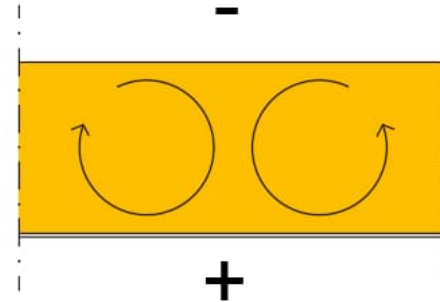


# Yläpohjarakenteiden U-arvokokeet – Sisäinen konvektio kutterinlastueristeillä

Teemu Jokela – 2.6.2023

# Mitä on sisäinen konvektio?

- Sisäinen konvektio tarkoittaa ilman liikettä lämmöneristeen sisällä.
- Ilman liike johtuu nosteesta, jota aiheuttaa ilman lämpötilaeroista johtuvista tiheyseroista.
- Alhaalta ylös kulkeva lämmin ilma ja ylhäältä alas kulkeva viileämpi ilma aiheuttavat lämpövirran lisääntymistä lämmöneristekerroksen läpi pelkkään johtumisella siirtyvään lämpövirtaan verrattuna.



# Tutkimuksen tausta

- Puhallettavissa lämmöneristeissä on aiemmissa tutkimuksissa havaittu sisäisen konvektion aiheuttamaa lämpövirran lisääntymistä eristekerroksen yli. Lasivillalla se on ollut erityisesti merkittävää, sillä lasivillalla on suuri ilmanläpäisevyys muihin raskaampiin yläpohjaeristeisiin verrattuna kuten selluvillaan.
- SFS-EN ISO 10456 standardissa on esitetty, miten voidaan arvioida sisäisen konvektion syntymisen potentiaalia. Kyseisessä standardissa on kaava muunnetulle Rayleighn ( $Ra_m$ ) luvulle, joka kuvaa sisäisen konvektion syntymisen potentiaalia.

$$Ra_m = 3 \times 10^6 \frac{dk\Delta T}{\lambda}$$

$\Delta T$  on lämmöneristeen eri puolien välinen lämpötilaero, K

$d$  on lämmöneristeen paksuus, m

$k$  on lämmöneristeen läpäisevyys,  $m^2$

$\lambda$  on lämmöneristeen lämmönjohtavuus ilman konvektiota,  $W/(m \cdot K)$

# Tutkimuksen tausta

- Standardissa on esitetty kriittiset raja-arvot muunnetulle Rayleighn luvulle erilaisille yläpohjatapauksille, joita pienemmillä arvoilla sisäistä konvektiota ei pitäisi tapahtua.
- Vaakasuuntaiselle lämmöneristekerrokselle, jossa yläpinta on avoin ympäröivään ilmaan, **kriittinen muunnettu Rayleighn luku on 15 standardin mukaan.**

# Nusseltin luku

- Nusseltin luku (Nu) kuvaa kuinka kokonaislämpövirran määrää suhteessa, jos lämpövirta siirtyisi vain johtumalla (ilman sisäistä konvektiota).
- Kun Nusseltin luku  $>1$ , esiintyy rakenteessa sisäisestä konvektiosta aiheutuvaa lämpövirran siirtymistä, jota ei oteta huomioon, jos yläpohjan U-arvo lasketaan vain ilmoitetun lämmönjohtavuuden perusteella.

$$Nu = \frac{q_{cd} + q_{conv}}{q_{cd}}$$

$q_{cd} + q_{conv}$  lämpövirta rakenteen läpi, jossa on mukana sekä johtumisen että konvektion osuus,  $W/m^2$   
 $q_{cd}$  lämpövirta rakenteen läpi pelkästään johtumalla,  $W/m^2$



# Yläpohjakokeet

Kuva yläpohjalaitteesta ennen puhallusta



Kuva yläpohjalaitteesta puhalluksen jälkeen  
(pintaa ei ole vielä tasattu)



# Käytetyt lämmöneristeet

	Tiheys, kg/m <sup>3</sup>	Lämmönjohtavuus, W/(mK)	Ilmanläpäisevyys ( $\cdot 10^{-6}$ ), m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> sPa)
Kutterinlastu	88,3	0,056* **	900*
Savetettu kutterinlastu	94,6	0,060* **	1000*

