

The background of the slide is a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered across it. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance.

# AKTIIVIHIILELLÄ VARUSTETUN ILMANPUHDISTIMEN TOIMINTAPERIAATE JA SUORITUSKYKY

SEMINAARIESITYS 5.6.2019

PETRI NEVALAINEN, RTA4

# OPINNÄYTETYÖN TAVOITE

---

- Selvittää aktiivihiilisuodattimella varustetun **ilmanpuhdistimen toimintaperiaatteet ja suorituskyky**
- Testata aktiivihiilellä varustetun ilmanpuhdistimen suorituskykyä käytännön testeillä **eri kaasumaisten yhdisteiden poistamiseen**
- Esitellä lyhyesti muut ilmanpuhdistimissa käytetyt puhdistustekniikat
- Esitellä sisäilmastolle asetettuja vaatimuksia

# TAUSTAA

---

- On tehty tutkimuksia, joiden perusteella jotkut **sisäilmaa kierrättävät ilmanpuhdistustekniikat todistetusti parantavat sisäilman laatua**
- Mikään nykyisin käytössä olevista puhdistustekniikoista **ei tiettävästi pysty poistamaan kaikkia** sisätilojen epäpuhtauksia (useita tekniikoita samassa laitteessa)
- Jotkut puhdistustekniikat tuottavat **ei-toivottuja sivutuotteita** käytön aikana, (esimerkiksi otsonia, typen oksideja tai formaldehydiä)

Lähde: Atmospheric Environment 45, 4329-4343, 2011

# TAUSTAA

---

- Ilmanpuhdistimien **tarve** on arvioitava aina **tapauskohtaisesti**
- Riittävät **tutkimukset ennen ilmanpuhdistimien käyttöä** (eri puhdistustekniikat tehoavat eri epäpuhtauksiin ja mikään yksittäinen puhdistustekniikka ei tehoa kaikkiin epäpuhtauksiin)
- Ilmanpuhdistimia **ei tule käyttää korjausten tai tutkimusten välttämiseksi tai korvaamaan** puutteellista siivousta tai ilmanvaihtoa
- Pääsääntöisesti käyttöä turvaavana **väliaikaisena** toimenpiteenä kunnes rakenteet ja olosuhteet tiloissa saadaan kuntoon (poikkeuksena esim. Erityisen puhtaita tiloja tarvitsevat, hajukuorman vähentäminen)
- Ilmanpuhdistimien käytön aikana **olosuhteiden seuranta ja valmius korjaaviin toimenpiteisiin (riittävä vaikuttavuus)**

# ILMANPUHDISTIMIEN YLEISIMMÄT PUHDISTUSTEKNIIKAT

---

1. Mekaaninen suodatus
2. Fotokatalyyttinen hapetus
3. Elektrostaattinen suodatus
4. UV-säteilytys
5. Ionisointi
6. **Kemiallinen suodatus** eli kaasumaisten yhdisteiden suodattaminen

# KEMIALLINEN SUODATUS

---

- Kemiallisella suodatuksella tarkoitetaan **kaasumaisten epäpuhtauksien** suodattamista
- Ilmanpuhdistimissa yleisimmin käytetty **kemiallinen suodatinmateriaali on aktiivihiili**
- Aktiivihiili on sekä rakenteensa että ominaisuuksiensa osalta **ainutlaatuinen:**
  - aktiivihiili kykenee suodattamaan **sekä orgaanisia että epäorgaanisia aineita**

# KEMIALLINEN SUODATUS

---

- Aktiivihiilen toiminta **perustuu adsorptioon**, jossa adsorbenttina toimiva kiinteä aine sitoo pinnalleen tiettyjä molekyylejä joko kemisorption tai fysisorption avulla
  - **Kemisorptiossa adsorbaatin ja adsorbentin** pinnan välille syntyy vahva **kemiallinen sidos** ja
  - **fysisorptiossa adsorbentti sitoo adsorbaatin** pinnalleen fyysisten, ns. **Van der Waalsin voimiin** perustuvien vetovoimien avulla

# KEMIALLINEN SUODATUS

---

- Molekyylipainoltaan **pienet yhdisteet** kuten ammoniakki, formaldehydi ja rikkivety **adsorptoituvat heikosti** tavalliseen käsittelemättömään aktiivihiileen
- Mm. Näiden epäpuhtauksien kiinnisaamiseen tarvitaan adsorptioaineen **kyllästämistä kemikaaleilla eli impregnointia**
  - Yleisesti käytettyjä impregnaatteja, joilla aktiivihiilen adsorptiokykyä parannetaan ovat mm. Metallien suolat, hapot ja jalometallit
  - Lisäämällä esimerkiksi aktiivihiileen pieni määrä rikkiä voidaan parantaa hiilen elohopeansitomiskykyä



