



ILMATIETEEN LAITOS

*Projektisuunnitelma*  
(päivitetty 7.2.2011)

## **Polttoperäisten päästöjen ja nanohiukkasten haitallisuuden määrittäminen uudella tutkimusmenetelmällä (POPE)**

Rinnakkaishanke

### **Osallistuvat tutkimustahot ja projektin vastuuhenkilöt**

**Jorma Jokiniemi**, professori

Itä-Suomen yliopisto (UEF), Ympäristötieteen laitos, Pienhiukkas- ja aerosoliteknologian laboratorio

**Maija-Riitta Hirvonen**, professori

Itä-Suomen yliopisto (UEF), Ympäristötieteen laitos, Inhalaatiotoksikologian laboratorio

**Kari Lehtinen**, professori

Ilmatieteen laitos (IL), Kuopion yksikkö

### **Osallistuvat yritystahot**

Ecocat Oy, Vihtavuori

Energiateollisuus ry

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Tulikivi Oyj, Juuka

MW Biopower Oy, Kiuruvesi

Symo Oy, Kuopio

Savon Voima Oyj, Kuopio

## 1 Projektin tarve

Energiantuotanto ja liikenne tuottavat pienhiukkas- ja kaasupäästöjä, joiden koostumus ja pitoisuudet vaihtelevat erilaisten polttolaitosten, polttolaitteiden ja polttoaineiden välillä. Erityisesti biomassan poltossa vaihtelu on suurta: Suurimpien polttolaitosten ominaispäästöt ovat alhaisia johtuen tehokkaista puhdistustekniikoista, mutta pienet laitokset ovat erityisesti hiukkasten osalta merkittäviä päästölähteitä suhteessa tuotettuun energiaan (Sippula et al., 2007; Ohlström et al., 2000). Lisäksi pienpolton ja liikenteen matala päästökorkeus lisää altistumista palamisperäisille ilmansaasteille pientaloalueilla ja liikenneväylien läheisyydessä.

Uutta tutkimustietoa tarvitaan palamisperäisten päästöjen vähentämismahdollisuuksista perustuen kokeelliseen tutkimukseen pienhiukkasten fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista ja niihin liittyvistä terveysvaikutuksista. Tämä on erityisen tärkeää, koska ilmansaasteita pidetään ihmisen terveydelle haitallisimpana ympäristöaltisteena. Huoli ilmansaasteiden terveysriskeistä on entisestään korostumassa, sillä lähivuosina sekä kansallisesti että koko EU:n alueella merkittävästi lisääntyvä bioenergian tuotanto ja käyttö voi lisätä pienhiukkaspäästöjä. Myös uudet polttotekniikat ja päästöjen jälkikäsittelytekniikat muuttavat päästöjen ominaisuuksia tuntemattomaan suuntaan. Tämä koskee erityisesti pienpolttoa ja pieniä bioenergialaitoksia. Pelkän päästömäärän perusteella terveysriskejä ei kuitenkaan voida ennustaa, sillä päästöistä muodostuneilla kemiallisilla yhdisteillä voi olla odottamattomia yhteisvaikutuksia. Lisäksi uusien materiaalien, kuten nanohiukkasten, voimakkaasti kasvava käyttö esim. erityispinnoitteissa, materiaaleissa ja autoteollisuudessa aiheuttaa kasvavaa huolta niiden mahdollisista terveyshaitoista.

Kansainvälisen suuntauksen mukaisesti on selvää että jatkossa toksikologinen terveystutkimus tulee olemaan kiinteä osa uusien, terveydelle turvallisten teknologioiden ja prosessien kehitystyötä. Tämä edellyttää monialaista tutkimusympäristöä, jossa voidaan luotettavasti kokeellisesti tutkia päästöjen haitallisuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä perustuen niiden fysikaalis-kemiallisiin ja toksikologisiin ominaisuuksiin.

Hankkeen tarvetta korostaa olemassa oleva EU:n REACH lainsäädäntö (esim. nanohiukkaset) sekä kehitteillä oleva muu kansallinen ja kansainvälinen lainsäädäntö, joiden tavoitteena on suojella väestöä hengittävien altisteiden terveyshaitoilta. Saksassa on jo tullut voimaan vuoden 2010 alusta aikaisempaa tiukemmat päästöraajat hiukkasille, häkäpitoisuuksille ja hyötysuhteelle. Hiukkasille raja on nyt  $75 \text{ mg/m}^3$ , mutta v. 2015 alusta se tiukenee edelleen ja tulee olemaan  $40 \text{ mg/m}^3$  ja pellettipoltolle  $20\text{--}30 \text{ mg/m}^3$ . Saksassa tulee voimaan myös vanhojen tulisijojen vaihto-ohjelma porrastetusti alkaen 2014 niille tulisijoille, jotka eivät täytä määräyksiä. Myös EU valmistelee direktiiviä (Directive 2009/125/EC) pienpolttolaitteiden päästöille ja siinä suunnitellut rajat vastaavat melko tarkasti Saksan jo asettamia rajoja. EU direktiiviin ei kuitenkaan sisälly vanhojen pienpolttolaitteiden vaihtovelvollisuutta. Koska EU-direktiivin määräykset tulevat koskemaan myös Suomea, on tärkeää, että suomalaiset alan yritykset pystyvät säilyttämään kilpailukykinsä. Jatkossa lainsäädännössä tullaan kiinnittämään huomiota päästömäärien lisäksi myös niiden terveyshaittoihin. Siten tämä tulee vaikuttamaan polttoaineiden, -laitteiden ja jälkikäsittelytekniikan tuotekehitykseen.

