

Business from technology

Työkoneohjaamoiden pölynhallinta

STHS koulutuspäivät 28.01.2015

Matti Lehtimäki

Ohjaamojen pölynhallintaan liittyviä hankkeita VTT Oy:ssä

- Työkoneiden ohjaamoilmastoinnin kehittäminen (TSR 1991)
 - ⊕ ohjaamoilmanvaihdon/ilmastoinnin perusteita
 - ⊕ suodatinmittauksia
 - ⊕ kenttäkokeita
- Työkoneohjaamoiden raitisilman suodatuslaite (TSR 1998)
 - ⊕ suodatinmateriaalien ja suodattimien mittauksia
 - ⊕ protolaitteen suunnittelu ja toteutus
- Tekniset torjuntatoimenpiteet metsä-biomassojen käsittelyn terveysvaarojen vähentämiseksi (TSR 2014)
 - ⊕ haketustyöhön liittyvä tutkimus
 - ⊕ suodatinmateriaalien ja suodattimien mittauksia
 - ⊕ kenttäkokeita
- Yrityshankkeita
 - ⊕ lukuisia toimeksiantoja työkone- ja ohjaamovalmistajille

Ohjaamon pölynhallinta - lähtökohdat

Sisäiset tekijät:

- lämpö
- kosteus
- hiilidioksidi
- sisäiset epäpuhtauspäästöt



Ulkoiset tekijät:

- lämpötila
- tuuli (nopeus ja suunta)
- auringon säteily
- ilman epäpuhtaudet

Tekniikka:

- ohjaamon rakenne
- ilmanvaihto
- lämmitys/jäähdytys
- ilman suodatus

Ohjaamon ilmanvaihto/ilmastointi

Tehtävät

- Lämpöolosuhteiden hallinta
 - ⊕ Pitää lämpöolosuhteet hallinnassa
- Kosteuden hallinta
 - ⊕ Estää vesihöyryn tiivistyminen ikkunoihin (ja muille pinnoille)
 - ⊕ Terminen viihtyvyys
- Hiilidioksidipitoisuuden hallinta
 - ⊕ Estää CO₂-pitoisuuden nousu liian korkeaksi
- Epäpuhtauspitoisuuksien hallinta
 - ⊕ Estää epäpuhtauksien pääsy ohjaamoon (suodatus)
 - ⊕ Poistaa epäpuhtauksia ohjaamoilmasta (suodatus)
- Painesuhteen hallinta
 - ⊕ Pitää ohjaamo ylipaineisena ja estää siten ilmavuodot ulkoa sisään

Ohjaamon ilmapvirran mitoitus

● Standardeissa

- ⊕ EN 474-11, ISO/Wd 317-2, DIN 71460-2: vähintään $43 \text{ m}^3/\text{h}/\text{henkilö} = 12 \text{ dm}^3/\text{s}$
- ⊕ EN 15695-1: vähintään $30 \text{ m}^3/\text{h}/\text{henkilö} = 8.3 \text{ dm}^3/\text{s}$

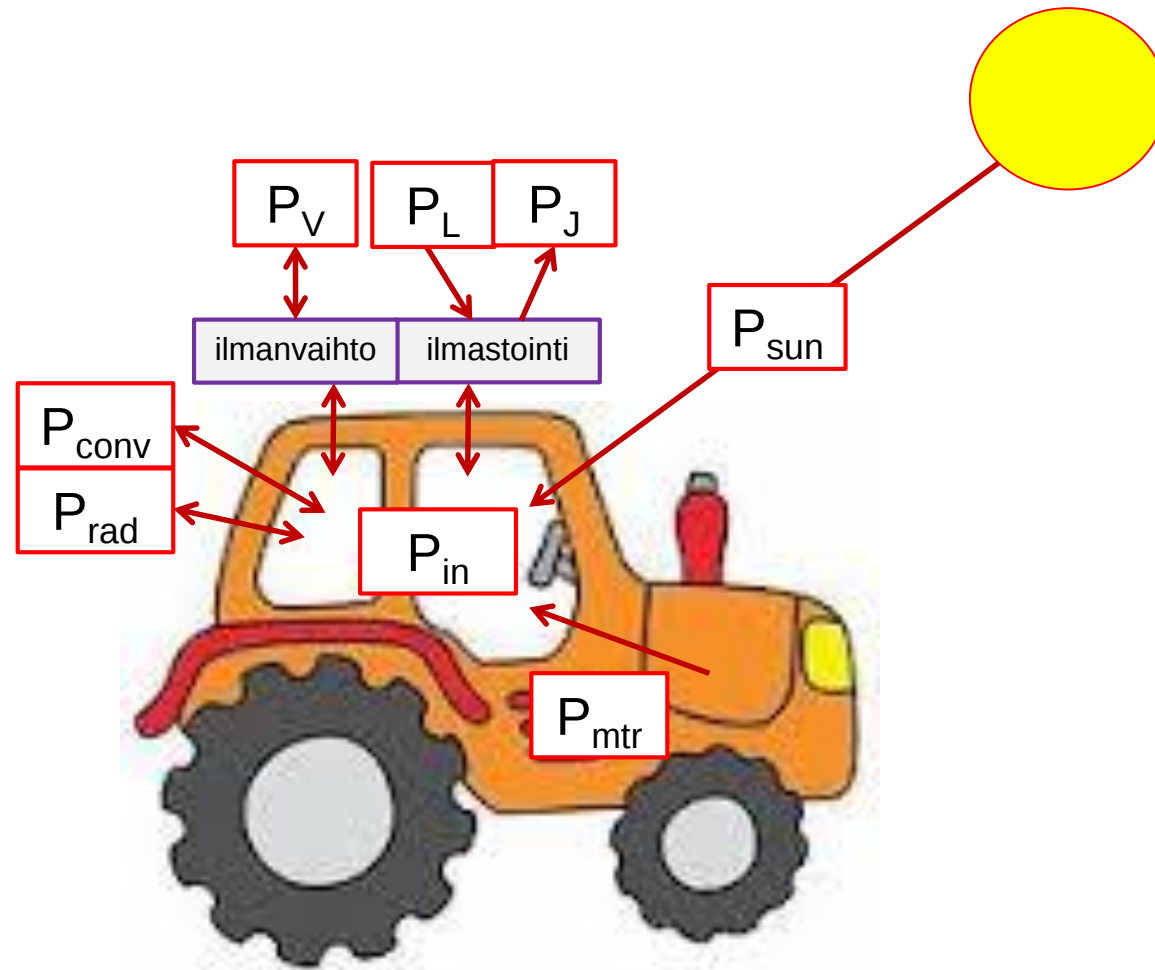
● Kosteuden hallinta

- ⊕ Vesihöyry
 - Hengityksestä
 - Iholta
 - Märät pinnat (esim. vaatteet)
 - Ulkoilma
- ⊕ Arvio vesihöyryn määrästä
 - 15-50 mg/s
- ⊕ Esim. $T_{\text{in}} = +20\text{C}$ ja $T_{\text{out}} = -20\text{C}$, $g_{\text{H}_2\text{O}} = 50 \text{ mg/s} \Rightarrow$ ilmavirta $13.5 \text{ dm}^3/\text{s}$

● Hiilidioksidin hallinta

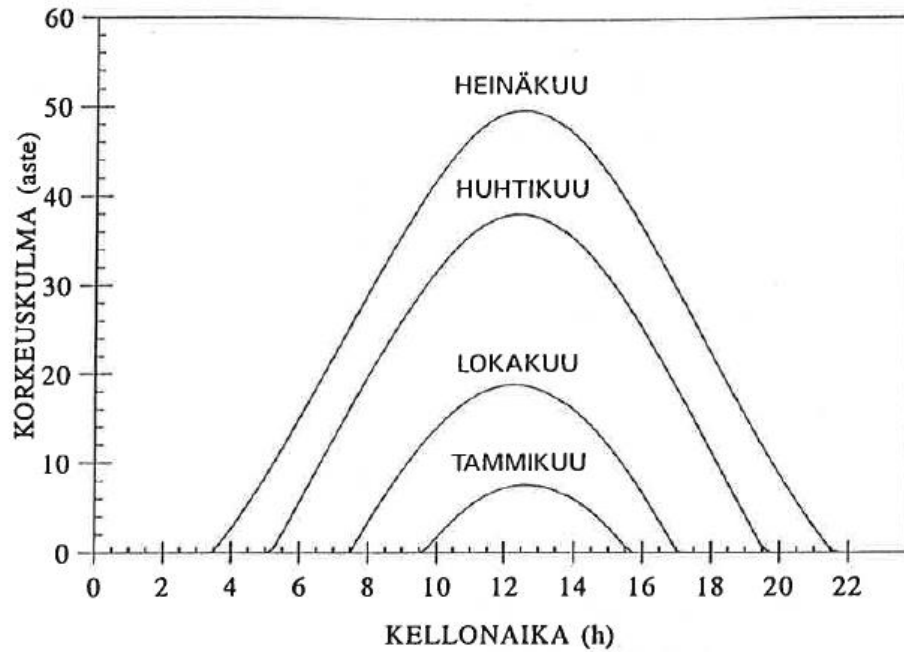
- ⊕ Esim. hiilidioksidia uloshengityksestä 20 mg/s
- ⊕ Tavoitetaso $1000 \text{ ppm} \Rightarrow$
- ⊕ Ilmavirta $17 \text{ dm}^3/\text{s}$