# KEMIALLINEN SUODATUS

---

- Jotta kemiallinen reaktio varsinkin impregnoidulla suodattimella ehtii tapahtua, tulee puhdistettavan **ilmavirran viipymä olla riittävän suuri**
- Aktiivihiiლისuodatuksen **suodatuksen tehokkuutta** voidaan **parantaa**:
  - **lisäämällä paksuutta ja poikki-pinta-alaa** suodatinkerrokseen tai
  - **pudottamalla** suodattimen läpi **virtaavan ilman virtausnopeutta**

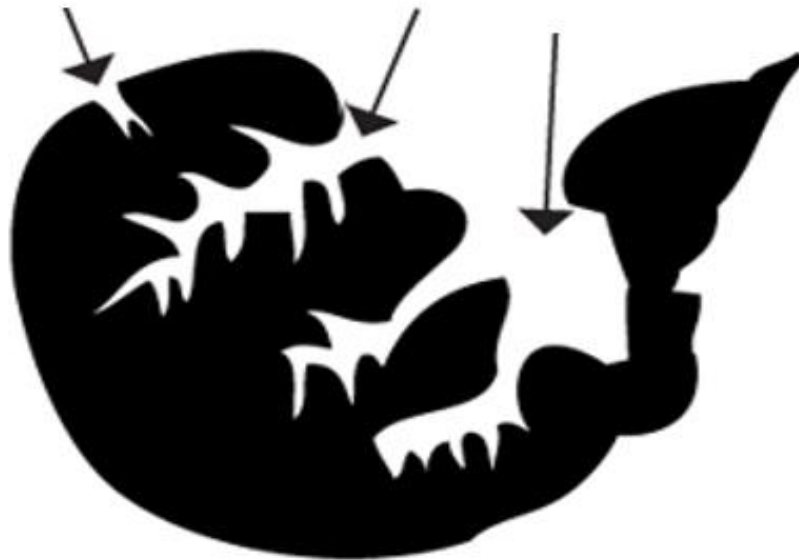
# AKTIIVIHIILEN VALMISTUS

---

- Aktiivihiilen **valmistuksessa** on kolme eri vaihetta:
  - raaka-aineen valinta,
  - hiillytys ja
  - aktivointi
  - tämän lisäksi tarvittaessa kemikaalien lisäys eli impregnointi
- **Kivihiili** on edullisen hintansa vuoksi yleisin raaka-aine
- Raaka-ainevalinta vaikuttaa merkittävästi aktiivihiilen ominaisuuksiin ja raaka-aineeksi pyritään valitsemaan materiaali, joka antaa aktiivihiilen tulevaan käyttötarkoitukseen parhaimmat ominaisuudet
- Aktivointiprosessissa hiilen huokosista poistuu aineita kuten esimerkiksi hiiltä, rikkiä, tuhkaa, aromaattisia yhdisteitä tai kosteutta
- Aktivoidun hiilen **adsorptiopinta-ala** on normaalisti **500-1500 m<sup>2</sup>/g**, vrt. UEFA jalkapallokenttä 7 140 m<sup>2</sup>

# AKTIIVIHIILEN HUOKOSRAKENNE

Mikrohuukonen  $< 2 \text{ nm}$   
Mesohuukonen  $2 - 50 \text{ nm}$   
Makrohuukonen  $> 50 \text{ nm}$