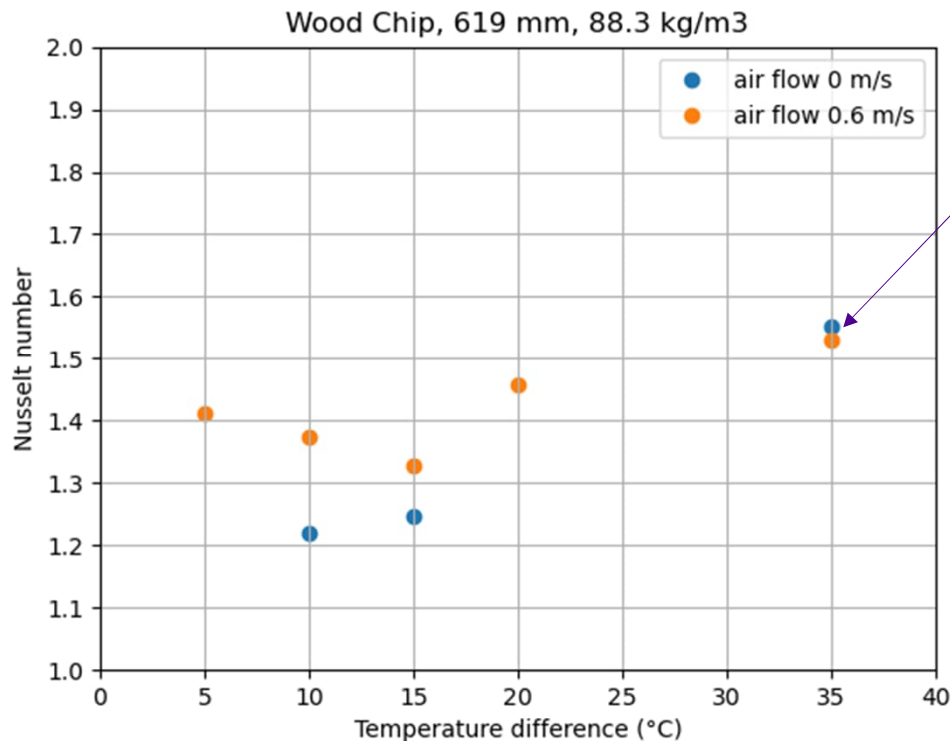
\* Ominaisuus arvioitu aiemmasta tutkimuksesta Tampereen yliopistolla. Ominaisuudet tullaan mittaamaan myöhemmin tarkemmin tätä yläpohjakoetta varten.

\*\* Lämmönjohtavuus on muutettu standardin SFS-EN ISO 10456 mukaan yläpohjakoetta vastaavaan keskimääräiseen lämpötilaan.



# Tulokset – Kutterinlastu

## Nusseltin luku lämpötilaeron funktiona



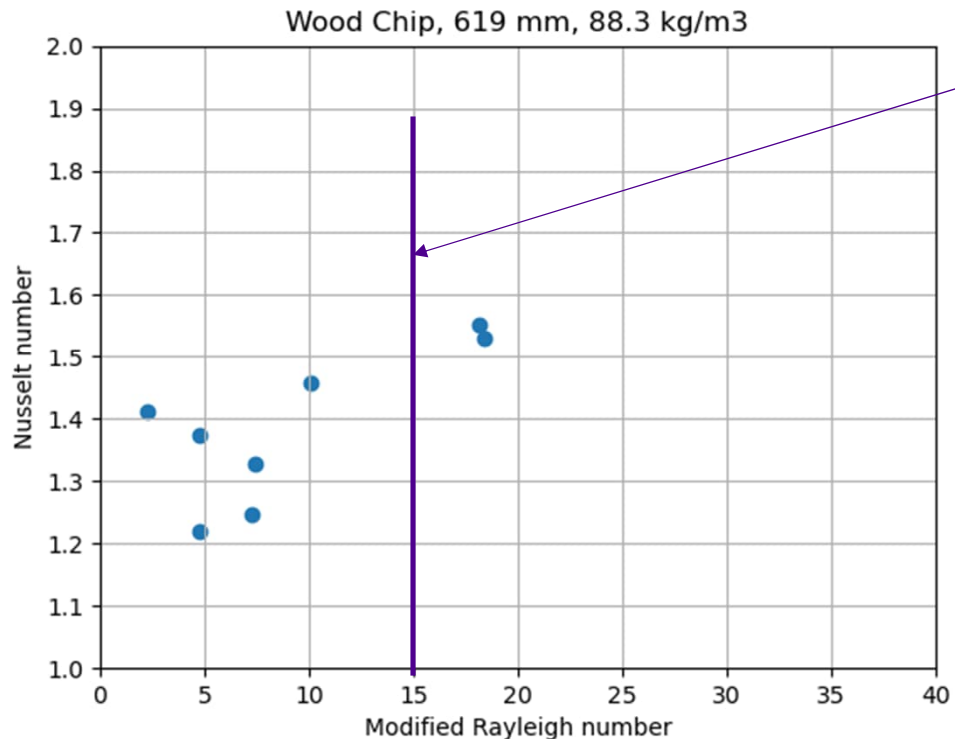
Tarkoittaa, että lämpövirta rakenteen läpi on n. 55 % enemmän kuin pelkän johtumisen mukaan laskettu lämpövirta.