Ohjaamon energiavirrat

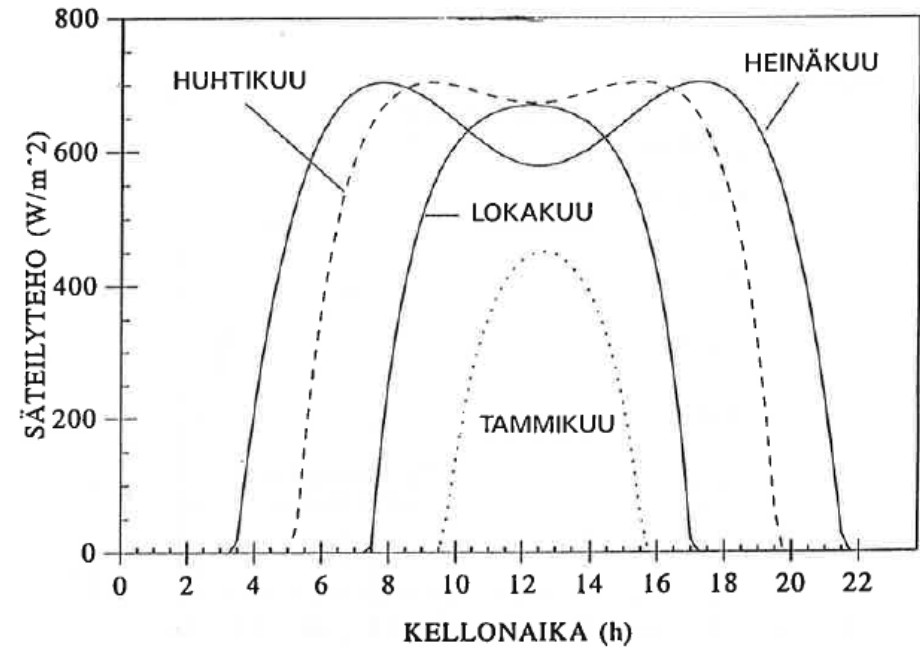


Auringon säteily

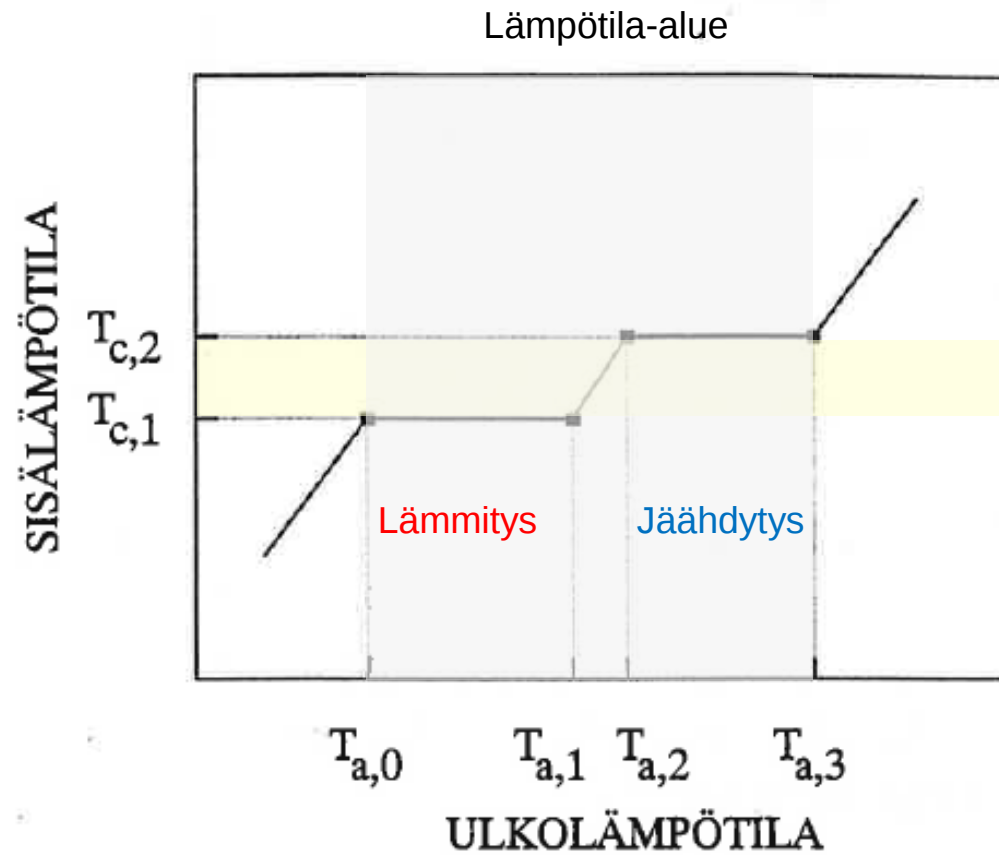
Auringon säteilykulma



Auringon säteilytiheys



Lämpötilan hallinta ohjaamossa



Pölynhallinnan lähtökohdat

- Ohjaamon ominaisuudet
 - ⊕ Tiivis
 - ⊕ Ergonomisesti miellyttävä
- Ilmanvaihdon/ilmastoinnin mitoitus
 - ⊕ Lämpöolosuhteet hallinnassa
 - ⊕ jäähdytys käytännössä valttämätöntä!
 - ⊕ Ohjaamon ylipaineistus hallinnassa
- Suodattimen ominaisuudet
 - ⊕ Suodattimen erotusaste riittävä
 - ⊕ Suodattimen kiinnitys riittävän tiivis
 - ⊕ Suodattimen huolto (vaihto/puhdistus)
 - ◆ Riittävän helppo toteuttaa
 - ◆ Huolto ohjeistettu

Suodattimen ominaisuuksia

- Suodattimen koko
 - ⊕ Käytettävissä vain vähän tilaa – pienikokoinen
- Suodattimen rakenne
 - ⊕ Vaativat käyttöolosuhteet – kestävä rakenne
- Tehokkuus
 - ⊕ Hyvä erotuskyky myös pienhiukkasille
- Paine-ero
 - ⊕ Alhainen painehäviö (myös kuormitettuna)
- Kapasiteetti
 - ⊕ Suuri pölynvarauskyky, pitkät ”huoltovälit”
- Huolto
 - ⊕ Helppo puhdistaa ja/tai vaihtaa
- Kustannukset
 - ⊕ Alhainen hankintahinta
 - ⊕ Vähäiset vaihtokustannukset

Traktorien ohjaamosuodattimiin liittyvät standardit

- EN 15695-1

- ✦ ohjaamoluokat

- EN 15695-2

- ✦ suodattimien testaus

- Ohjaamoluokat

- ✦ Luokka 1

- ✦ Kyseessä ohjaamo, joka ei tarjoa määriteltyä suojaustasoa haitallisille epäpuhtauksille

- ✦ Luokka 2

- ✦ Kyseessä ohjaamo, joka suojaa pölyiltä

- ✦ Luokka 3

- ✦ Kyseessä ohjaamo joka tarjoaa suojauksen pölyille ja aerosoleille

- ✦ Luokka 4

- ✦ Kyseessä ohjaamo, joka tarjoaa suojauksen pölyille, aerosoleille ja höyrymuodossa oleville epäpuhtauksille

Luokka 2

● Luokka 2

- ⊕ Ilmavirta 30 m³/h, ohjaamon ylipaine +50 Pa, paineantureilla varustetut ohjaamot +20 Pa
- ⊕ Suodattimen massaerotusaste (ISO 14269-4) hienopölylle yli 99%

● Luokka 3

- ⊕ Ilmavirta 30 m³/h, paineantureilla varustettu ohjaamo, ylipaine +20 Pa
- ⊕ Suodattimen massaerotusaste yli 99% ja hiukkaserotusaste 99.95% (EN1822 tai EN 143)
- ⊕ IV-kanaviston vuodot alle 2%, ohjaamon suojauskerroin 98%

● Luokka 4

- ⊕ Kuten edellä ja lisäksi
- ⊕ sykloheksaanin erotusaste yli 98% (EN14387)

Suodatinkehitys

● Lähtökohtina

- ⊕ Riittävä erotusaste
- ⊕ Riittävän pieni virtausvastus (paine-ero)
 - ◆ Materiaaliominaisuudet: kuitujen koko ja määrä (pakkaustiheys)

● Tarvittava suodatinpinta-ala (minimi)

- ⊕ Määräytyy ilmavirran ja materiaalinopeuden mitoitusarvoista
 - ◆ Pinta-ala = ilmavirta / materiaalinopeus
 - ◆ Esim. $0.1 \text{ m}^3/\text{s} / 0.05 \text{ m/s} = 2 \text{ m}^2$