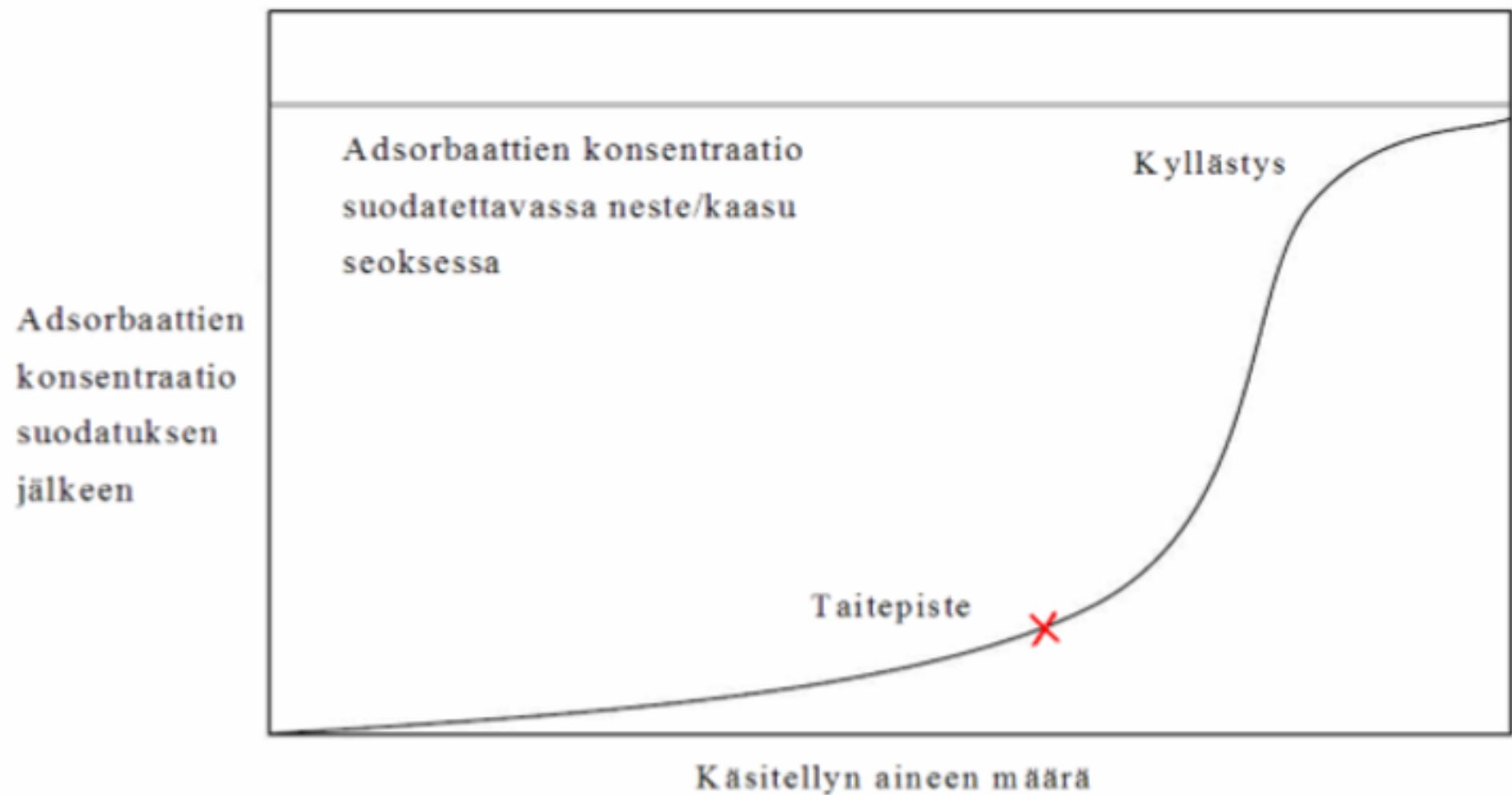
Huokoskoko vaikuttaa suoraan siihen kuinka suuria partikkeleja tai molekyylejä on mahdollista adsorboida adsorbentin pintaan

Kuva 2. Hiilipartikkelin mikro-, meso- ja makrohuukokset. Kuva pohjautuu lähteeseen (Niskanen 2014).

# AKTIIVIHIIILI

---

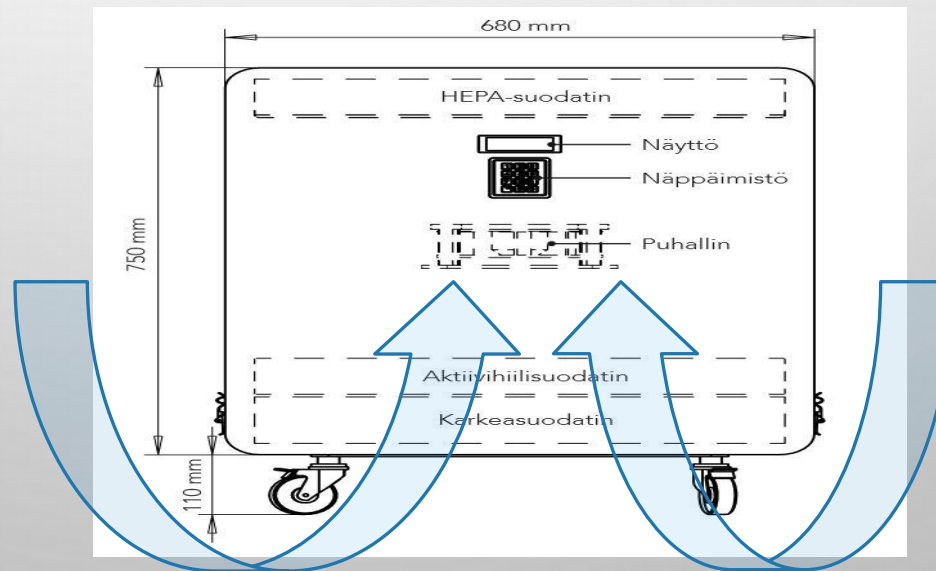
- Käytön seurauksena adsorbointialueet aktiivihiilessä tukkeutuvat ja aktiivihiiili on vaihdettava tai aktivoitava uudelleen
- Uudelleenaktivointi tapahtuu kuumentamalla aktiivihiiiltä noin 820-950 °C lämpötilaan
- Kyllästyneen aktiivihiiilen raja etenee aktiivihiilessä hyvin tasaisena adsorptiorintamana



