

Ympäristöterveys bioenergian tuotannossa

Maija-Riitta Hirvonen, professori^{1,2}

1. Kuopion yliopisto
Ympäristötieteen laitos
2. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
Ympäristöterveyden osasto



KUOPION YLIOPISTO



TERVEYDEN JA
HYVINVOINNIN LAITOS

- **Bioenergian tuotanto ja käyttö lisääntyy** lähivuosina voimakkaasti koko EU:n alueella
- Bioenergia nähdään keinona hillitä ilmastonmuutosta ja lisätä energiaomavaraisuutta

Terveysvaikutukset ?

Ilmansaasteiden terveysvaikutukset

- **Ulkoilman pienhiukkaset tärkein kuolleisuutta ja sairauksia aiheuttava ympäristöterveys-altiste**
- Euroopan maissa yhdyskuntailman pienhiukkaset aiheuttaa vuosittain
 - n. 350 000 ennen aikaista kuolemaa
 - n. 8kk:n lyhenemisen odotettavissa olevassa eliniässä, mikä johtuu pääasiassa sydän- ja hengitys-elinsairaiden eliniän lyhenemisestä n. 10 vuodella.(EU/CAFÉ 2000, Directive 2008/50)



...ilmanasaasteiden terveysvaikutukset

- Hengitettävät hiukkaset (PM_{10} ; halkaisija $< 10 \mu\text{m}$) ja pienhiukkaset ($PM_{2.5}$; halkaisija $< 2.5 \mu\text{m}$) johdonmukaisesti yhteydessä kuolleisuuteen, sairaalakäynteihin sekä hengitys- ja sydänsairaiden toimintakyvyn laskuun
- Karkeilla hengitettävillä hiukkasilla ($PM_{10-2.5}$) ja ultrapienillä hiukkasilla (halkaisija $< 0.1 \mu\text{m}$) on $PM_{2.5}$:sta riippumattomia terveysvaikutuksia
- **Herkät väestöryhmät**
 - Pikkulapset
 - Kaikenikäiset astmaatikot
 - Iäkkäät henkilöt, joilla on krooninen sydän- ja/tai hengityselinsairaus

CAFE-arvio pienhiukkasten terveysvaikutuksista

	EU25:ssa	Suomessa
Ennenaikaisia kuolemia	347 900	1270
Menetettyjä elinvuosia	3 618 700	13 840
Imeväiskuolemia	677	2
Kroonisia keuhkoputkentulehduksia	163 800	620
Sairaalaan ottoja (sydän+keuhko)	100 300	383
Lasten alempien hengitystieoirepäiviä	192 756 400	778 870
Vajaakuntoisuuspäiviä (15-64 v)	347 687 000	1 323 390
Taloudelliset menetykset	268 – 781*	1-2,9 *