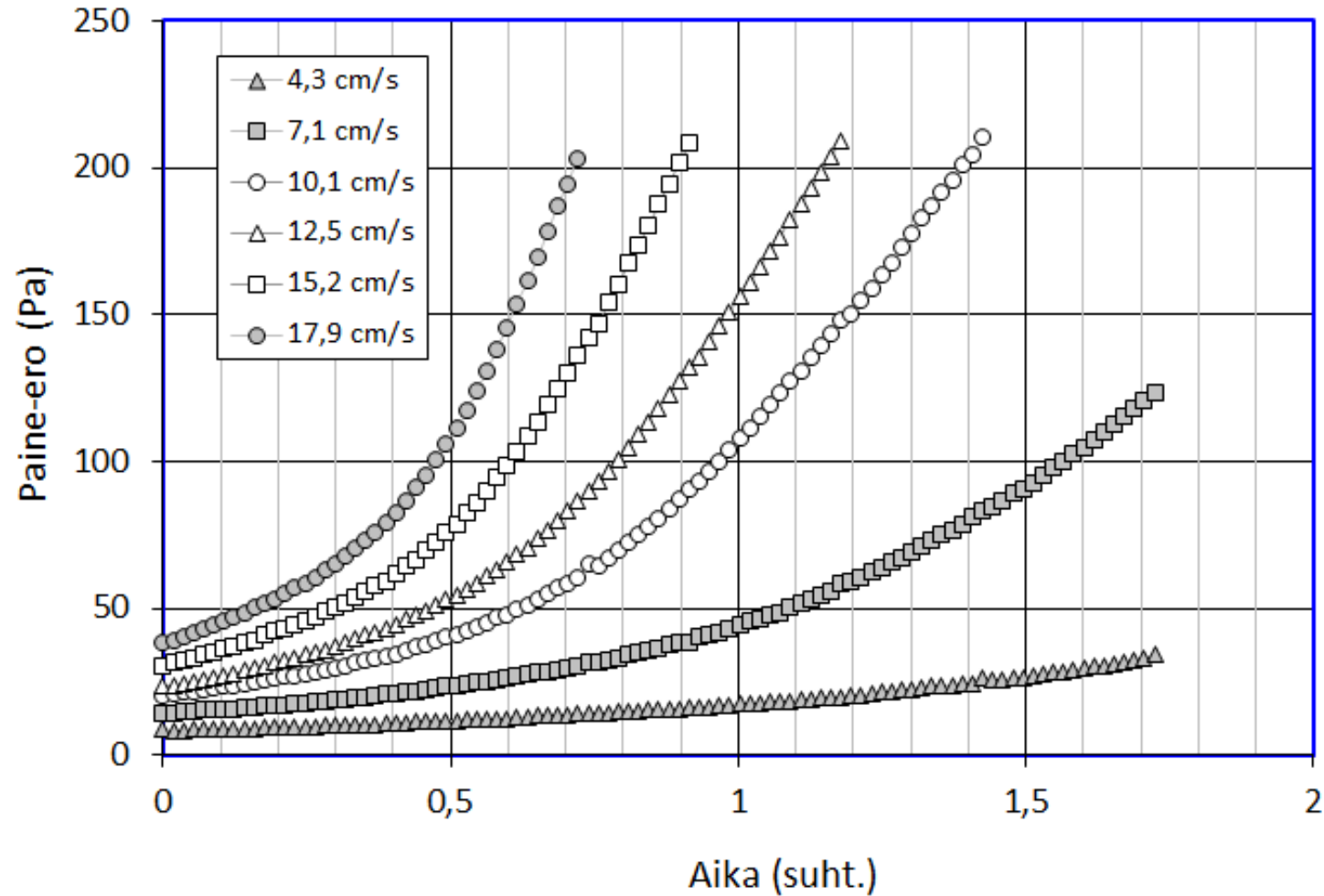
● Käytettävissä oleva tila

- ⊕ Yleensä tilaa liian vähän, esim. $350 \times 150 \times 30 \text{ mm} = 1.58 \text{ dm}^3$
- ⊕ Suodatinmateriaali laskostetaan ja sen on ”mahduttava” tähän tilavuuteen, ts.
 - ◆ Pinta-ala $A \times$ kerrospaksuus $t_f < 1.58 \text{ dm}^3 \Rightarrow$ kerrospaksuus $< 0.79 \text{ mm}$
 - ◆ Juuri ja juuri mahdollisuuksien rajoissa, mutta