Kuva 3. Periaatekuvaaja taitepisteen jälkeen tapahtuvasta nopeasta aktiivihiilen adsorptiokyvyn heikkenemisestä. Hiilipatjan läpäisevien adsorbaattien määrä ennen punaisella rastilla merkittyä taitepistettä on vähäistä. Taitepisteen jälkeen aktiivihiilen suorituskyky heikkenee romahdusmaisesti ja suurin osa adsorbaateista pääsee hiilipatjasta läpi. (Hannola 2007, s. 27)

# KÄYTÄNNÖN KOKEET

- Testattiin suuntaa antavilla kokeilla aktiivihiilisuodattimella varustetun ilmanpuhdistimen kykyä poistaa sisäilmasta kemiallisia yhdisteitä
- PTR- TOF- MS-: proton transfer reaction- time of flight- mass spectrometer.  
Protoninsiirtoreaktiolentoaika- massaspektrometri



# KÄYTÄNNÖN KOKEET

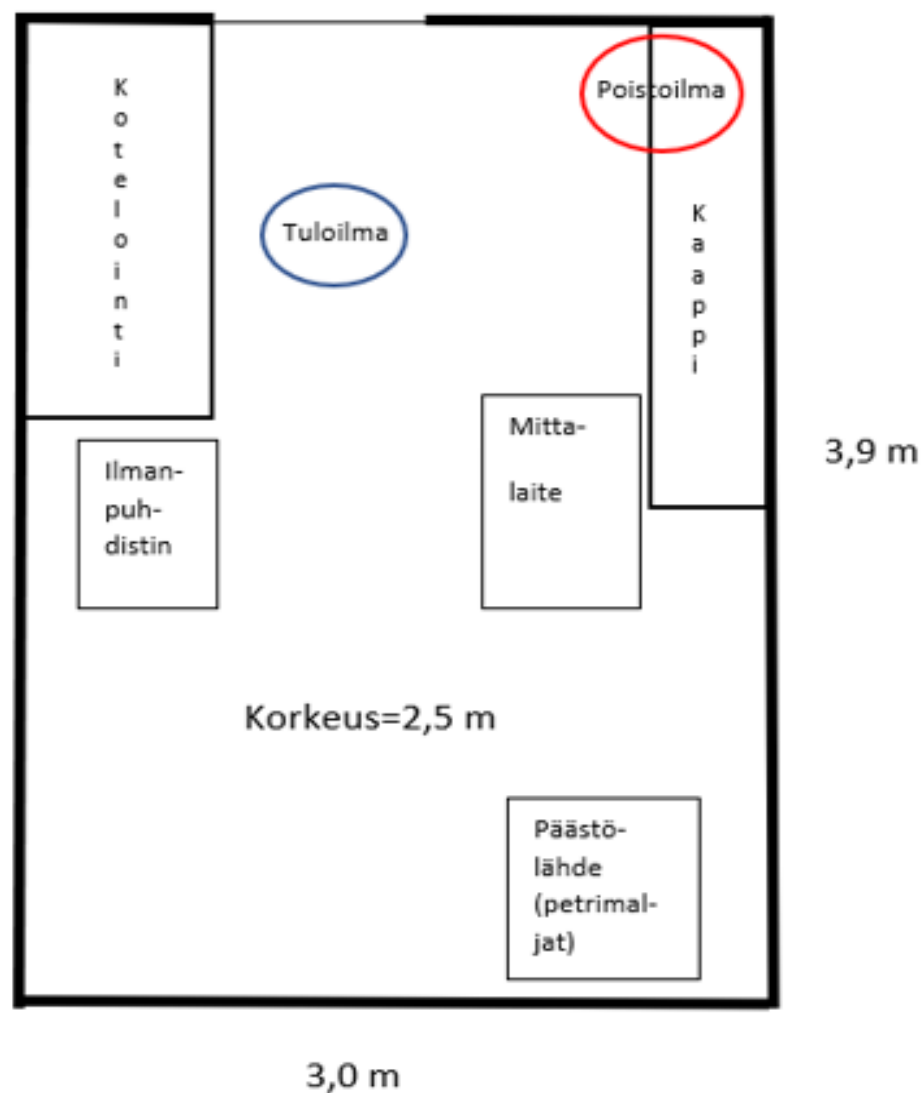
---



Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Ilmanvaihtokerroin mittaushetkellä noin 2,9 1/h