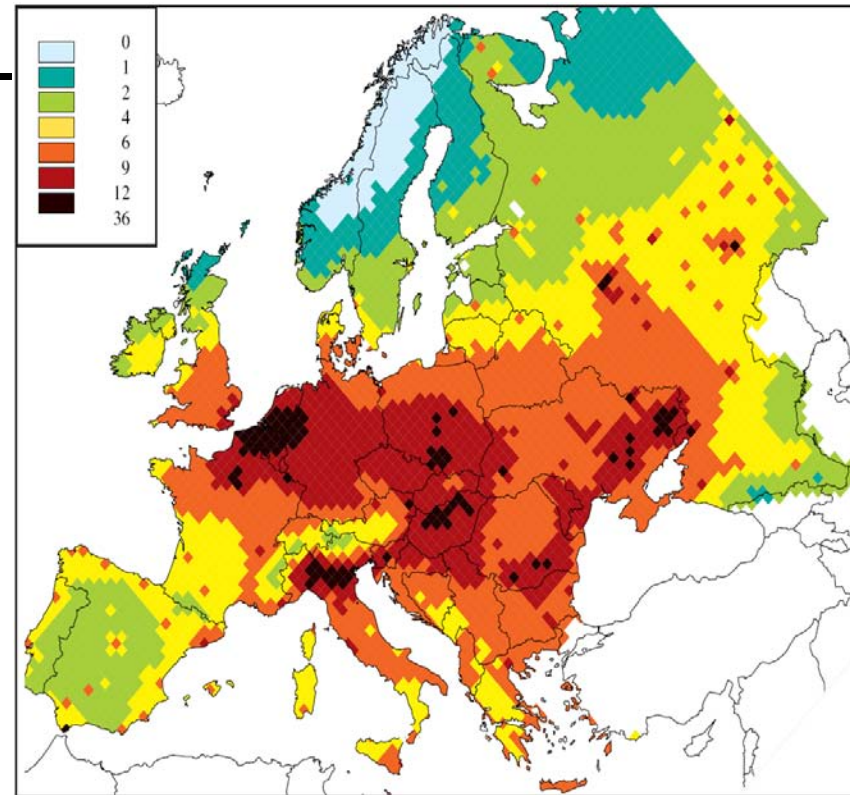
*miljardia €/ v

KANTIVA

Huomattavia alueellisia eroja

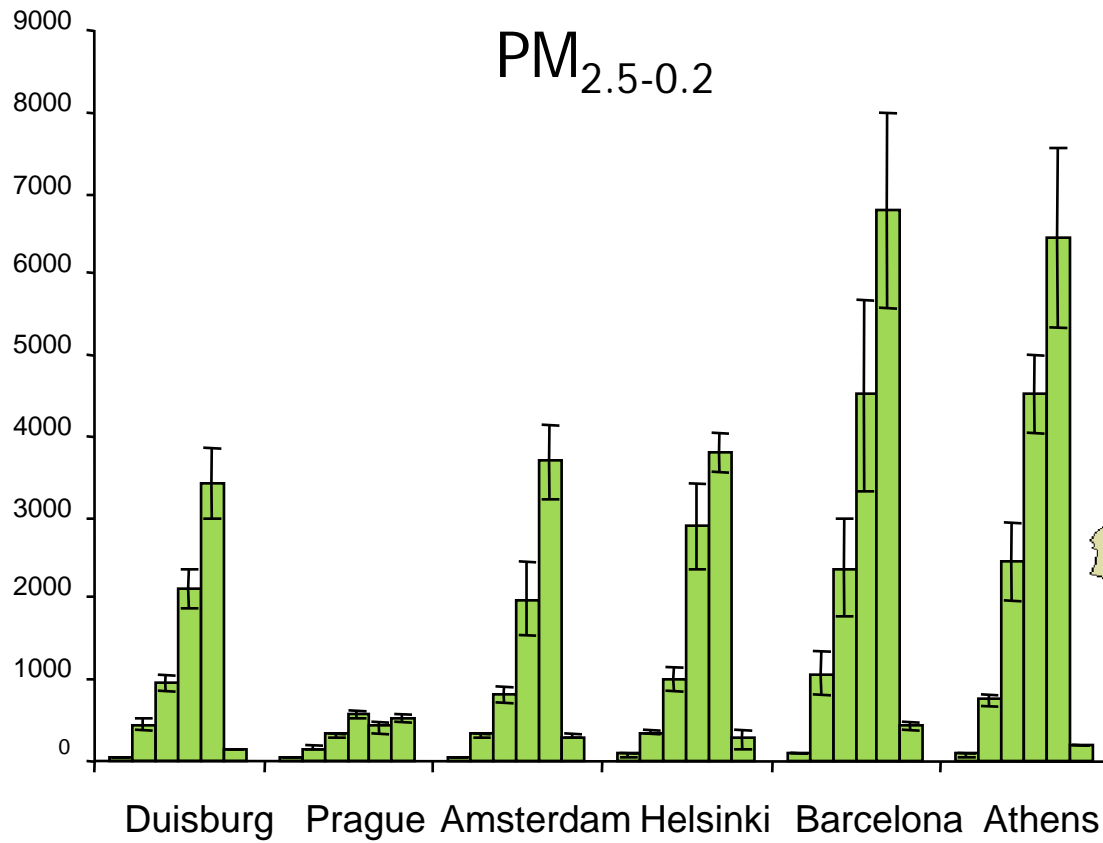
■ Massapohjaiset hiukkasten altistusvaikutussuhteet vaihtelevat:

- Euroopan eri osissa
 - etelässä > pohjoisessa
- Voimakkaampia tiettyjen hiukkaslähteiden vaikutuksesta
 - liikenne
 - pienlämmitys puulla ja hiilellä
 - huonosti kontrolloitu metalliteollisuus