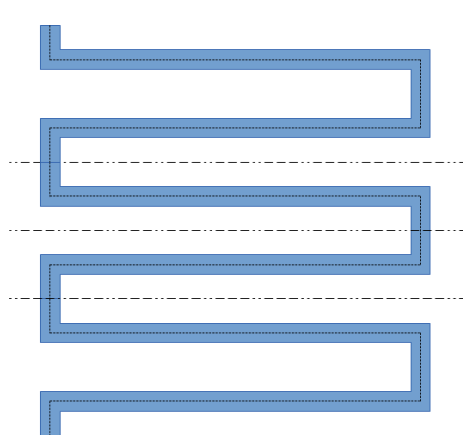


Esimerkki: suodatinmateriaalin paine-eron kasvu

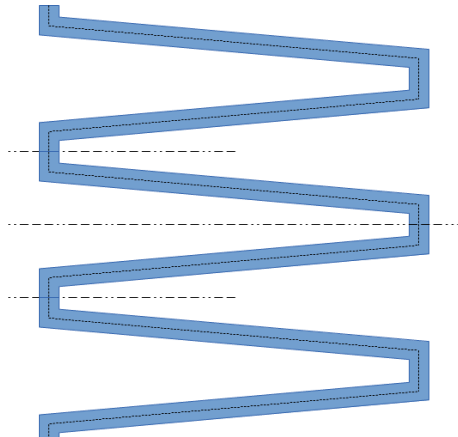
Materiaalinopeuden vaikutus



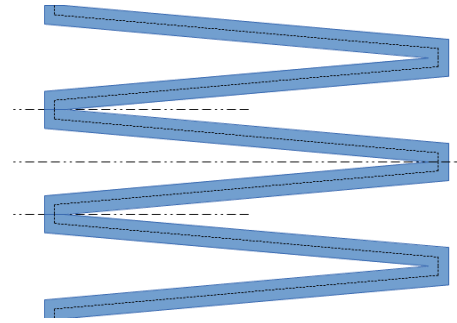
Laajapintasuodattimen profiilit



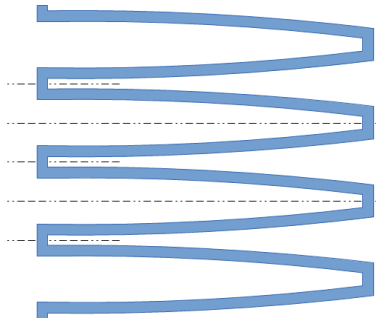
Suorakaideprofiili



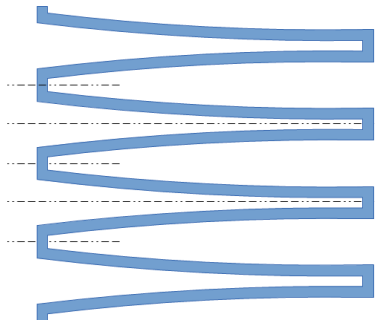
Trapetsiprofiili



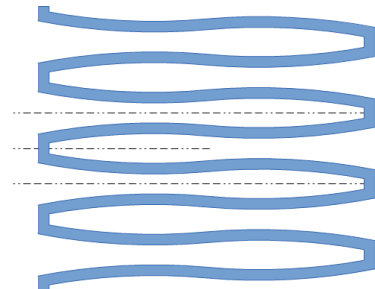
V-profiili



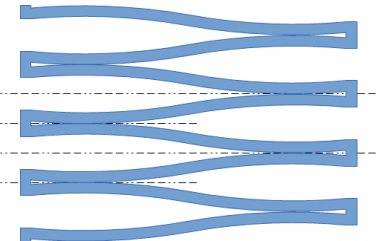
Vääritymä 1



Vääritymä 2

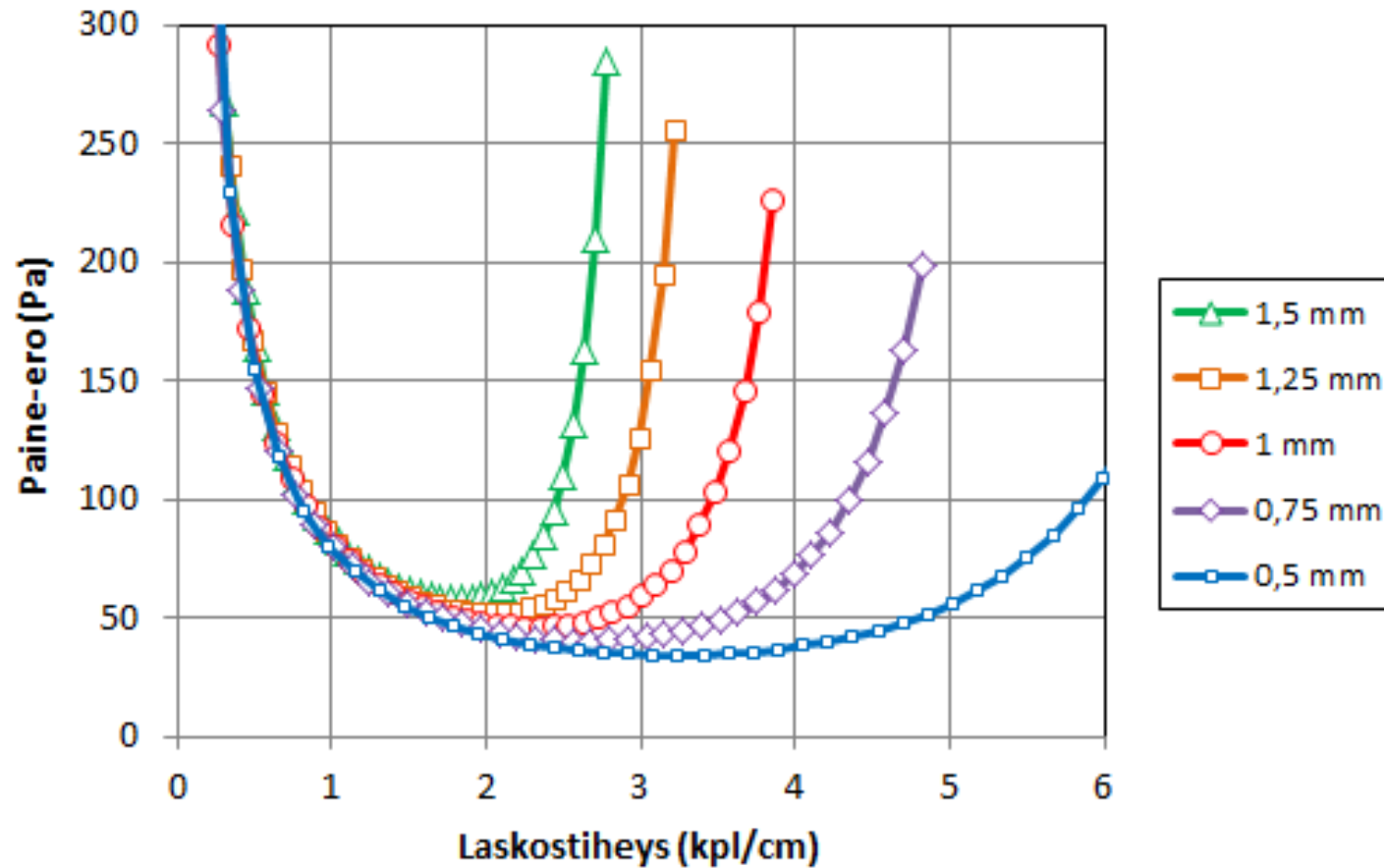


Vääritymä 3

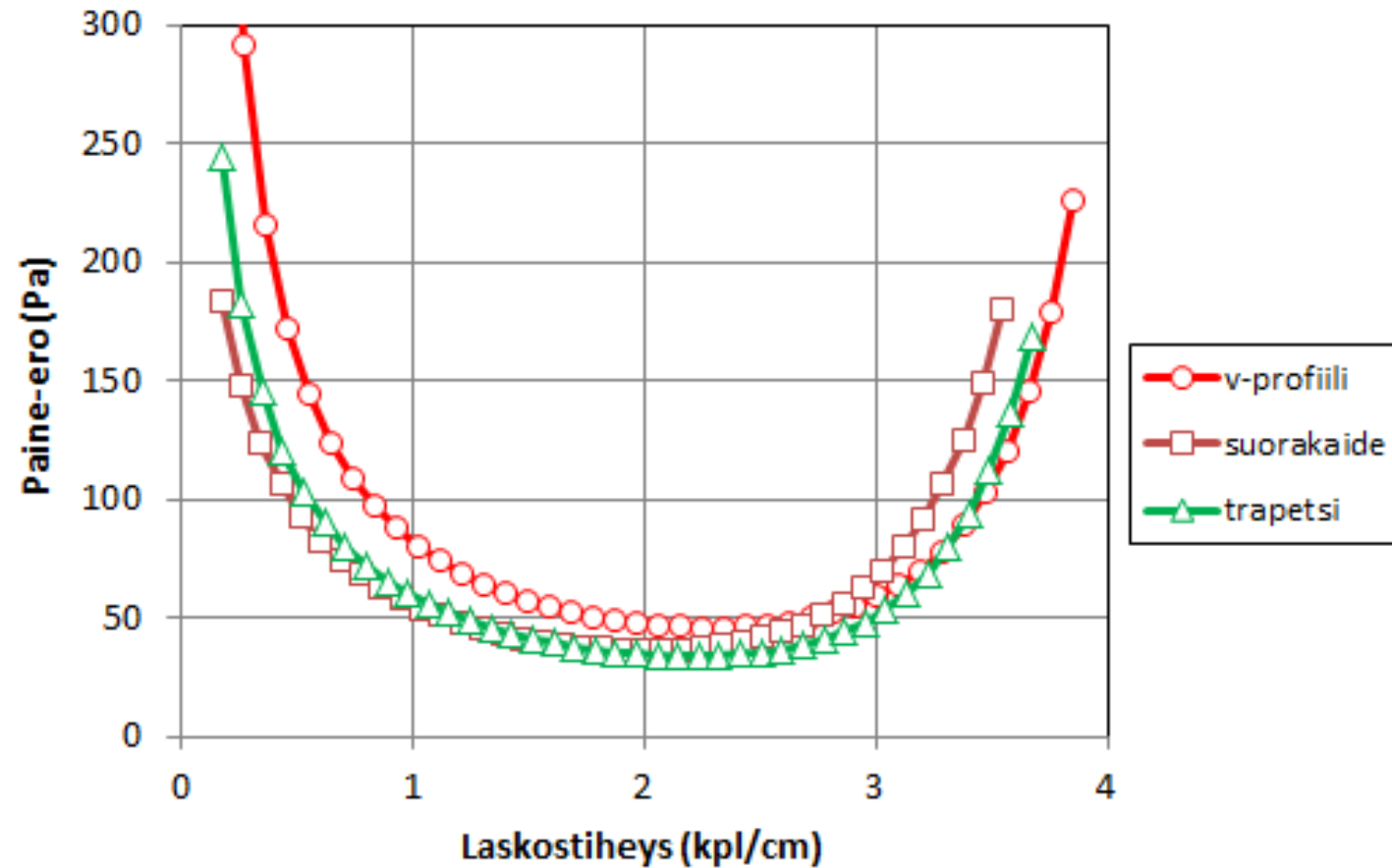


Vääritymä 4

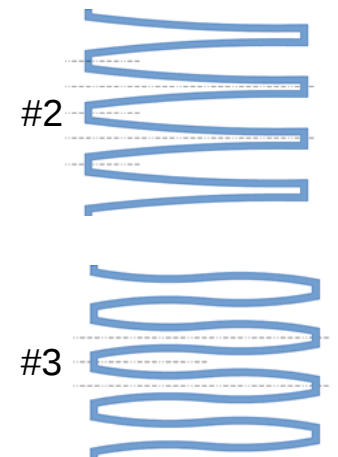
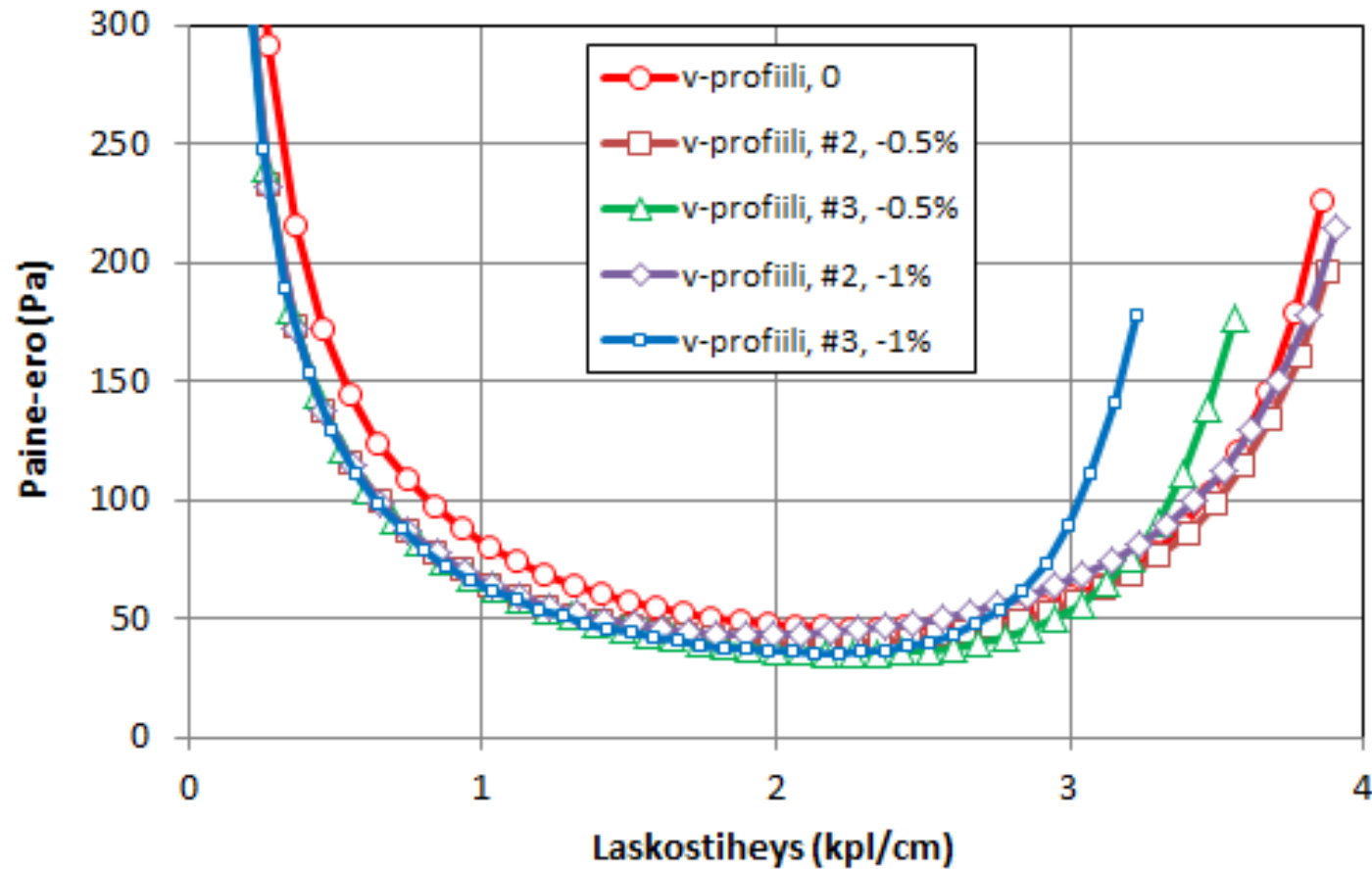
Paine-eron ja laskostiheyden välinen riippuvuus