Testihuone tilavuudeltaan noin 25,0 m<sup>3</sup>



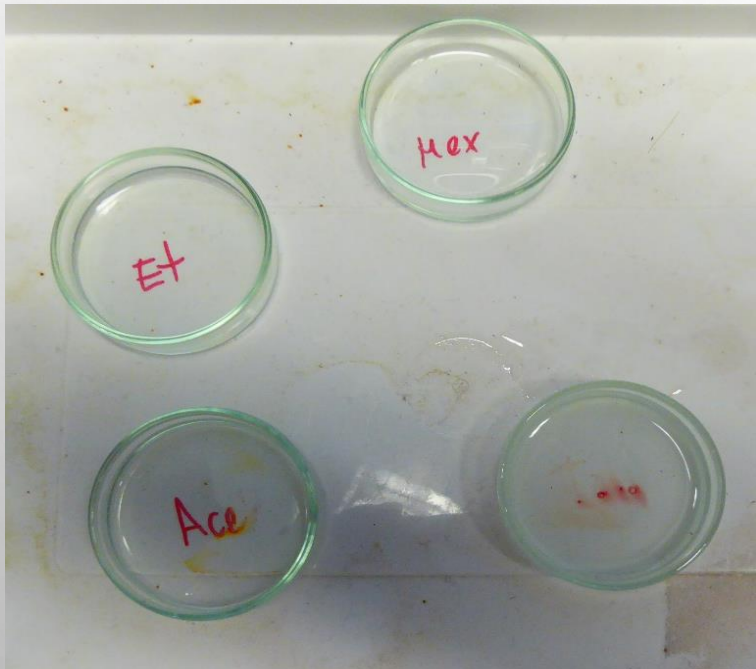
Kuva 8. Viitteellinen kuva testihuoneesta. Huoneen pinta-ala (pois lukien kiintokaappi ja kotelointi) on noin  $9,6 \text{ m}^2$  ja tilavuus ilman kiintokaappia ja kotelointia on noin  $24 \text{ m}^3$ .



# KÄYTÄNNÖN KOKEET

---

- Testihuoneen sisäilmaan tuotettiin kemiallisia yhdisteitä avoimilta petri-maljoilta



- Testiaineina heksanaali, asetoni, etanoli ja tolueeni
- Valitut yhdisteet edustivat laajemmin alkoholeja, ketoneja ja aldehydejä
- Lisäksi tolueenia käytetään yleisesti testikaasuna VOC-yhdisteille