..eroja toksikologisissa vasteissa

PAMCHAR

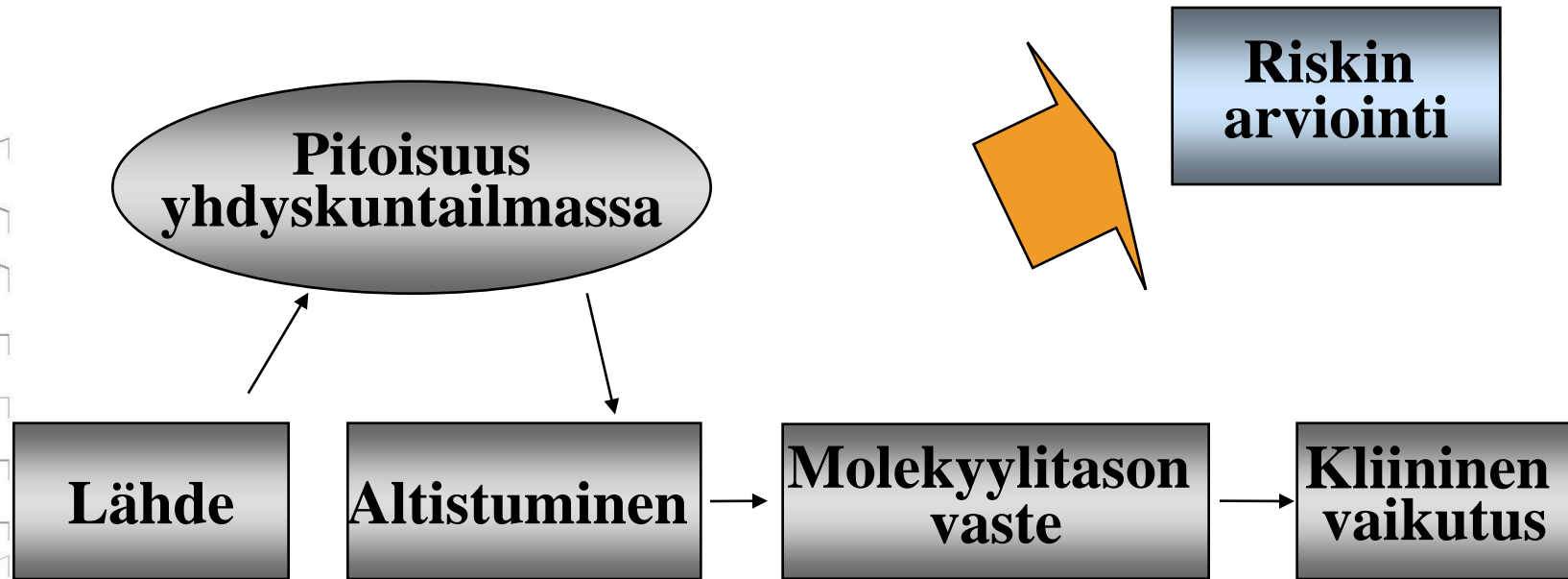


Jalava et al., Inhal. Toxicol. 2007

Mitä emme tiedä?

- **Syitä havaittuihin eroihin hiukkasten altistus-vaikutus -suhteissa Euroopan eri osissa**
 - Esim. hiukkaslähteiden, altistumiserojen, ilmaston ja väestötekijöiden vaikutus
- **Syy-seuraussuhteita hiukkaslähteiden, kemiallisen koostumuksen ja terveysvaikutusten välillä**
 - Esim. paikallisen lähteen hiukkaset (mm. liikenne, pienlämmitys puulla ja hiilellä, teollisuus), alueellinen tai kaukokulkeutunut, ikääntynyt aerosoli
- **Pitkäaikaisen altistumisen aiheuttamat kumulatiiviset terveysvaikutukset**
 - Esim. hengitys- ja sydänsairauksien esiintyvyys ja kuolleisuus, syöpä