Profiilin vaikutus paine-eroon



Laskoksen taipuman vaikutus



Haketuspaikalta



Hakkeen purkupaikka Naistenlahden voimalaitoksella



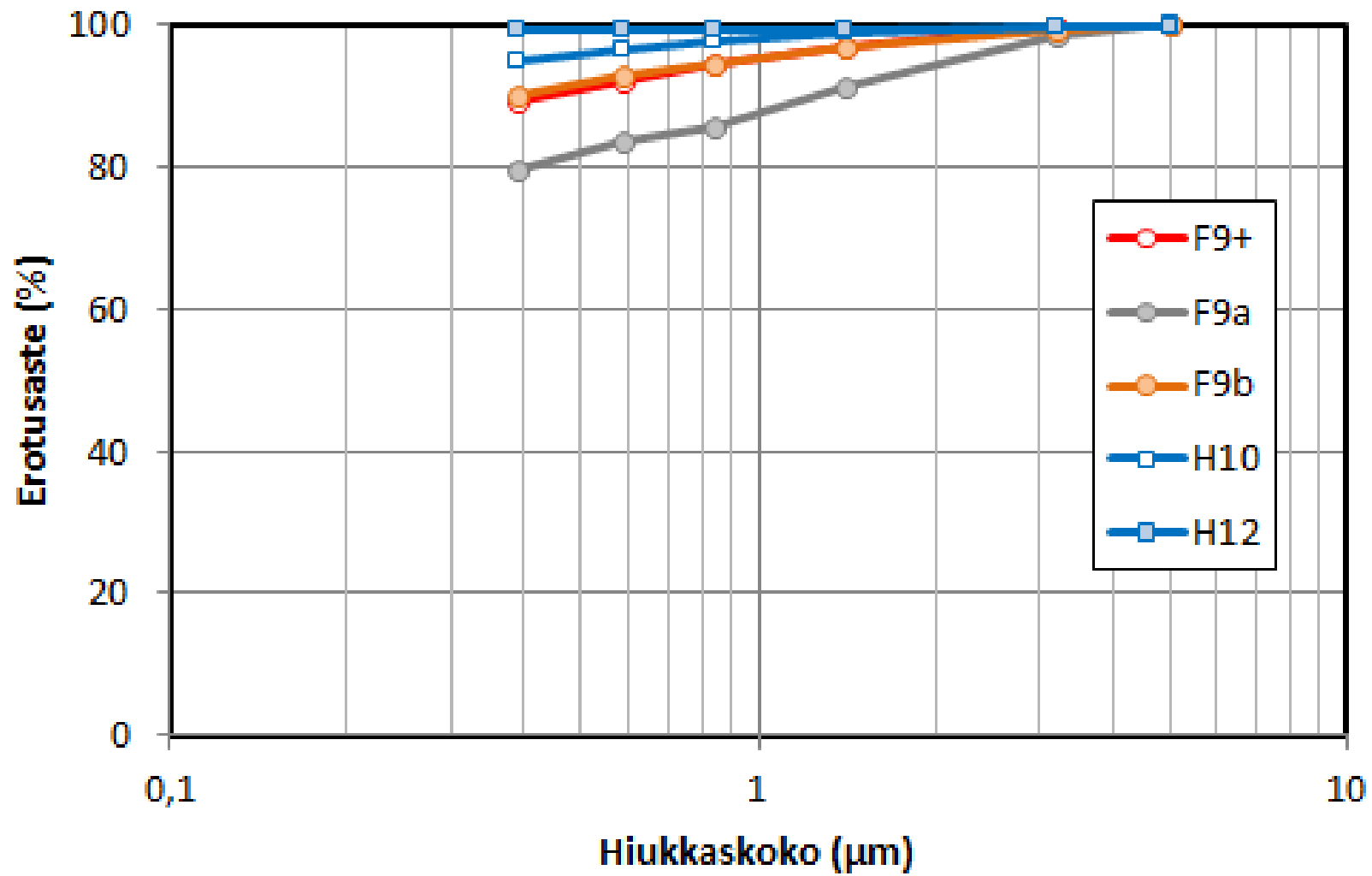
Mittauslaitteiston asennus Naistenlahden voimalaitokselle



