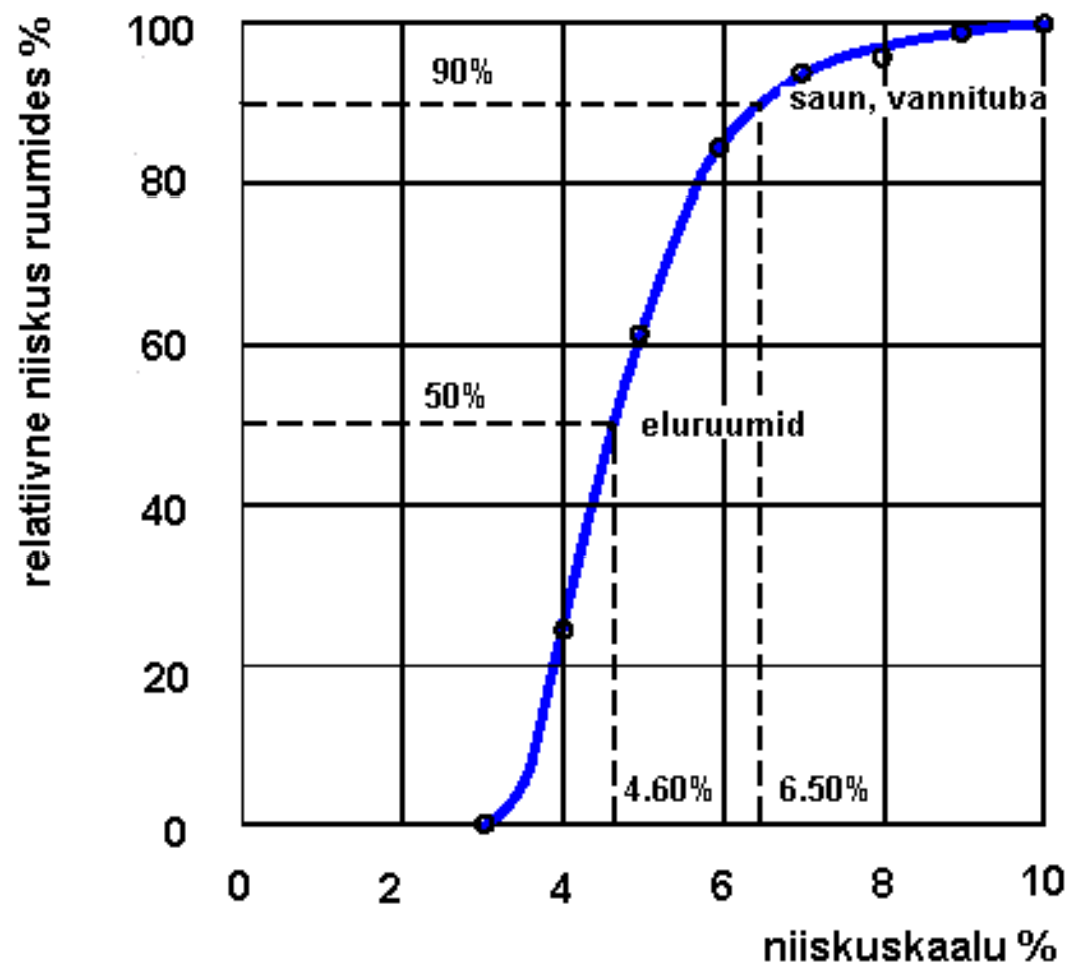


Keramsiitbetoon



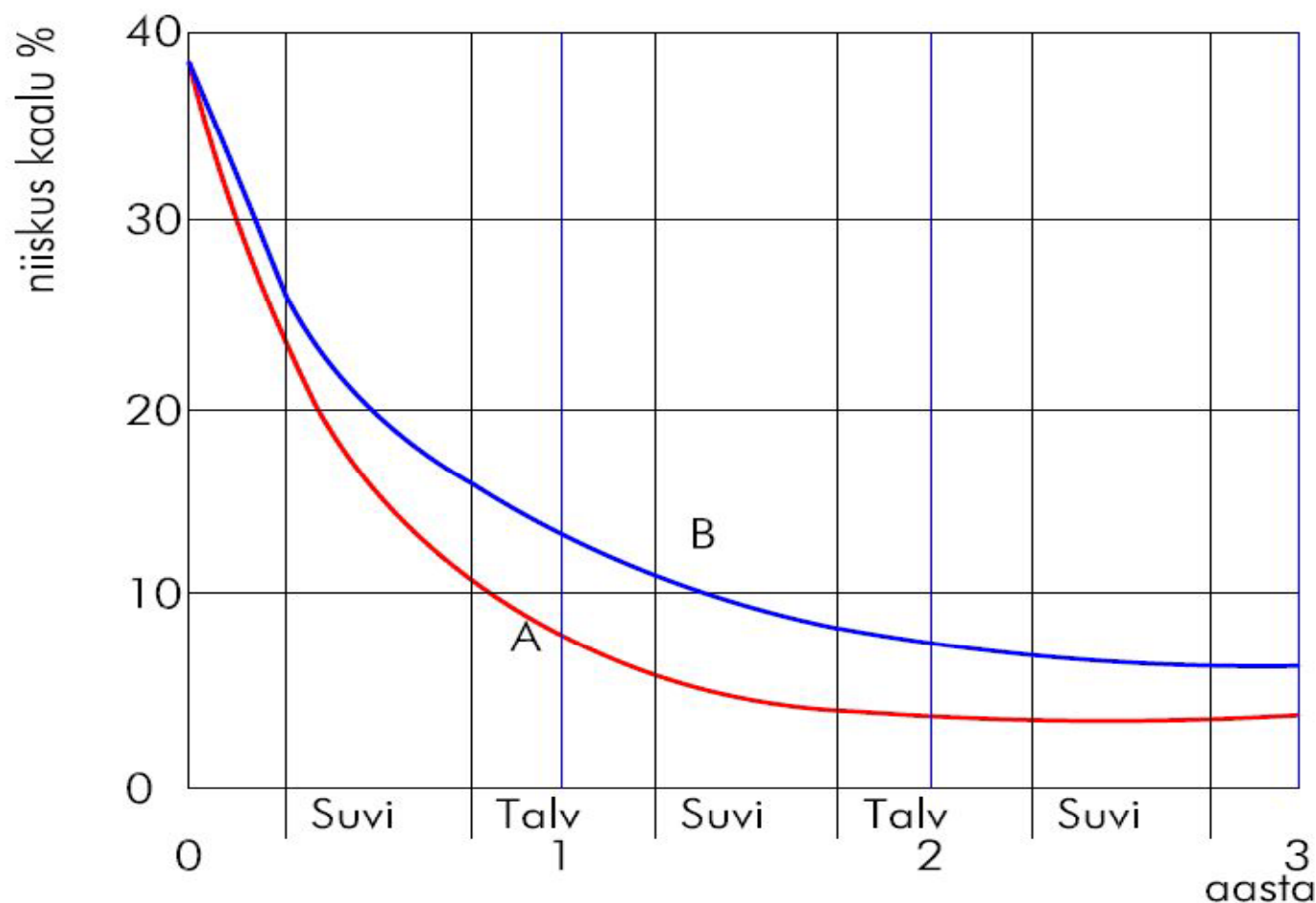
Savitellis

## Poorbetoonseinte tasakaaluniiskus sõltuvalt ruumide õhu relativsest niiskusest



**Infoallikas:** Porenbeton Handbuch, Wisbaden 2002

## AEROC välisseinte kuivamine



A – Viimistlemata poorbetoonist välissein Saksamaal

B – AEROC EcoTerm 375 plokkidest välissein, viimistletud Maxit Serpo polümeerkrohviga (Tallinna Tehnikakõrgkooli katsetulemused)

Välisseinte soojapidavuse hindamiseks ei piisa ainult soovitatava U väärtuse kinnipidamisest.

U väärtusest mitte vähemtähtsad on välisseinte

- Õhutihedus
- Soojusinerts
- Kondensaadi tekkimise oht