Päästöistä terveysvaikutuksiin



Monitieteinen, laaja tutkimusalue

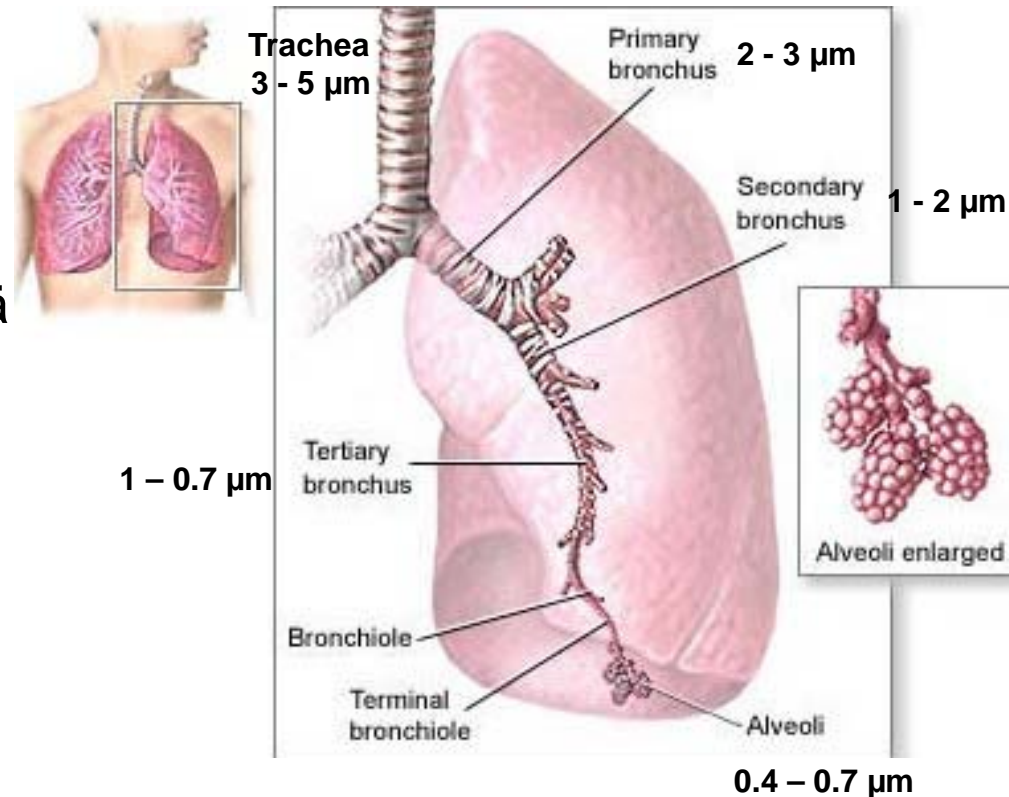
Miksi pienhiukkaset ovat vaarallisia?

Tunkeutuvat syvälle hengitysteihin

- Halkaisijaltaan alle $0.1 \mu\text{m}$, suuri reaktiivinen pinta-ala
- Transitiometallit ja niiden hapetusasteet
- Reaktiiviset orgaaniset yhdisteet esim. epätäydellisissä palamisessa
- Hiukkasten ikä (tuoreet vaallisempia)
- Huono vesiliukoisuus