Suodattimien ominaiskäyrien mittaus



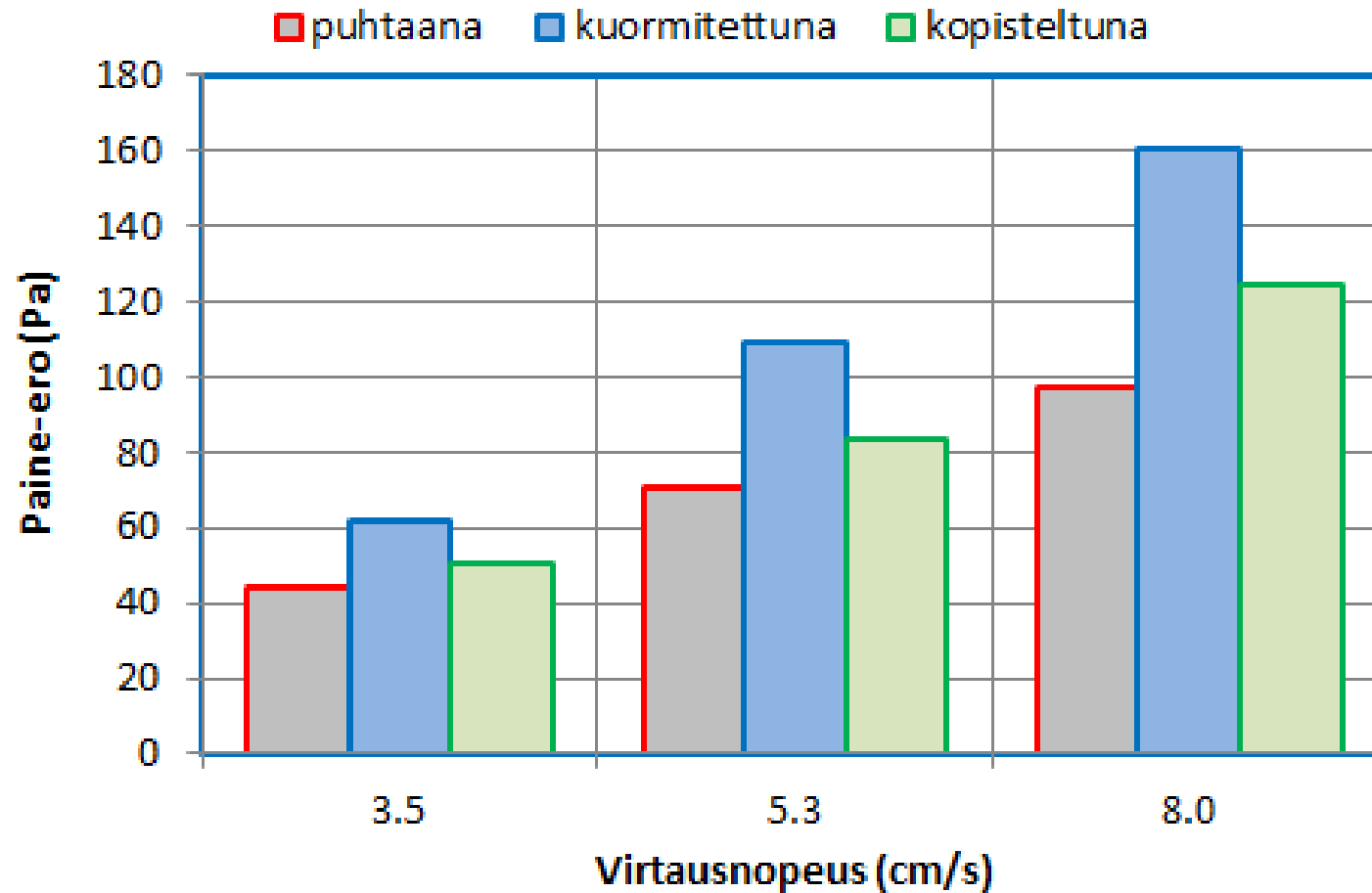
Suodatinmateriaalit F9-H12



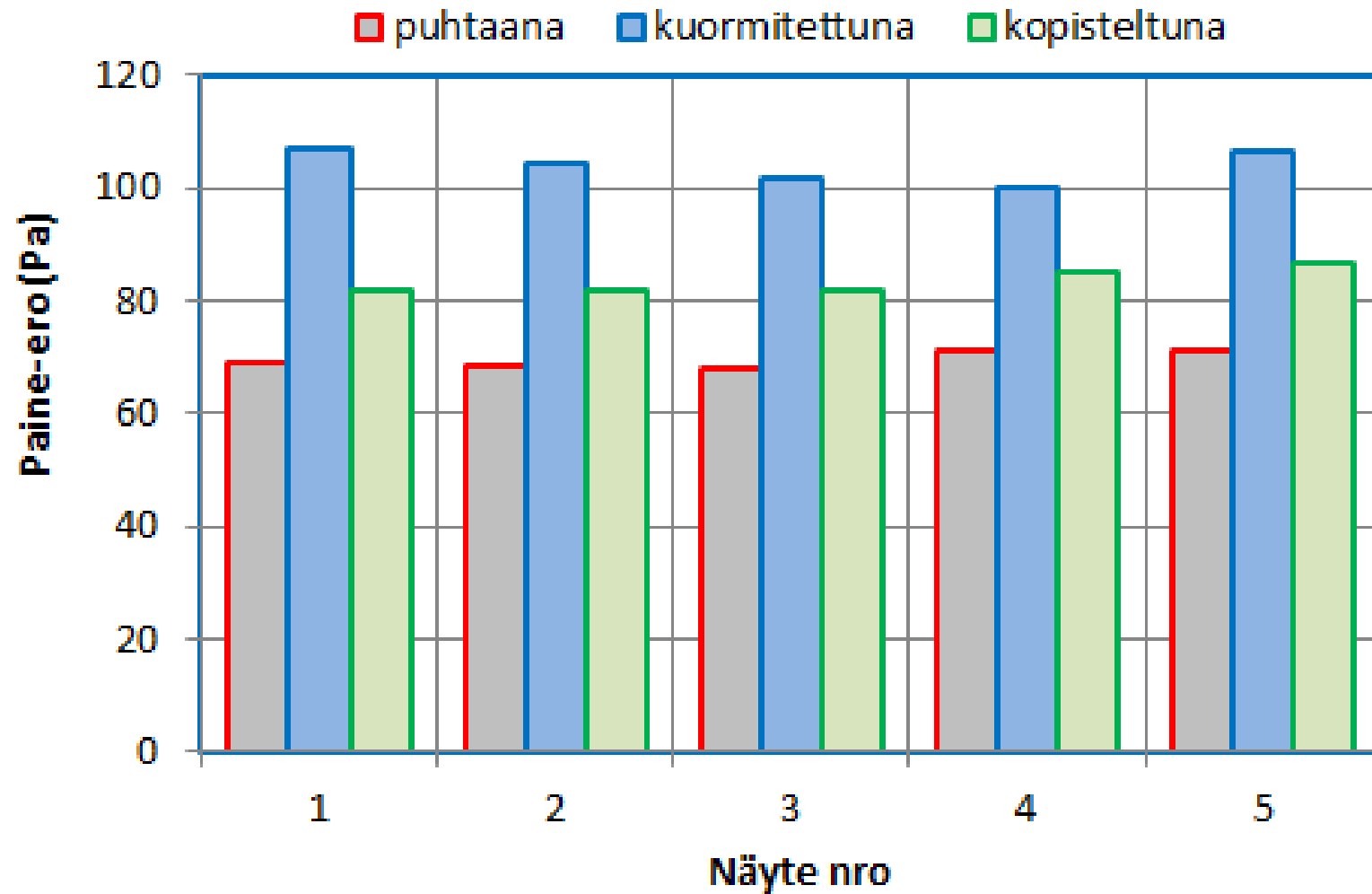
Materiaalinäytteet kuormitusjakson jälkeen



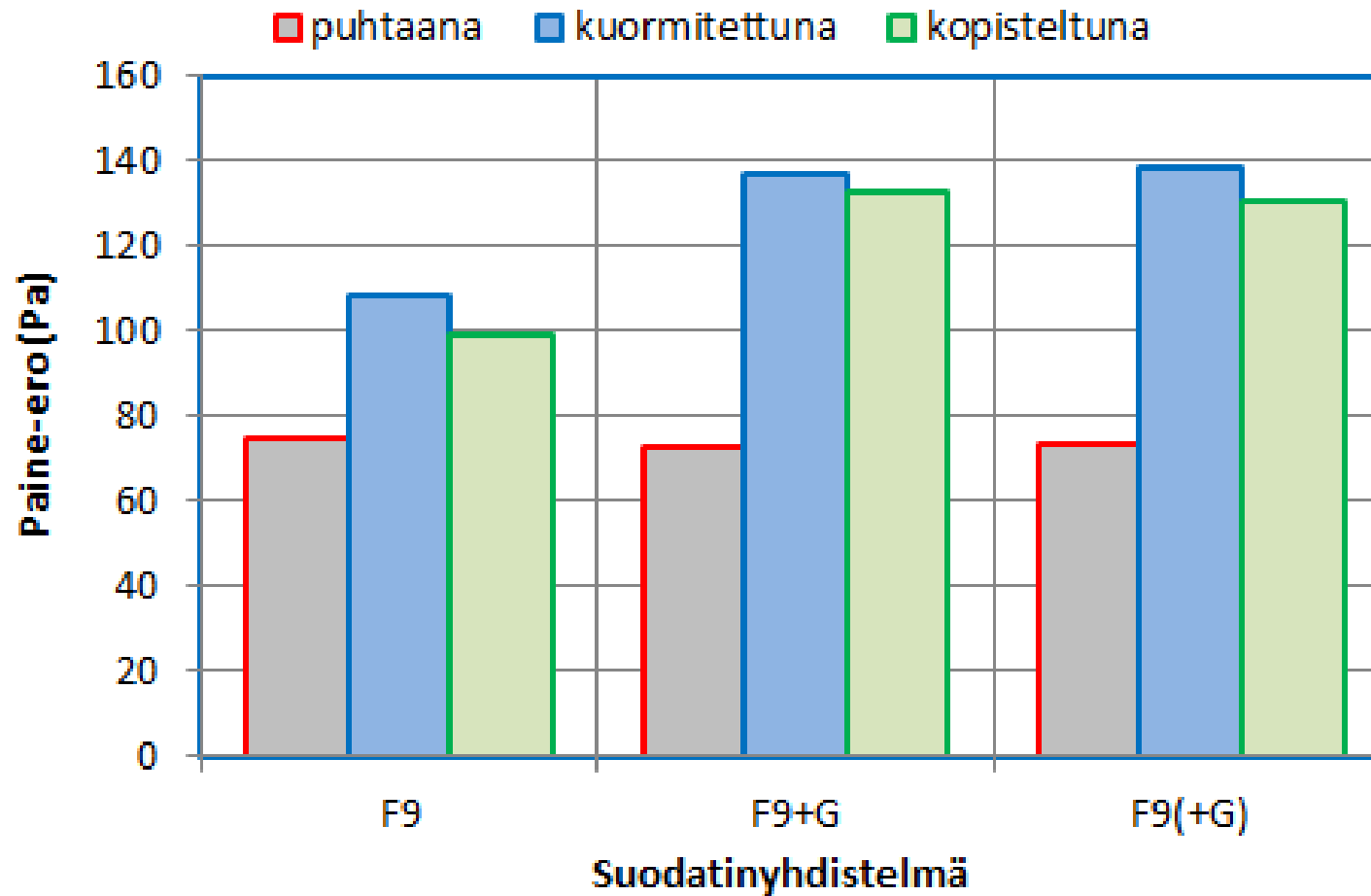
Virtausnopeuden vaikutus



Materiaalien kuormitus (toistettavuus)



Materiaalien kuormitus (esisuodatuksen vaikutus)