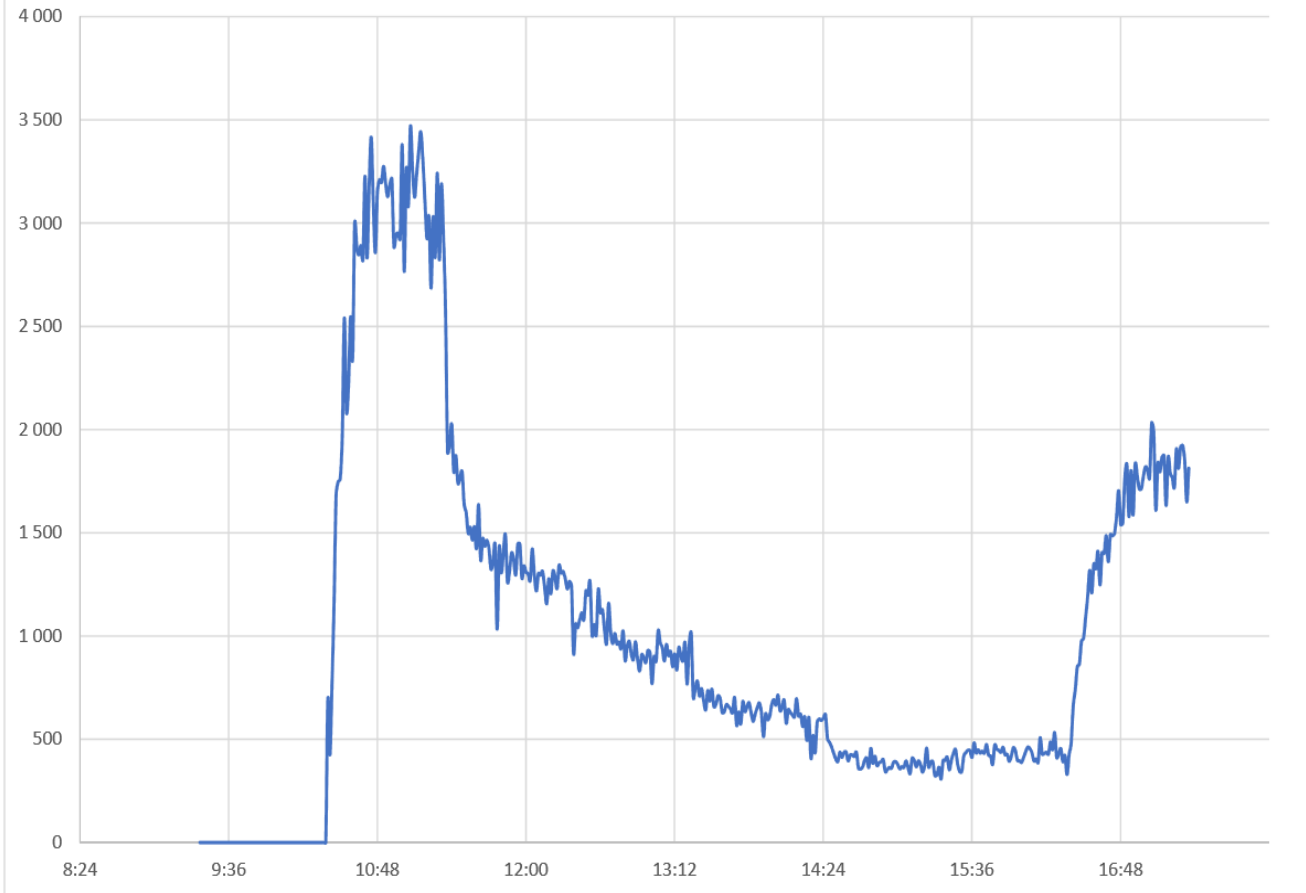
# TUTKIMUSTULOKSIA

---

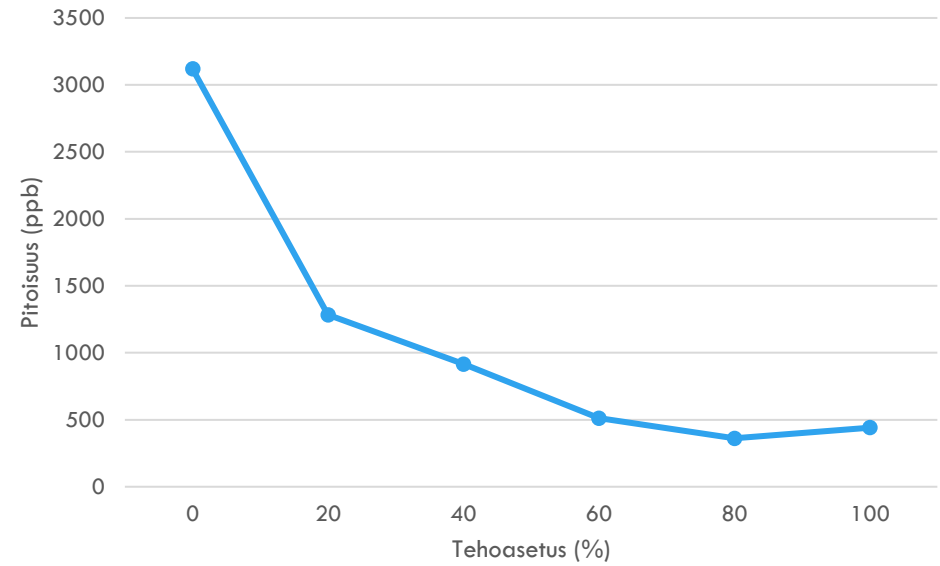
- Kaikki tässä työssä esitellyt tutkimustulokset ovat alustavia ja niihin liittyy huomattava mittausepävarmuus
- Suurin epävarmuus liittyy heksanaalin ja toluenin mittaustuloksiin, sillä niiden pitoisuus ei testissä palautunut alkuperäiseen pitoisuuteen ilmanpuhdistimen sammuttamisen jälkeen

# TUTKIMUSTULOKSIA

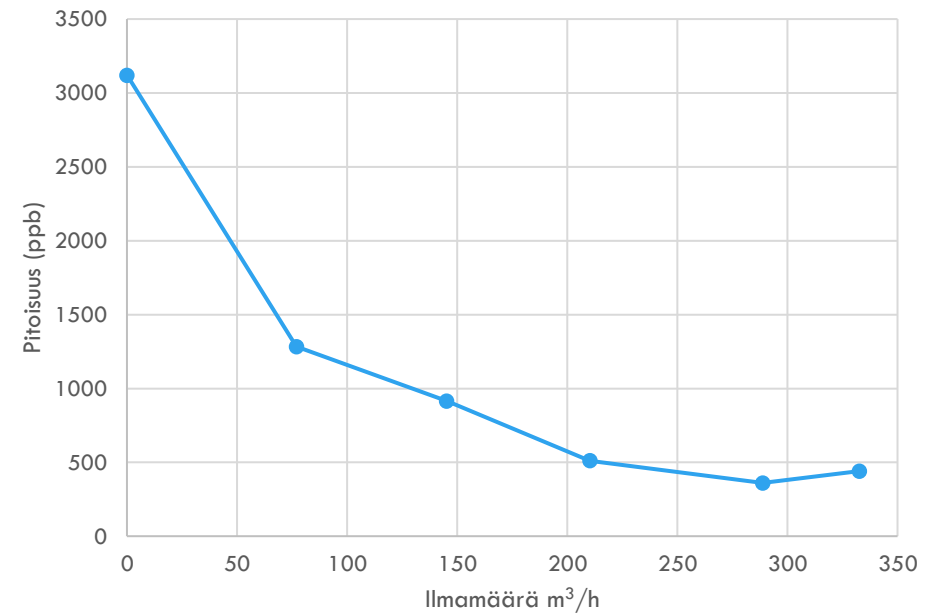
Tolueenin pitoisuus (ppb)



Tehoasetuksen vaikutus (tolueeni)



Ilmamäärän vaikutus (tolueeni)