**Hanke toteutetaan uudessa tutkimuslaboratoriossa**, joka liittää olemassa olevat polttotekniikan ja inhalaatitoksikologian laboratoriot kiinteäksi, samassa tutkimushallissa toimivaksi, yhdeksi kokonaisuudeksi. Tämä mahdollistaa erilaisten ilmapäästöjen (biomassojen pienpoltto, liikennepolttoaineet, nanohiukkaset) kemiallisten ja toksikologisten ominaisuuksien sekä syy-seuraus-suhteen selvittämisen todellista altistumista vastaavissa oloissa, sekä auttaa testausmenetelmien kehitystä. Tämän haasteellisen tutkimuksen toteuttamisen mahdollistaa hakijoiden jo vuosia jatkunut monitieteinen yhteistyö aerosoli- ja polttotekniikan, toksikologian ja mallinnuksen alalla Itä-Suomen yliopistokampuksella Kuopiossa sekä laaja koti- ja ulkomaisten

yliopistojen ja tutkimuslaitosten sekä yritysten muodostama yhteistyöverkosto. Ryhmät ovat toteuttaneet useita Tekesin, Suomen Akatemian ja kansainvälisellä rahoituksella olleita hankkeita, joissa on selvitetty mm. biomassan pienpolton ja uusiutuvien moottoripolttoaineiden päästöjä sekä terveyshaittoihin liittyviä toksikologisia vasteita. Tähän mennessä saadut tulokset osoittavat, että päästöjen määrään ja niiden toksikologiaan ominaisuuksiin voidaan selkeästi vaikuttaa polttoainevalinnoilla ja uusimmalla polttotekniikalla.

Pohjois-Savon liitto on teemaohjelmassaan linjannut energia- ja ympäristötekniikan yhdeksi kehittämistarpeeksi t&k-toiminnan toimintaedellytysten kehittämisen ja verkostoitumisen. Alueella toimii merkittäviä sekä alojen t&k:n asiantuntijoita että energiatekniikan tai siihen läheisesti liittyviä alan yrityksiä. Hanke luo alueen yrityksille paremmat kilpailuedellytykset alati kirstuvilla markkinoilla.

## 2 Projektin tavoitteet

Tässä projektissa tutkitaan soodakattilan, hakevoimalaitoksen, pienpolton (tulisija ja arinakattila) päästöjä ja jälkikäsittelytekniikoiden vaikutusta dieselajoneuvon päästöihin sekä päästöjen fysikaalis-kemiallisia ja toksikologisia ominaisuuksia. Lisäksi tutkitaan teollisten nanohiukkasten vastaavia ominaisuuksia.

Projektin tuloksena syntyy uusi kokeellinen tutkimusmenetelmä, jonka avulla voidaan luotettavasti arvioida **päästöjen haitallisuutta ja haitallisuuteen vaikuttavia tekijöitä** perustuen niiden fysikaalisiin ja kemiallisiin sekä toksikologisiin ominaisuuksiin. Näitä tekijöitä ovat mm. polttoaineen laatu, polttolaitteen toiminta ja käyttötapa. Tutkimusmenetelmän avulla voidaan myös verrata poltosta vapautuvien pienhiukkasten ja teollisten nanohiukkasten haitallisuutta keskenään. Uudessa menetelmässä käytettävä laitteisto perustuu alan viimeisimpään osaamiseen ja vastaavanlaisia laitteistoja on maailmassa vain muutamia.

Tutkimus toteutetaan laboratorio-olosuhteissa, missä pystytään simuloimaan todellisia altistusolosuhteita. Aiemmin näytteet päästöjen toksikologisen haitallisuuden tutkimuksia varten on tehty keräämällä hiukkasia suodattimille, joilta ne on uutettu ja tämän jälkeen käytetty solualtistuksiin. Tällöin näytteenkeräyksen ja -käsittelyn aikana osa todennäköisesti vaikuttavista haitallisista tekijöistä häviää (kuten kaasut) tai niiden ominaisuudet muuttuvat (kuten hiukkasten koko, muoto ja kemiallinen koostumus).