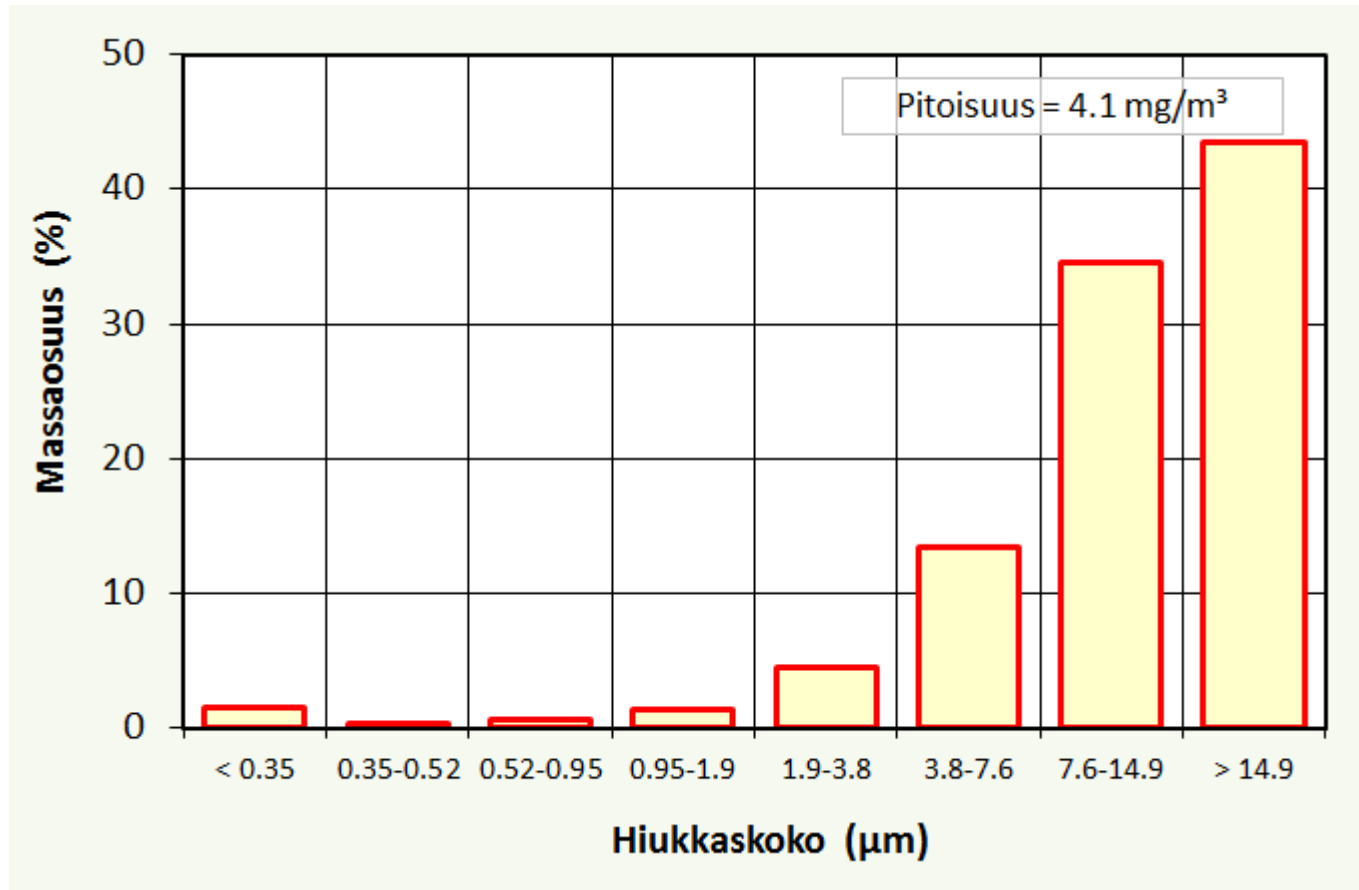
Mittaukset kenttäkohteissa



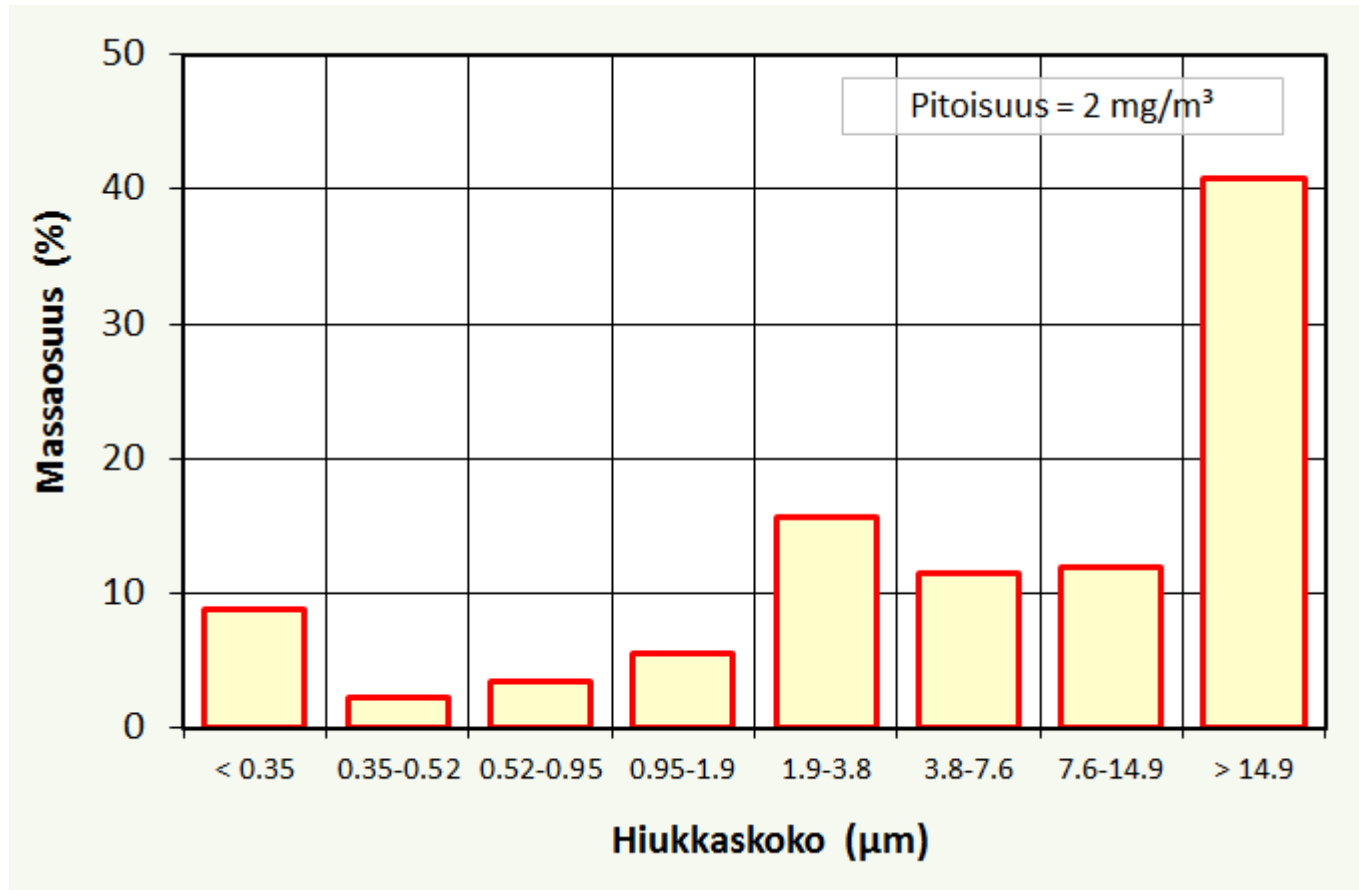
[Pimex](#)

[GoPro](#)

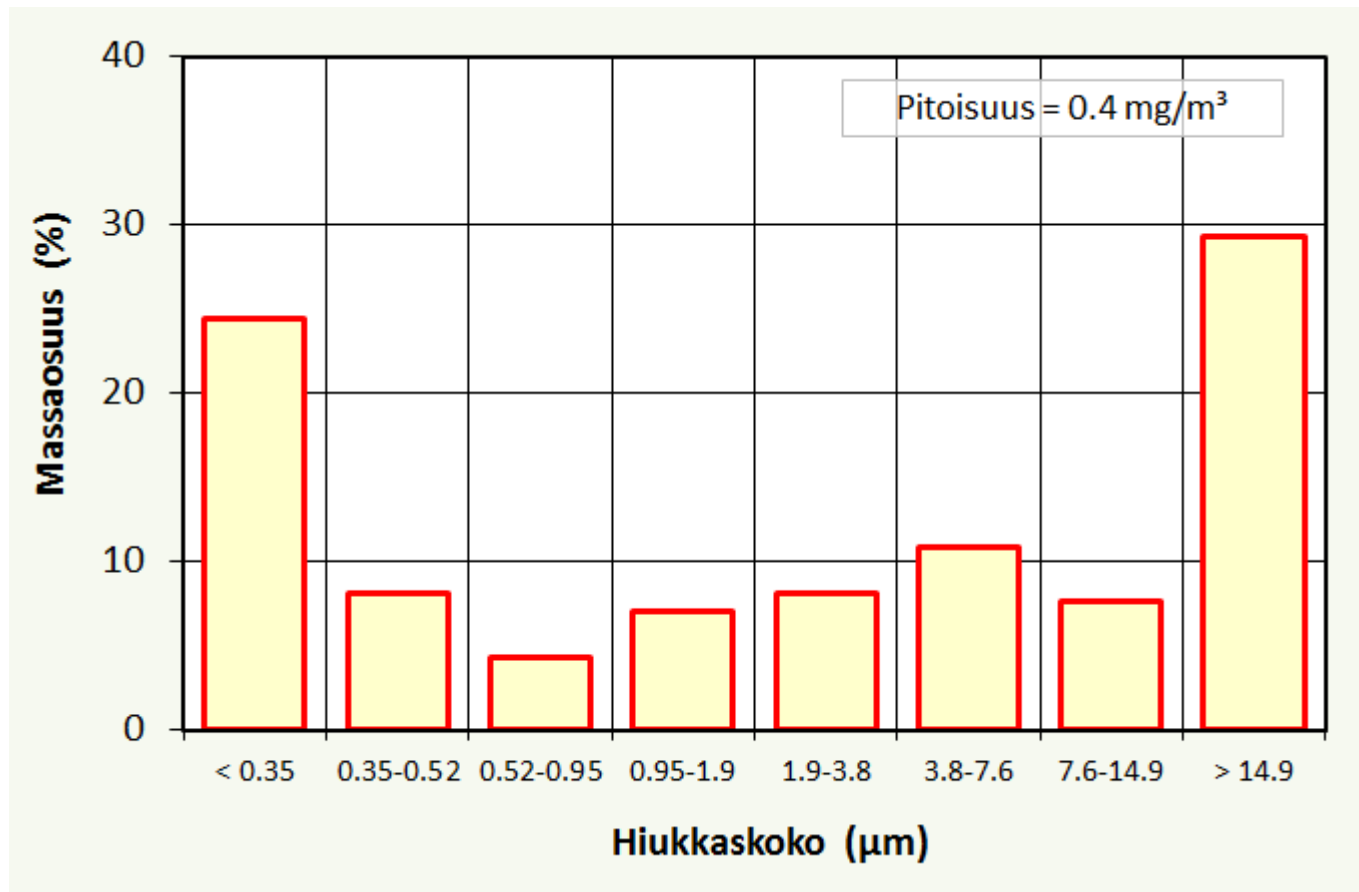
Hiukkaskokojakaumat - Purkupaikka (Naistenlahti)