### Huom!

Kutterinlastun lämmönjohtavuutena on käytetty aikaisemman tutkimuksen arvoja, eivätkä tulokset siten vastaa täydellisesti tätä koetta. Lämmönjohtavuus yläpohjakokeen keskimääräisessä lämpötilassa ja kosteuspitoisuudessa on otettava vielä huomioon lopullisissa tuloksissa.

# Tulokset – Kutterinlastu

## Nusseltin luku muunnetun Rayleighn luvun funktiona



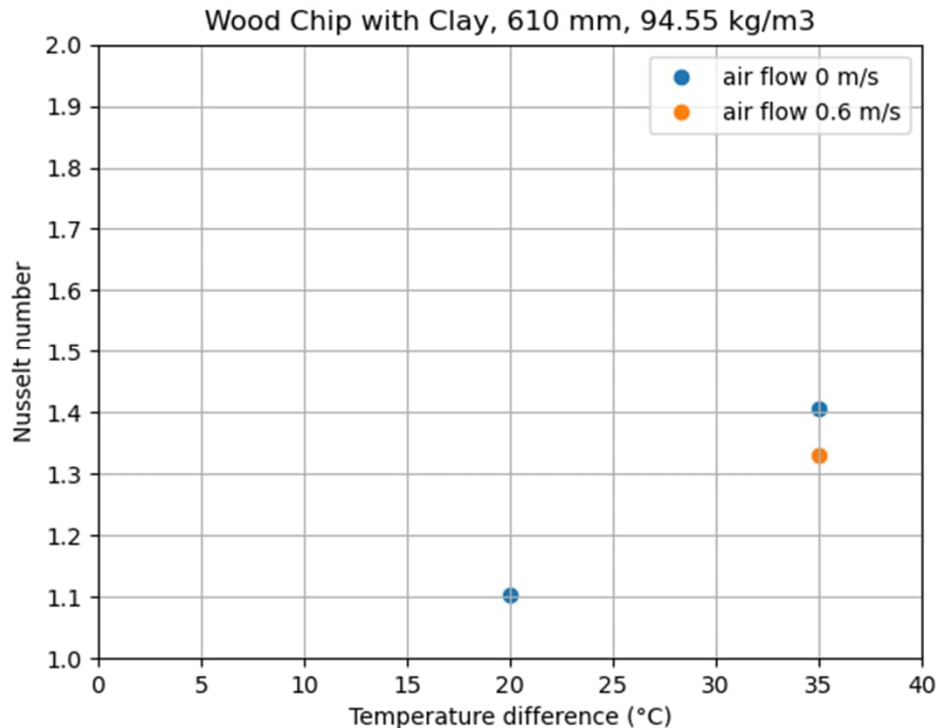
Standardin SFS-EN ISO 10456 mukainen kriittinen muunnettu Rayleighn luku, jota pienemmillä arvoilla sisäistä konvektiota ei pitäisi tapahtua.

Kutterinlastun ilmanläpäisevyys arvioitu aiemman tutkimuksen mukaan:  
 $900 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / (\text{msPa})$

Ilmanläpäisevyyden mittaukset tullaan tekemään vielä kokeessa käytetyllä kutterinlastulle.