### Yksityiskohtaiset tavoitteet:

1. Kehittää malli, jolla voidaan ennustaa polttolaitteen, polttotavan ja polttoaineen vaikutus polton päästöihin, päästöjen kemiaan ja terveysriskejä kuvaaviin indikaattoreihin. Tutkimuskohteena ovat polttoperäiset aerosolit ja nanohiukkaset.
2. Määrittää tutkittavista päästölähteistä kerättävien päästöjen toksiset ominaisuudet ja verrata näitä samojen näytteiden kemialliseen koostumukseen ja päästötietoihin. Tietojen avulla voidaan arvioida eri lähteistä peräisin olevien päästöjen haitallisuutta.
3. Määrittää ilmakehässä tapahuvan laimenemisen ja muutunnan vaikutusta päästön haitallisuudelle kokeellisesti.
4. Verrata nykyisin käytössä olevaa hiukkasmassan suodatinkeräysmenetelmää ja hankkeessa käytettävää uutta suoraa altistusmenetelmää toisiinsa.

### Strategiset tavoitteet:

- Vastata tulevaisuuden lainsäädännön vaatimiin tutkimus- ja tuotekehitystarpeisiin (sisältäen päästöhiukkaset, synteettiset nanohiukkaset, yhdyskuntailman pienhiukkaset).
- Edistää yritystoiminnan kansainvälistä kilpailukykyä ja kansainvälistymistä tarjoamalla erinomaiset puitteet haasteellisten tutkimus- ja kehityshankkeiden toteuttamiseksi.
- Edistää Itä-Suomen alueen omien uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja energiaomavaraisuuden nostamista kestäväällä tavalla.

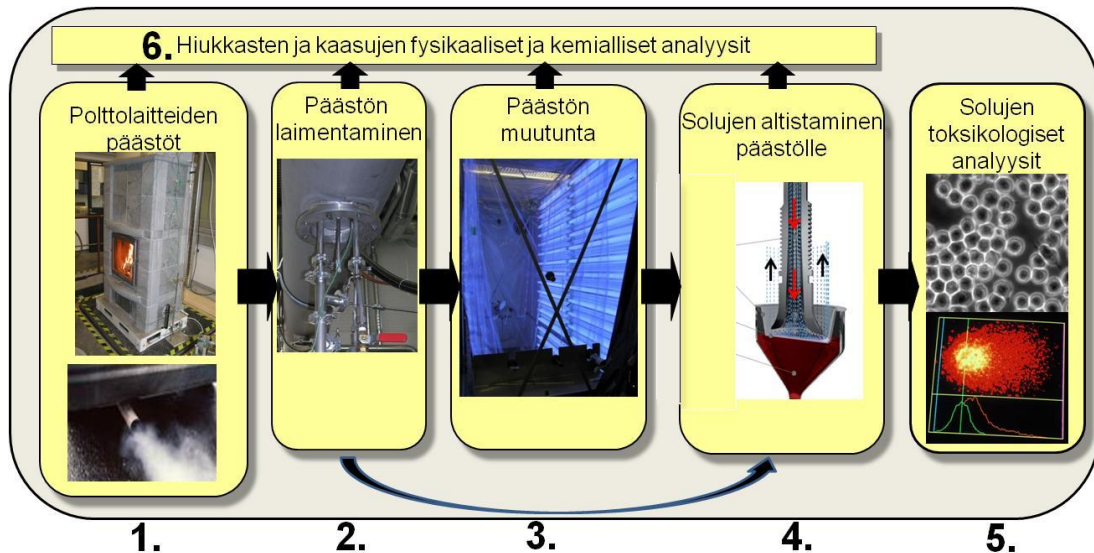
### 3 Projektin toteutus

Projektissa tutkitaan seuraavia polttolaitteistoja ja polttoaineita sekä erilaisia polttotapoja:

<i>Tutkittava laite</i>	<i>Polttotapa</i>	<i>Polttoaine</i>	<i>Ei-ikäännytetty</i>	<i>Ikäännytetty</i>	<i>Suodatinkeräys (perinteinen menetelmä)</i>
<b>Selluteollisuus</b>	Soodakattila	Mustalipeä	X	-	-
<b>Energiantuotanto-laite 1</b>	Hakekattila (aluelämpökoko)	Puu/kuori	X	-	-
<b>Energiantuotanto-laite 2</b>	Arinapoltto (40 kW)	Puu/kuori	X	X	-
<b>Pienpolttolaite: Takka</b>	Panospoltto	Puu	X	X	X
<b>Ajoneuvo</b>	Dieselmoottori ilman jälkikäsitteilyä	Diesel, fossiilinen	X	X	X
<b>Ajoneuvo</b>	Dieselmoottori Jälkikäsitteilyllä	Diesel, fossiilinen	X	X	-
<b>Nanohiukkasgeneraattori</b>	-	-	X	-	-

Lisäksi hankkeessa tutkitaan, miten kokonaispäästö, eri hiukkaskokoluokat ja kaasumaiset yhdisteet vaikuttavat yhdessä ja erikseen tutkittaviin vasteisiin.