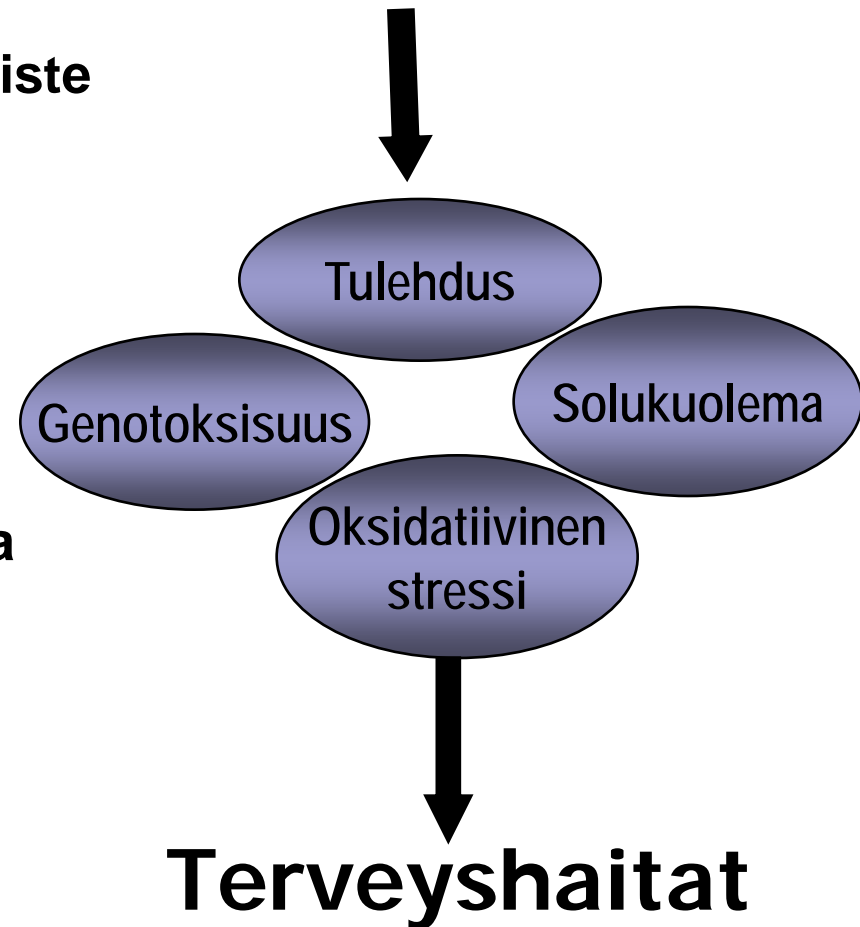


Erilaisten terveyshaittoihin johtavien mekanismien aktivoitunut elimistö



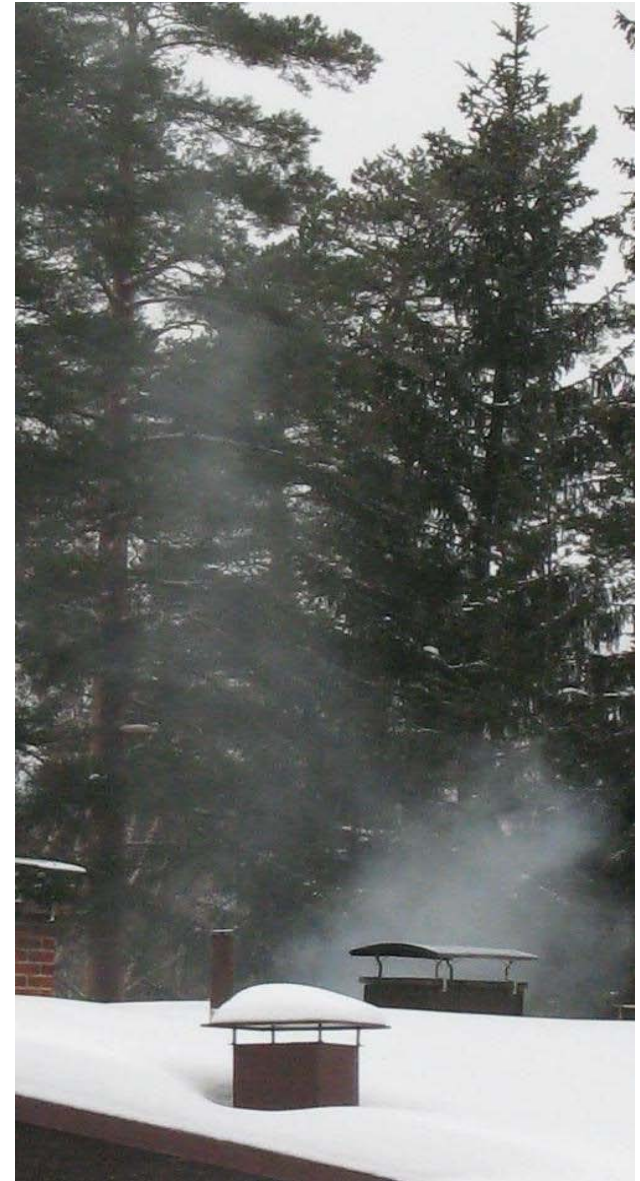
Altistuminen

- Pienhiukkasten terveystutkimuksen painopiste on tulehdusvasteissa, solutoksisuudessa, perimätoksisuudessa ja oksidatiivisessa stressissä
- nykytietämyksen mukaan keskeisiä mekanismeja sydän- ja hengityselin-sairauksien pahenemisessa



Biomassan poltton terveysvaikutukset ?

- **Poltossa syntyviä pienhiukkasia pidetään tärkeimpänä yksittäisenä terveyshaittoja aiheuttava tekijänä**
- **Biomassan poltto on Euroopan laajuisesti tärkein yksittäinen pienhiukkaspäästöjen (PM2.5) lähde**
 - Arvioiden mukaan 25 % Suomen kaikista pienhiukkas-päästöistä on peräisin puun pienpoltosta ja 65 % kaikista polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen (PAH)-päästöistä.