Hiukkaskokojakaumat - tienvarsihaketus



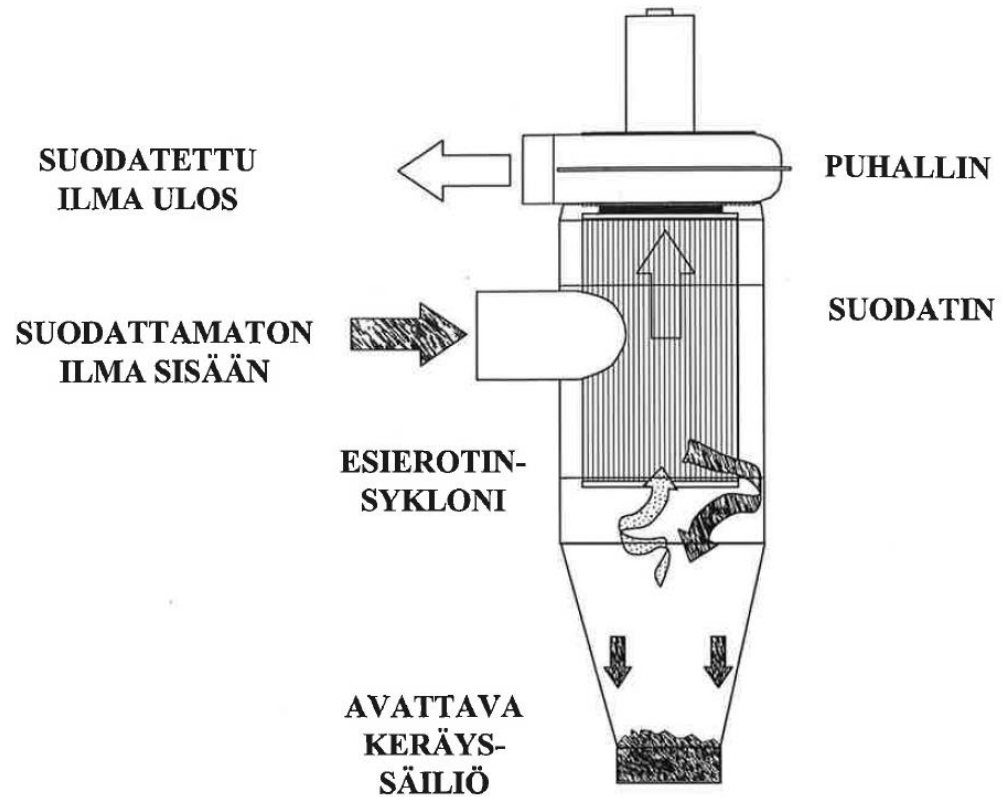
Hiukkaskokojakaumat - tienvarsihaketus



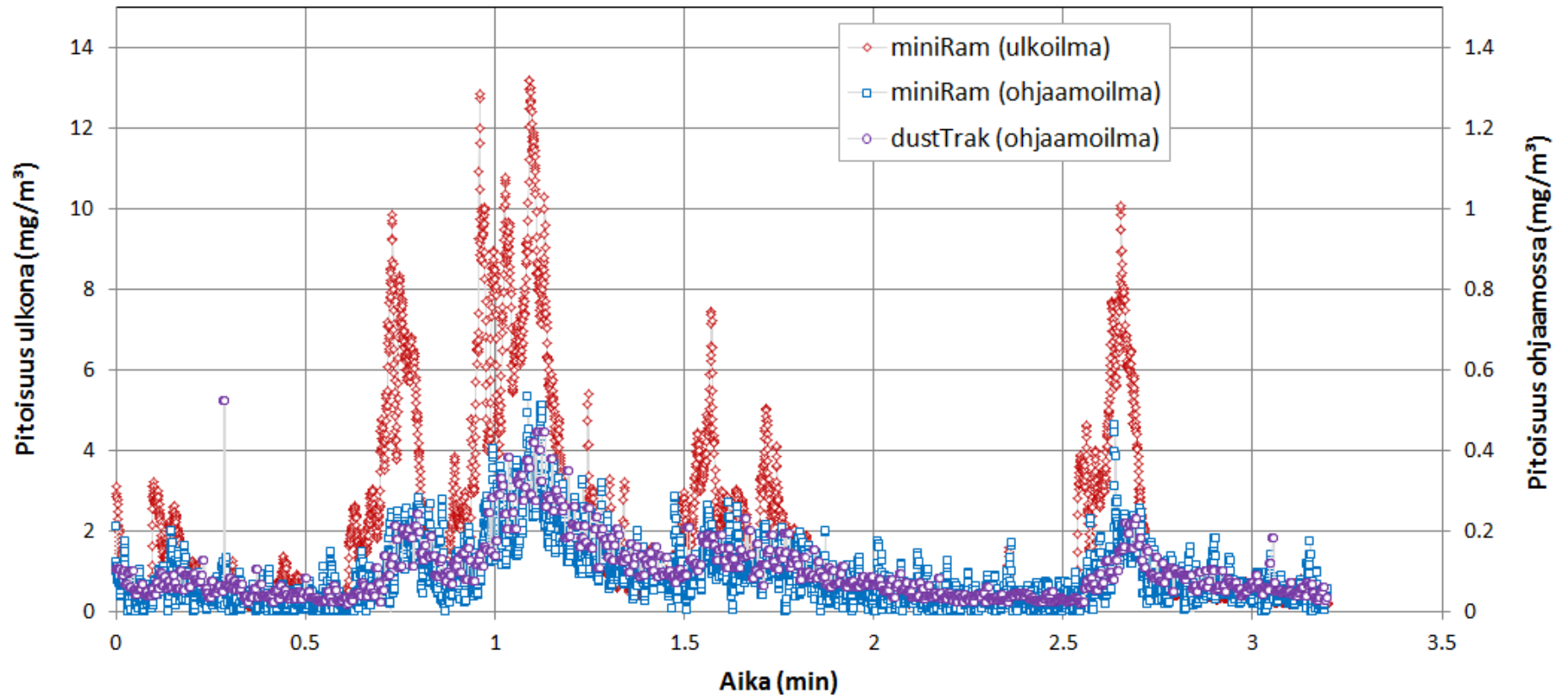




Työkoneohjaamoiden raitisilman suodatuslaite

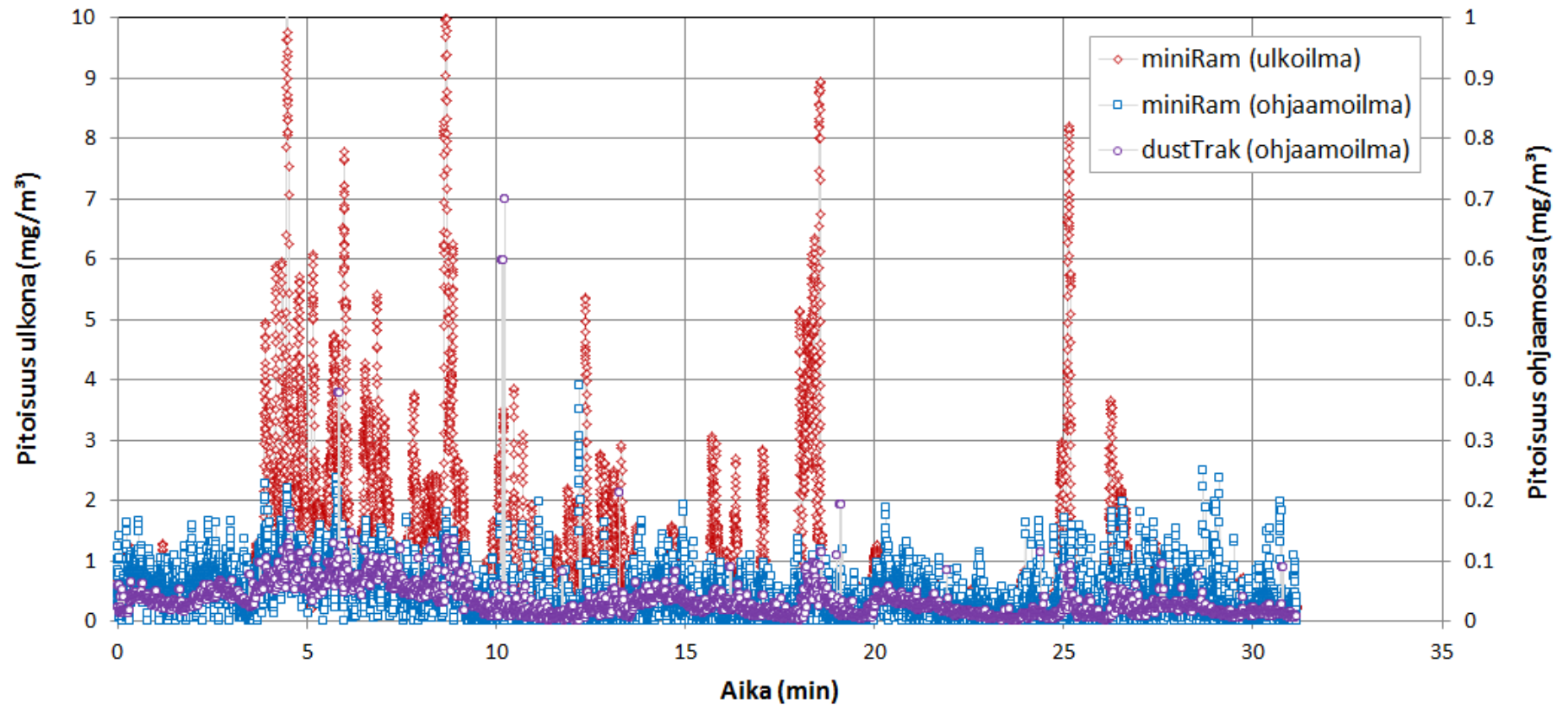


Hiukkaspitoisuudet ulkona/ohjaamossa



[Risutukki-Nuutajärvi4.avi](#)

Hiukkaspitoisuudet ulkona/ohjaamossa



Yhteenveto

- Pölyn hallinta edellyttää
 - ⊕ Asiallinen ohjaamo
 - ◆ Tiivis, ylipaineinen
 - ◆ Ilmanvaihto/ilmastointi mitoitettu oikein
 - ◆ Tehokas suodatus
 - ◆ Huolellinen suodattimien kunnossapito
- Olosuhteiden ”hallinta”
 - ⊕ Toiminta ”tuulen yläpuolella”
- Ongelmia
 - ⊕ Suodattimien tukkeutuminen
 - ⊕ Suodattimien vaihdon laiminlyönti
 - ⊕ Suodattimien puhdistus