**Projekti toteutetaan** käyttäen uutta laitteistoa, jossa hengitystien soluja altistetaan polttolaitteiden ilmapäästöille (Kuva 1). Laitteistossa polttolaitteiden päästöt laimennetaan ja johdetaan muutuntakammioon, joka simuloi ulkoilmassa tapahtuvaa fysikaalista ja kemiallista muutuntaa. Sieltä päästö johdetaan solualtistuslaitteistoon, jossa viljeltyt hengitysteiden solut altistuvat halutuille hiukkasfraktioille tai kaasuille. Solutason vaikutukset määritetään kattavilla toksikologisilla menetelmillä. Vastaavanlaisia testauksia voidaan tehdä teollisuudessa tuotetuille nanohiukkasille. Soluista määritetyt toksikologiset vasteet voidaan yhdistää päästöstä määritettäviin fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin.



Kuva 1. Itä-Suomen yliopiston polttotutkimuslaboratoriossa sijaitseva tutkimuslaitteisto ilmapäästöjen haitallisuuden arviointia varten. Laitteistokokonaisuuden vaiheet: 1. Palamisperäisten päästöjen tuottaminen, 2. Päästöjen laimentaminen, 3. Päästöjen ikäännyttäminen muutentakammiossa, 4. Solujen altistaminen päästössä oleville aerosoleille, 5. Solujen toksikologinen karakterisointi ja 6. Päästöjen fysikaaliset ja kemialliset analyysit.

**Hankkeen toteutuksessa käytettävän menetelmän eri vaiheet on kuvattu seuraavassa:**

#### **Vaiheet 1 ja 2: Palamisperäisten päästöjen ja nanohiukkasten tuottaminen ja laimentaminen**

Vastuuhenkilö: Professori Jorma Jokiniemi (UEF), Pienhiukkas- ja aerosoliteknologian laboratorio

Puunpolton päästöt tuotetaan kontrolloidusti uudella polttoreaktorilla, joka koostuu arinapoltimesta, tulipesästä ja lämmönvaihtimesta. Reaktorilla simuloidaan polttotapahtumia pienpoltosta suuren luokan voimalaitoksiin ja erilaisia palamisoloja täydellisestä palamisesta hyvinkin epätäydelliseen palamiseen. Näitä normaalisti hyvinkin lyhytkestoisia tapahtumia (mm. panospoltossa) voidaan ylläpitää uudella reaktorilla jatkuvatoimisesti ja pitkäkestoisesti, mikä mahdollistaa kunkin polttotapahtuman ja palamisen vaiheen entistä tarkemman tutkimuksen. Lisäksi tutkitaan ilmajaon vaiheistuksella varustetun takan päästöjä.

Ajoneuvojen päästöjä tuotetaan sekä RotoTest alustadynamometrillä, jolla voidaan tutkia ajoneuvojen päästöjä tasaisen kuorman ja kiihdytyksen tilanteissa, sekä ISO 8178 standardin mukaan rakennetussa testipenkissä. Ajoneuvojen päästöjä sekä erilaisten jälkikäsittelytekniikoiden (esim. hiukkassuodatin DPF) vaikutusta päästöihin tutkitaan kytkemällä ajoneuvo alustadynamometriin (max. 350 kW, 2000 Nm, 350 km/h) ja ottamalla näyte ennen jälkikäsittelyä (esim. katalysaattori tai hiukkassuodatin) ja sen jälkeen. Näytteistä määritetään jälkikäsittelymättömän ja jälkikäsittelyn päästön hiukkasmuodostuspotentiaali sekä terveysvaikutukset.

Päästöjen laimentamiseen käytetään erilaisten laimennusmenetelmien yhdistelmiä (kokonais-/osalaimennus; lämmin/kylmä; laimennustunneli, ejektorilaimennin, huokoisputkilaimennin) simuloimaan ilmakehässä tapahtuvia laimenemisprosesseja.

Nanohiukkasia tuotetaan laminaarivirtausreaktorilla (Sippula et al., 2009). Tuotettavat hiukkaset ovat mm. KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ZnO, ZnCl<sub>2</sub>.

Prosessiperäisiä hiukkasia tutkitaan uudelleenpölyttämällä soodakattilalaitoksen ja energiantuotantolaitosten sähkösuodattimelta kerättyä pölyä.