# TUTKIMUSTULOKSIA

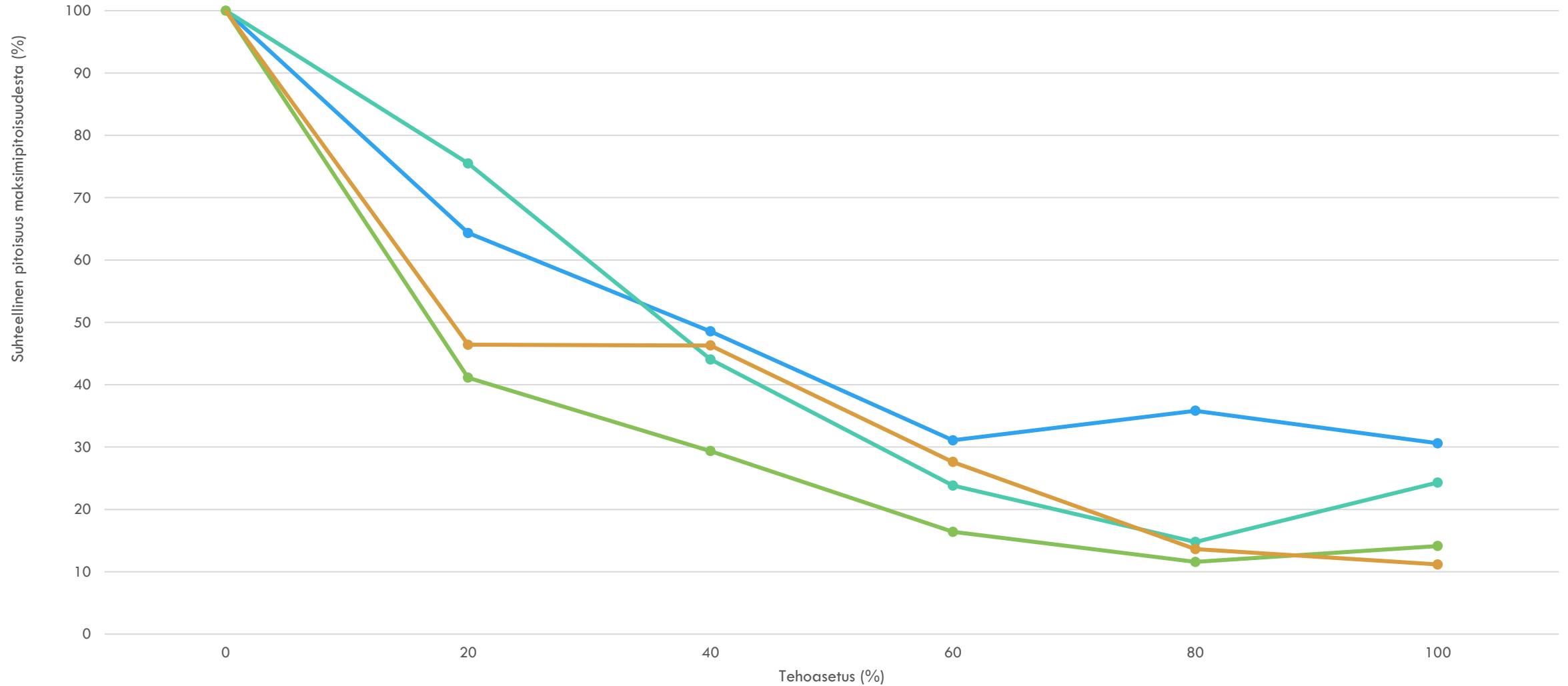
---

- **Päästölähteen ja ilmanpuhdistimen sijainti toisiinsa** nähden vaikuttaa merkittävästi siihen, kuinka paljon sisäilman pitoisuuksista ilmanpuhdistin pystyy poistamaan
- **Osa kemiallisista yhdisteistä väheni** alimmalle tasolle ilmanpuhdistimen oltua **täydellä 100% teholla** ja osa ilmanpuhdistimen oltua **tehoasetuksella 80%**
- Etanolin kohdalla pitoisuus väheni parhaimmillaan 31 % pitoisuuteen maksimipitoisuudesta
- Muiden pitoisuudet vähenivät parhaimmillaan 11-15 % pitoisuuteen maksimipitoisuudesta