- **Biomassan poltossa syntyvien pienhiukkasten kemiallinen koostumus on erilainen kuin fossiilisten polttoaineiden poltosta peräisin olevien hiukkasten.**
- **Vaikutukset toksisiin ominaisuuksiin tunnetaan huonosti**
- **Biomassan polton päästöt sisältävät runsaasti potentiaalisesti erittäin toksisia kemikaaleja.**
- **Hiukkasten fysikokemialliset vuorovaikutukset voivat johtaa ennustamattomiin toksikologisiin vasteisiin elimistön soluissa.**

Hiukkaset eivät ole vaikutuksiltaan samanlaisia

Terveydelle haitallisiin, toksisiin ominaisuuksiin vaikuttaa:

1. Massapitoisuus

- Yhteys toksisuuteen ja kuolleisuuteen
- Suuria alueellisia sekä päästölähteiden ja vuodenaikojen välisiä eroja

2. Aerodynaaminen halkaisia/lukumääräpitoisuus

- Vaikuttaa hiukkasten jakaantumiseen /kulkeutumiseen hengitysteissä
- Pienimillä hiukkasilla (PM 0.1) on suurin lukumääräpitoisuus ja erilaiset kulkeutumismekanismit hengitysteissä
- Hiukkasten halkaisia, muoto ja lukumäärä vaikuttavat elimistön puolustusjärjestelmän solujen vasteisiin (immunologiset vasteet)

3. Partikkelin pinta-ala

-suurin kaikkein pinimmillä PM1-0.1

->suurin suhteellinen kontaktiala hengitysteissä

4. Kemiallinen koostumus

- Soluilla ja koe-eläimillä tehdyissä toksikologisissa tutkimuksissa on osoitettu seuraavat yhteydet:
 - **Toksisuus: Fe, V, Ni, Cu, Zn, As, PAH, EC/OC**
 - **Tulehdusvasteet: (Fe, V, Ni, Cu, Zn, Ca, Si, EC/OC)**
 - **Genotoksisuus/syöpä: PAH, Cd, Cr(VI), Ni, As, Si**

Epidemiologisissa tutkimuksissa eri päästölähteisiin yhdistetyt terveyshaitat tukevat kokeellisia toksikologisia tuloksia

PUPO-terveys projekti

Puunpienpolton vaikutus päästöihin, ilmanlaatuun ja terveyteen

Tuottaa ja yhdistää tutkimustietoa puunpienpoltossa syntyvien päästöjen kemiallisista ja toksikologisista ominaisuuksista.





■ "Normaali" poltto

- Panoskoko: 2.4 kg
- Klapikoko: 480 g
- Asettelu: tiivis
- Korvausilma: riittävä
- **PM päästöt: 100 mg/MJ**



■ "Kitupoltto"

- Panoskoko: 3.5 kg
- Klapikoko: 230 g
- Asettelu: harva
- Korvausilma: rajoitettu
- **PM päästöt: 600 mg/MJ**