### **Vaihe 3: Palamisperäisten päästöjen ikäännyttäminen**

Vastuuhenkilö: Professori Kari Lehtinen (IL), Kuopion yksikkö

Valittujen päästölähteiden laimennettu päästö johdetaan muutuntakammioon (Teflon, tilavuus 25 m<sup>3</sup>), jossa se altistetaan ultraviolettivalolle ja otsonille. Päästöhiukkasten ja kaasufaasin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet muuttuvat jäljitellen ulkoilman normaalia säteilyvaihtelua. Kammion olosuhteita muuttamalla voidaan jäljitellä ulkoilman normaalia säteilyvaihtelua. Kammio puhdistetaan kokeiden välillä huolellisesti. Päästön ikääntymisen (0–6 h) aikana kammioista mitataan jatkuvatoimisesti hiukkasia (aerosolihiukkasten kokojakauma, massa- ja lukumääräpitoisuus ja kemiallinen koostumus), kaasujen pitoisuuksia (NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) ja olosuhteita (lämpötila, suhteellinen kosteus, säteily). Ikääntyneelle aerosolille määritetään alkuperäisen (primäärin) aerosolin, alkuperäisiin hiukkasiin muodostuneen (sekundäärin) orgaanisen aerosolin sekä kammiossa muodostuneiden aerosolihiukkasten osuudet kokonaisu-aerosolista lähdetiedoksi solualtistukselle. Ikääntymiskokeiden perusteella määritetään kunkin valitun päästön hiukkasmuodostumispotentiaali.

### **Vaihe 4. Solujen altistaminen**

Vastuuhenkilö: Professori Maija-Riitta Hirvonen (UEF), Inhalaatiotoksikologian laboratorio

Solualtistukset tehdään johtamalla tutkittavat päästöt muutuntakammioista linjastoja pitkin Vitrocell-laitteistoon. Altistuksissa käytetään hiiren ja ihmisen hengitysteiden puolustusjärjestelmän soluja, jotka ovat olennaisia hengitettävälle päästöille altistuttaessa. Laitteistossa soluja altistetaan suoraan hiukkas- ja kaasumaisille päästöille matalassa näytevirtauksessa tarkoitusta varten valmistetuissa moduleissa. Ennen kokeita solut kasvatetaan ensin 6-kuoppalevyille asetettavissa siirteissä. Siirteet asetetaan altistuksia varten keräysjärjestelmän moduleihin, jossa on soluille suotuisat olosuhteet. Altistuksen (1/2-3 h) jälkeen siirteissä kasvavat solut laitetaan kuoppalevyille hiilidioksidinkubaattoriin halutuksi ajaksi. Laitteistossa voidaan tutkia ja testata kokonaispäästöjen, sekä eri hiukkaskokoluokkien ja kaasumaisten yhdisteiden roolia käynnistyvissä terveyshaittoihin liittyvissä toksikologisissa vasteissa. Tätä uutta suora-altistusmenetelmää verrataan perinteiseen keräysmenetelmään, jossa hiukkaset on kerätty ensin suodattimille, uutettu niiltä ja vasta tämän jälkeen käytetty solujen altistamiseen. Kaikista näytteistä tehdään kattavat toksikologiset analyysit, joiden tuloksia verrataan samojen näytteiden kemiallisiin koostumuksiin.

### **Vaihe 5. Päästöjen toksikologiset analyysit**

Vastuuhenkilö: Professori Maija-Riitta Hirvonen (UEF), Inhalaatiotoksikologian laboratorio

Solukokeista tehtävät toksikologiset analyysit kattavat keskeisiä terveyshaittojen mekanismeja, mukaan lukien tulehdukselliset, solukuolemaa aiheuttavat, perimämyrkylliset ja hapettavan stressin mekanismit. Sydän- ja hengityselinsairauksiin liittyviä tulehdusvälittäjäaineita tutkitaan spektrofotometrisellä ELISA-menetelmällä sekä uudella käyttöönotettavalla elektrokemiluminesenssiin perustuvalla ”multiplexing” menetelmällä, joilla voidaan mitata samanaikaisesti pienestä näytemäärästä useita erilaisia välittäjäaineita. Käytettävät ”multiplexing” tekniikat edustavat alan uusinta kehitystä ja avaavat uusia tutkimusmahdollisuuksia erilaisten päästöjen toksikologiassa. Altistuksen aiheuttamaa hapettavaa stressiä, johon liittyy solunsisäisen happiradikaalituotannon nousu ja joka johtaa solukuolemaan, DNA vaurioihin sekä tulehdusreaktioon, tutkitaan virtausytometrillä sekä spektro- fluoro- ja luminometrisillä menetelmillä. Solukuolema määritetään useilla eri menetelmillä mukaan lukien apoptoosi/nekroosi (PI-värjäys, virtausytometri, MTT) ja solusyklin muutokset (PI-värjäys, virtausytometri) sekä ”multiplexing” tekniikalle kehitettävät menetelmät. Syöpäriskiinkin liittyvää perimämyrkyllisyyttä tutkitaan ”Comet assay” menetelmällä, joka mittaa DNA:n juostekatkoksia ja niihin johtavia DNA-vaurioita solutasolla.