# TUTKIMUSTULOKSIA

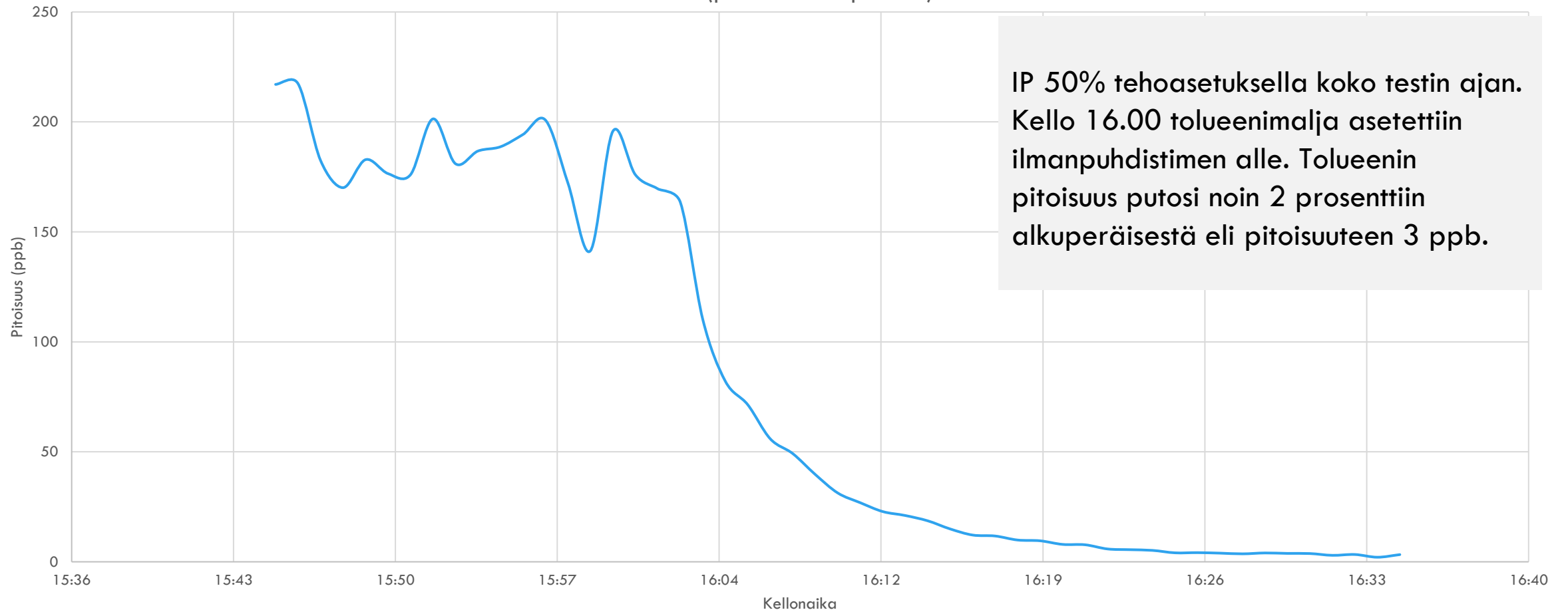
Tehoasetuksen vaikutus suhteelliseen pitoisuuteen

Etanoli Asetoni Tolueeni Heksanaali



# TUTKIMUSTULOKSIA

Tolueeni (päästölähde ip:n alla)



IP 50% tehoasetuksella koko testin ajan. Kello 16.00 tolueenimalja asetettiin ilmanpuhdistimen alle. Tolueenin pitoisuus putosi noin 2 prosenttiin alkuperäisestä eli pitoisuuteen 3 ppb.

# JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

---

- Aktiivihiilellä varustettu ilmanpuhdistin poistaa sisäilman kemiallisia epäpuhtauksia
- Aktiivihiili tehoaa eri tavoin erilaisiin kemiallisiin yhdisteisiin. Puhdistustehokkuuteen vaikuttaa mm. Aktiivihiilen laatu ja määrä sekä käytetyt impregnointiaineet.
- Testiaineella, jolla ilmanpuhdistimen suorituskykyä testataan, on suuri merkitys
- **Jos ilmanpuhdistimen puhtaanilmantuotto (CADR) testataan vain yhdellä testiaineella, saadaan selville ilmanpuhdistimen suorituskyky vain kyseisen testiaineen poistamiseen sisäilmasta**
- Ilmanpuhdistimen puhaltimen käyttöteholla on merkitystä siihen, kuinka kauan epäpuhtaudet viipyvät aktiivihiilen pinnalla

# JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

---

- Ilmanpuhdistinten merkittävänä rajoittavana tekijänä on ilmanpuhdistimien aiheuttama melu
- Ilmanpuhdistimen sijainnilla suhteessa päästölähteeseen on huomattavan suuri merkitys siihen, kuinka matalalle tasolle puhdistettavassa tilassa pitoisuudet alenevat ilmanpuhdistimen avulla
- Sisäilmaa kierrättävää ilmanpuhdistinta valittaessa on huomioitava myös puhdistettavan tilan koko suhteessa ilmanpuhdistimien tehoon ja määrään
- **Tutkittava tarkoin, mitä epäpuhtauksia sisäilmasta halutaan poistaa, ennen ilmanpuhdistimen käyttöönottoa**



# JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

---

- **Ilmanpuhdistimet vaativat lisää tutkimuksia**, jotta saisimme tietää tarkemmin niiden vaikutuksista sisäilman laatuun ja voisimme käyttää niitä sisäilman laadun parantamiseen turvallisemmin mielin

---

**KIITOS!**