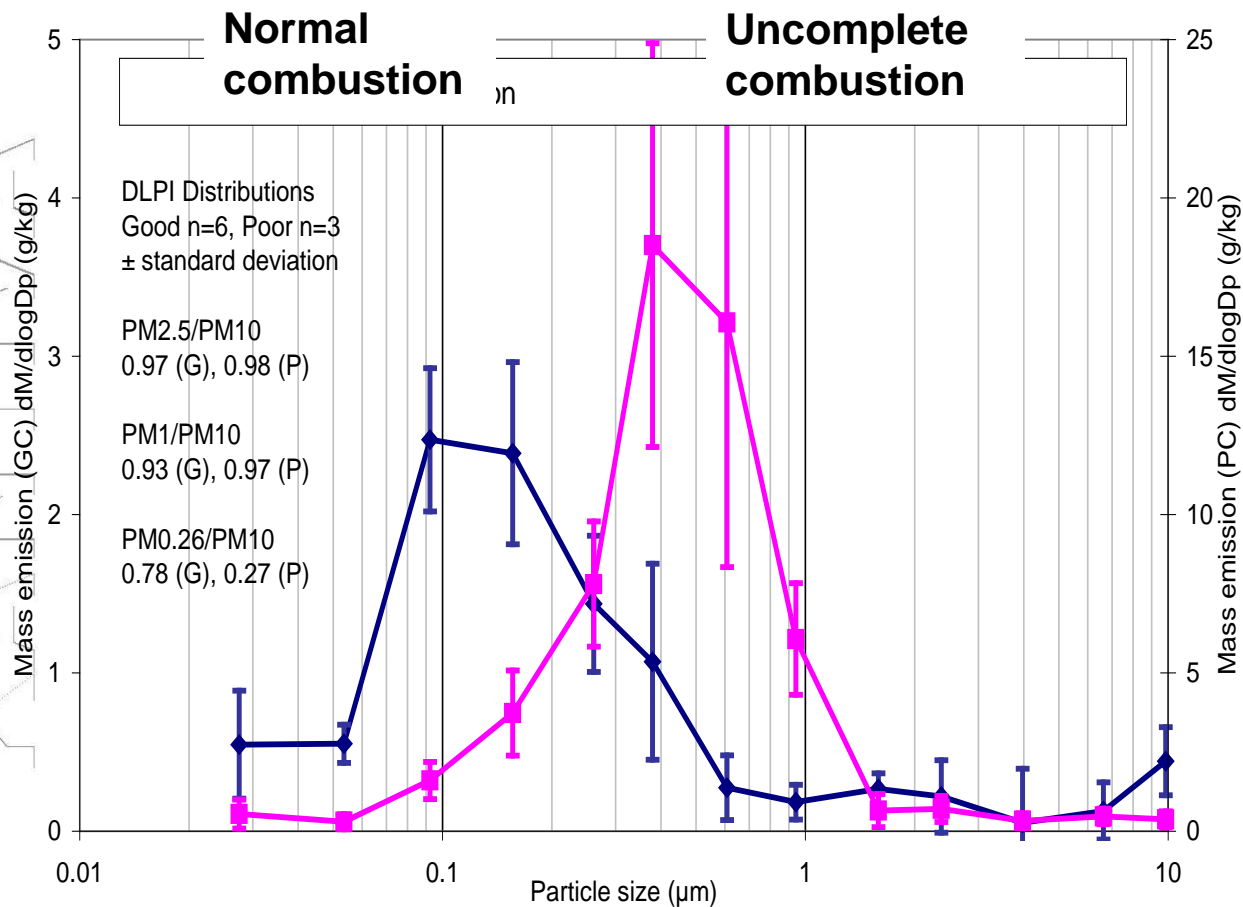


Tissari ym.



Päästöihin vaikuttaa polttoaine, polttoprosessi, laite

■ Mass size distribution



Tissari et al. 2008



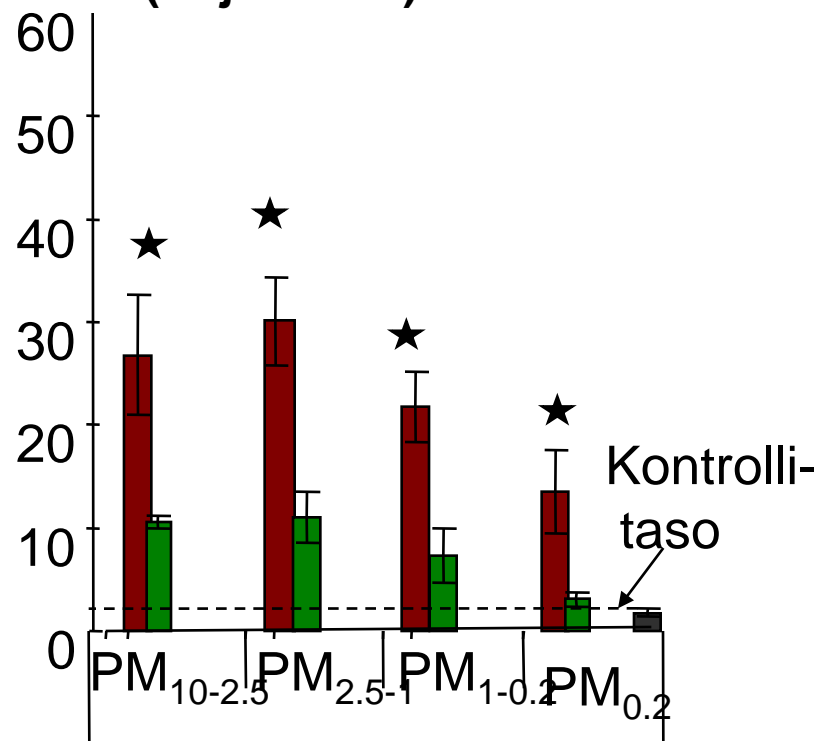
Solutoksisuus

- Kitupolton hiukkaset lisäsivät merkittävästi ohjelmoitua solukuolemaa kaikissa hiukkaskokoluokissa
- Normaalipoltosta kerätyt hiukkaset aiheuttivat vain vähäisiä muutoksia solukuolleisuudessa