## Vaihe 6. Hiukkasten ja kaasujen fysikaaliset ja kemialliset analyysit

Vastuuhenkilö: Professori Jorma Jokiniemi (UEF), Pienhiukkas- ja aerosoliteknologian laboratorio

Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että mm. PAH yhdisteillä, metalleilla, noella ja hiukkaskoolla on yhteys niiden toksikologisiin vasteisiin ja sitä kautta ihmisten terveyteen (Jalava ym. 2010). Näytteistä mitataan seuraavat ominaisuudet: Massakokojakauma (DLPI, DGI), lukumääräkokojakauma (SMPS, FMPS, ELPI), massa (TEOM, suodattimet), lukumäärä (CPC, elektrometri), orgaaninen ja epäorgaaninen hiili (Thermal-optical method), PAH (GC-MS), kaasut (FID, FTIR, kaasuanalysointorit) ja epäorgaaniset aineet (ICP-MS, XRF, PIXE, SEM/EDX, XRD).

## Vaihe 7. Mallintaminen

Vastuuhenkilö: Professori Kari Lehtinen (IL), Kuopion yksikkö

Sekä koelaitteiston eri vaiheissa että ulkoilmassa todellisissa olosuhteissa tapahtuu prosesseja, jotka muuttavat päästön olomuotoa ja ominaisuuksia. Laimentuessaan ja jäähtyessään päästön kaasukomponentit voivat reagoida keskenään muodostaen toisia tiivistymiskykyisiä kaasuja tai tiivistyä itse hiukkasten pinnoille. Ne voivat myös muodostaa uusia hiukkasia. Hiukkaset voivat törmäillä keskenään, jolloin niiden pitoisuus pienenee ja keskikoko kasvaa. Ne voivat lisäksi kiinnittyä koelaitteiston kammioiden tai linjojen seinille tai luonnossa maanpinnalle, kasvillisuuteen tai rakennusten seiniin. Nämä prosessit voivat muuttaa merkittävästi päästön kaasujen ja/tai hiukkasten kemiallista koostumusta sekä hiukkasten pitoisuutta ja kokojakaumaa.

Mallinnuksella on kolme päätavoitetta: 1. ymmärtää ja kvantitoida koelaitteistossa tapahtuvat päästöjen olomuotoon ja ominaisuuksiin vaikuttavat prosessit, 2. kehittää työkalu, jolla solualtistuskammiossa soluihin päätyvä annos saadaan ennustettua, kun päästön ominaisuudet ja laitteiston yksityiskohdat/säädöt tunnetaan, ja 3. optimoida koelaitteisto vastaamaan mahdollisimman hyvin todellisia olosuhteita.

Projektikonsortion toimesta on aiemmin kehitetty menetelmiä hiukkasten koko- ja koostumusjakaumien dynamiikan kuvaamiseen eri sovelluskohteisiin (Korhonen ym. 2004; Kokkola ym. 2008). Tässä hankkeessa yhdistetään hiukkasmalli, kemiallisia reaktioita kuvaava malli ja virtausmalli yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin hiukkasten dynamiikka ja muutonta laboriolaitteiston kaikissa osissa saadaan mahdollisimman hyvin kuvattua.

## 4 Projektin aikataulu

Hankeaika: 1.1.2011 - 31.12.2013. Hankkeen toteuttaminen ajoittuu seuraavasti:

Hankkeen aikataulu	2011				2012				2013			
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Laitteiston testaaminen ja validointi												
Dieselajoneuvo												
Arinapoltto												
Panospoltto												
Soodakattila												
Hakekattila												
Mallintaminen												
Tulosten käsittely ja raportointi												

Projektin tarkastuspisteinä toimivat ohjausryhmän kokoukset, jotka järjestetään vuosittain touko- ja marraskuussa (kk 5, 11, 17, 23, 29 ja 35).

## 5 Projektin voimavarat

### 5.1 Projektiryhmä

Hankkeeseen osallistuvat tutkimusryhmät edustavat alansa huipputasoa Euroopassa. Ne ovat koordinoineet ja osallistuneet useisiin Euroopan Unionin puiteohjelmien kansainvälisiin tutkimushankkeisiin sekä Suomen Akatemian ja Tekesin rahoittamiin ohjelmiin, hankkeisiin ja tutkimuksen huippuyksiköihin.

**1) Itä-Suomen yliopisto (UEF):** ympäristötieteen laitos, Pienhiukkas- ja aerosoliteknologian laboratorio, Kuopion kampus

**Jorma Jokiniemi, FT, professori** (pitkä kokemus hiukkasten ja kaasujen mittaamisesta, palamisesta, ja mallinnuksesta)

Olli Sippula, FT, erikoistutkija (hiukkaspäästömittausten suunnittelu)

Jarkko Tissari, FT, erikoistutkija (hiukkaspäästömittausten suunnittelu ja skenaariot)

Kari Kuuspallo, FM, tutkija (dieselajoneuvomittaukset)

Kati Nuutinen, FM, tutkija (PAH-yhdisteiden päästöjen mittausta)

Heikki Lamberg, FM, tutkija (päästömittaukset)