# Tulokset – Savetettu kutterinlastu

## Nusseltin luku lämpötilaeron funktiona

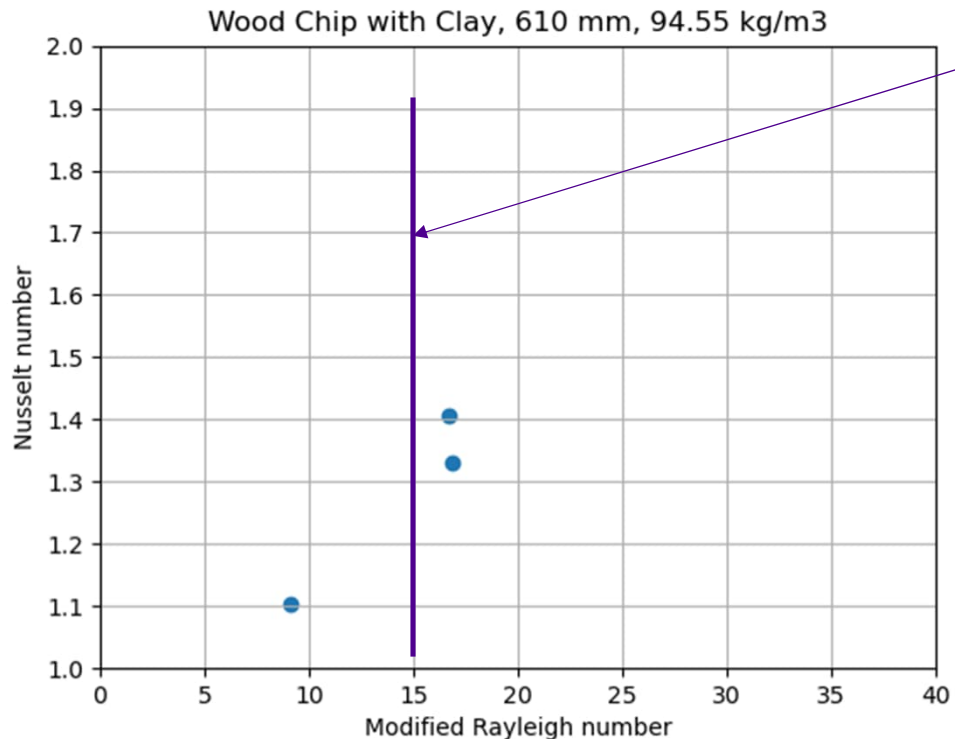


### Huom!

Savetetun kutterinlastun lämmönjohtavuutena on käytetty aikaisemman tutkimuksen arvoja, eikä tulokset siten vastaa täydellisesti tätä koetta. Lämmönjohtavuus yläpohjakokeen keskimääräisessä lämpötilassa ja kosteuspitoisuudessa on otettava vielä huomioon lopullisissa tuloksissa.

# Tulokset – Savetettu kutterinlastu

## Nusseltin luku muunnetun Rayleighn luvun funktiona



Standardin SFS-EN ISO 10456 mukainen kriittinen muunnettu Rayleighn luku, jota pienemmillä arvoilla sisäistä konvektiota ei pitäisi tapahtua.

Savetetun Kutterinlastun ilmanläpäisevyys arvioitu aiemman tutkimuksen mukaan:  
 $1000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / (\text{msPa})$

Ilmanläpäisevyyden mittaukset tullaan tekemään vielä kokeessa käytetylle savetetulle kutterinlastulle.

# Johtopäätökset

- Sisäistä konvektiota esiintyi jo pienillä lämpötilaeroilla.
- Sisäisen konvektion syntyyn vaikuttaa voimakkaasti muun muassa eristeen ilmanläpäisevyys. Ilmanläpäisevyys riippuu puolestaan voimakkaasti eristeen asennustiheydestä.
- Puhallettavan yläpohjalämmöneristeen sisäinen konvektio on otettava huomioon määritettäessä yläpohjarakenteen lämmönläpäisykerrointa, sillä pelkkä ilmoitettu lämmönjohtavuus ei kerro todellista lämmöneristyskykyä.
- Sisäistä konvektiota syntyi jo pienemmillä muunnetun Rayleighn luvun arvoilla kuin standardissa SFS-EN ISO 10456 esitetään.

**Kiitos!**