 Normaalipoltto

 Kitupoltto

Apoptoottinen (ohjelmoitu) solukuolema

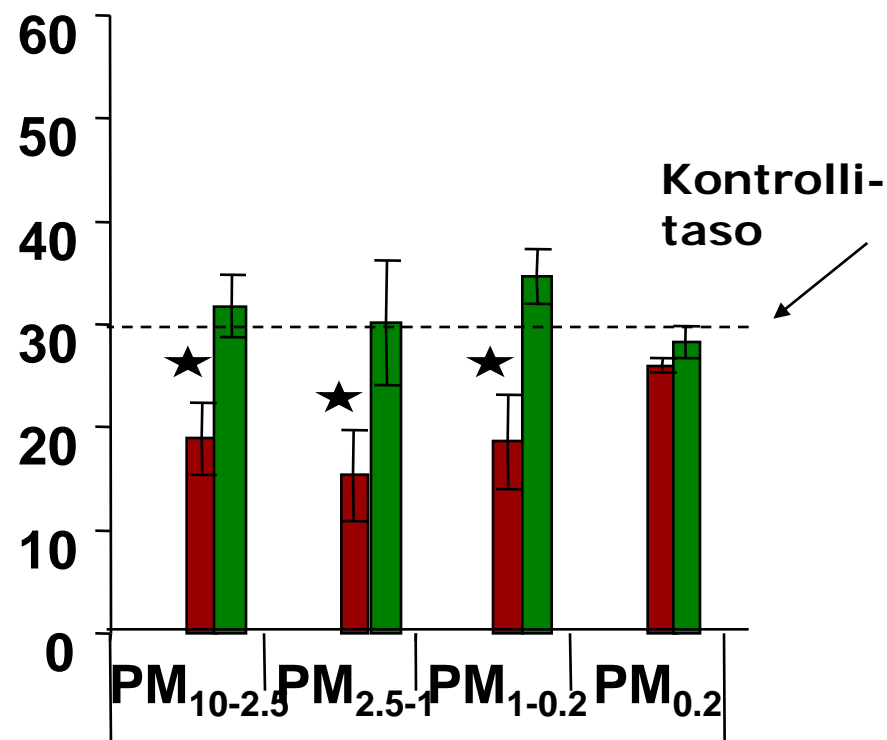




Solutoksisuus

- Kitupolton hiukkaset estivät merkittävästi solujen DNA-synteesiä

DNA synteesi



 Normaalipoltto

 Kitupoltto

KANTIVA



Kitupoltonhiukkaset vs normaalipolton hiukkaset

Kaikissa hiukkaskokoluokissa, suhteutettuna päästöjen PM massaan tai tuotettuun energiaan (MJ)

- **Lisääntynyt välitön toksisuus (nekroosi) x 3-10**
- **Lisääntynyt ohjelmoitu solukuolema**
- **Merkittävä DNA synteesin väheneminen**
- **Lisääntynyt tulehdusvälittäjäainetuotanto x 2-8**
- **Lisääntynyt genotoksisuus**

Monitieteinen yhteistyö pienhiukkastutkimuksessa

Keskeisenä tavoitteena on tunnistaa terveyshaittoja aiheuttavat komponentit eri pienhiukkaskokoluokissa.

- Yhdistää päästöhiukkasten toksisuustutkimus polttolaitteiden päästöjen mittaamiseen ja hiukkasten kemiallisten ominaisuuksien tutkimukseen
- Tuoda toksikologinen terveystutkimus ja testaus kiinteäksi osaksi uusien teknologioiden ja prosessien kehitystyötä.
- Kehittää laajaan mittausaineistoon pohjautuva malli, jolla voidaan ennustaa mm. polttolaitteen, polttotavan ja polttoaineen vaikutus biomassan polton päästöihin, hiukkasten kemiaan ja terveysriskejä kuvaaviin indikaattoreihin
- Tärkeitä hankkeita: Puun pienpolton, bioenergiatuotannon, liikenteen terveysvaikutukset

Monitieteinen yhteistyö

KANTIVA



KUOPION YLIOPISTO



TERVEYDEN JA
HYVINVOINNIN LAITOS

Ympäristötieteen laitos:

Prof. Maija-Riitta Hirvonen (UKU/THL)

Prof. Jorma Jokiniemi (UKU/VTI)

Dos. Jorma Joutsensaari

Dos. Pertti Pasanen

Dos. Raimo Salonen

Dos. Jouni Tuomisto

Dos. Timo Lanki

Fysiikan laitos:

Prof. Kari Lehtinen (UKU/FMI)

Toksikologian laitos

Prof. Kirsi Vähäkangas

Kansanterveystieteen laitos:

Prof. Juha Pekkanen (UKU/THL)

Kuopion yliopistollinen keskussairaala

Prof. Hannu Tukiainen

KANTIVA