**2) Itä-Suomen yliopisto (UEF):** ympäristötieteen laitos, Inhalaatiotoksikologian laboratorio, Kuopion kampus

**Maija-Riitta Hirvonen, FT, professori** (pitkä kokemus toksikologisista solu- ja eläinkokeilla)

Pasi Jalava, FT, erikoistutkija (Uuden solualtistusmenetelmän käyttöönotto ja kokeiden suunnittelu)

Maija Tapanainen, FM, tutkija (toksikologiset kokeet, tulehdus, solutoksisuus- ja happiradikaalitutkimus)

Oskari Uski, FM tutkija (toksikologiset kokeet, hapettavan stressin ja solukuoleman tutkimus)

Jorma Mäki-Paakkanen, FT, erikoistutkija (genotoksikologian asiantuntija)

**3) Ilmatieteen laitos (IL):** Kuopion yksikkö

**Kari Lehtinen, TkT, professori** (pitkä kokemus aerosolimallintamisesta)

Jim Smith, PhD, professori (ilmakemiallinen asiantuntemus kammiomittauksista)

Ari Leskinen, FT, erikoistutkija (aerosolihiukkasten muutuntakokeet, aerosolimittaukset)

Mika Komppula, FT, ryhmäpäällikkö (aerosolimittaukset)

Harri Kokkola, FT, dosentti (ilmakehäprosessien mallintaminen)

Emmi Laukkanen, DI, tutkija (kammiokokeiden mallintaminen)

### 5.2 Kansainvälinen yhteistyö ja kotimaiset verkostot

Ryhmillä on laajat, oman alan kansalliset ja kansainväliset yhteistyöverkostot. Projekti toteutetaan yhteistyössä Hannoverin Fraunhofer Instituutin (Saksa), Karlsruhen teknillisen Instituutin (KIT, Saksa) ja Paul Scherrer Instituutin (Sveitsi) kanssa. Lisäksi yhteistyötä menetelmänkehityksessä tehdään Lundin ja Uumajan yliopistojen (Ruotsi) kanssa ja päästöjen muutuntaan liittyen National Center for Atmospheric Research (USA) kanssa. KIT (tri. Hans-Rudolf Paur) valmistelee parhaillaan ehdotusta "Helmholzin virtuaaliseksi instituutiksi" aiheesta "biomassan ja jätteenpolton aerosolien muodostuminen, muutunta ilmakehässä ja biologiset vaikutukset" ja Itä-Suomen yliopistosta Hirvosen, Jokiniemen ja Lehtisen konsortiota (Kuopio Center for Aerosol Research KCAR) on pyydetty tähän kansainväliseksi partneriksi.

*Päästöjen toksikologia (Prof. Maija-Riitta Hirvonen):*

Hankkeessa rakennetaan ja validoidaan uusi Hannoverin Fraunhofer Instituutissa Saksassa kehitetty solualtistustilalaitteisto osaksi Itä-Suomen yliopiston polttotutkimuslaboratoriossa sijaitsevaa ilmapäästöjen haitallisuuden tutkimuslaitteistoa. Kyseinen suora solujen ja keuhkokudosten

altistusmenetelmä on kehitetty täydentämään nykyisen kaupallisen Vitrocell-laitteiston ominaisuuksia ja sitä ei ole kaupallisesti saatavana. Tämä uusi teknologia mahdollistaa usean soluviljelmän samanaikaisen altistamisen ja solujen tarkkailun altistuksen aikana sekä altistuksen aiheuttamien vasteiden tarkan ajallisen määrityksen. Lisäksi sen avulla voidaan analysoida sydän – ja keuhdosairauksiin liittyvien hapettavan stressin välittäjäaineita aikasarjana suoraan altistuslevyltä epifluoresenssimikroskopian avulla.

Tämä sovittu yhteistyöprojekti Hannoverin Fraunhofer instituutin (tri. Jan Knebel) kanssa toteutetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa FT Pasi Jalava tekee n. 6 kk:n tutkijavaihtovierailun Hannoveriin, jona aikana hän perehtyy ja opettelee laitteiston käytön ja siellä olevat sovellukset (nanohiukkaset). Toisessa vaiheessa ko. saksalaisesta laboratorion tutkija tulee vierailulle Kuopioon ja samanlainen laitteisto rakennetaan ja räätälöidään osaksi täällä olevaa päästöjen tutkimuslaboratoriota. Laitteisto sovelletaan mm. poltto- ja liikenneperäisille päästöille sekä nanohiukkasille. Yhteistyön tuloksena Suomeen tuodaan uutta kansainvälisesti ainutlaatuista terveystutkimuksen teknologiaa ja uusia polton päästöjen tutkimussovelluksia. Hankkeen yhteistyösopimuksen valmistelu on käynnissä, ja sopimus on tarkoitus allekirjoittaa vuoden 2010 loppuun mennessä.

*Agglomeraattihiukkasten ominaisuudet (Prof. Jorma Jokiniemi):*

Pien- ja nanohiukkaset muodostavat tyypillisesti agglomeraatteja, jotka koostuvat niistä pienemmistä primaaripalloista (mm. noki ja nanomateriaalit). Agglomeraatit voivat hajota ilmapirtauksissa ja tällä on suuri merkitys tutkittaessa solujen toksikologisia vasteita hiukkasaltistuksessa. Yhteistyössä Paul Scherrer (Sveitsi) instituutin kanssa on rakennettu laitteisto, jolla voidaan tutkia agglomeraattien hajoamista erilaisissa virtausolosuhteissa. Tutkija Mika Ihalainen toimii vierailevana tutkijana Paul Scherrer instituutissa (tri. Salih Gyntau) kolmen vuoden ajan tutkien agglomeraattien hajoamista. Tuloksia hyödynnetään tässä projektissa solualtistuksen yhteydessä. Lisäksi agglomeraattien muodostumista tutkitaan Hannoverin Fraunhofer instituutin (tri. Wolfgang Koch) kanssa.

*Päästöjen muutunta (Prof. Kari Lehtinen):*

Yhteistyötä tehdään prof. Jim Smithin tutkimusryhmän kanssa, National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA. Prof. Smith on Itä-Suomen yliopistossa kesään 2011 saakka vierailevana professorina, jonka jälkeen hän palaa USA:aan. Hänellä on pitkä kokemus kokeellisesta päästöjen muutuntatutkimuksesta. Prof. Smith on mukana muutuntakammion pystytys- ja testausvaiheessa sekä myöhemmin osallistuu hankkeessa tehtäviin kammiotutkimuksiin kiinteässä yhteistyössä.

Hanke kohdistuu Pohjois-Savon Energia- ja ympäristöteknologian-teemaohjelman *Energiateknologian ja Biopolttoaineiden tuotanto, käyttö ja jalostus* painopistealoille. Hanke kuuluu myös Itä-Suomen yliopiston koordinoimaan KANTIVA *Bioenergian tuotannon ja käytön vaikutukset* -tutkimuskeskukseen ja kohdistuu sen keskeisiin strategisiin tavoitteisiin. Tutkimusryhmät kuuluvat Ilmasto, ilmanlaatu ja terveys (IIT) –teknologiaverkostoon, joka on valtakunnallisen osaamiskeskusohjelman (OSKE) ympäristöteknologiaklusterin yksi kärkihanke.

## **6 Hankkeen kustannusarvio ja rahoitussuunnitelma**

Hankkeen kokonaiskustannukset ovat **840 000 €** Alla on yksityiskohtainen erittely hankkeeseen osallistuvien organisaatioiden kustannuksista ja rahoitussuunnitelmista.

## Kustannusarvio

### Koko hankkeen kustannusarvio (€)

Kustannuslaji	2011	2012	2013	Yhteensä
Palkat	78 000	79 500	71 100	228 600
Henkilösivukustannukset	39 155	39 924	35 941	115 020
Yleiskustannukset	114 372	116 539	103 762	334 672
Matkat	9 000	11 500	10 322	30 822
Aineet ja tarvikkeet	51 000	32 000	27 276	110 276
Ostettavat palvelut	4 000	4 000	4 000	12 000
Laitteistot	6150	1 230	1 230	8 610
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>301 677</b>	<b>284 693</b>	<b>253 631</b>	<b>840 000</b>

### Itä-Suomen yliopiston Pienhiukkas- ja aerosolitekniiikan laboratorio työosuuden kustannusarvio (€).

Projektissa työskentelevät tutkijatohtori ja projektitutkija. Yksilöidyt kulut ovat seuraavat:

Matkat: näytteenkeräysmatkat; kv. konferenssit

Aineet ja tarvikkeet: Polttoaineet, kemikaalit ja reagenssit, kalibrointikaasut, analysaattorien kuluvat osat, Ostettavat palvelut: Kemiaalliset analyysit toteutetaan pääosin ostettavina palveluina Labtiumista

Kustannuslaji	2011	2012	2013	Yhteensä
Palkat	25500	25500	23000	74000
Henkilösivukustannukset (48 %)	12240	12240	11040	35520
Yleiskustannukset (102 %)	38495	38495	34721	111710
Matkat	5000	5000	4000	14000
Aineet ja tarvikkeet	13000	11000	8770	32770
Ostettavat palvelut (kemialliset analyysit)	4000	4000	4000	12000
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>98235</b>	<b>96235</b>	<b>85531</b>	<b>280000</b>

### Itä-Suomen yliopiston Inhalaatiotoksikologian laboratorion työosuuden kustannusarvio (€).

Projektissa työskentelee erikoistutkija. Yksilöidyt kulut ovat seuraavat:

Matkat:

- Matkakuluja erikoistutkija Pasi Jalavan tutkijaliikkuvuudesta Hannoveriin (Saksa); lennot, kohtuulliset majoitus- ja muut kulut
- Alan kansainväliset konferenssimatkat.

Aineet ja tarvikkeet:

- Altistus: soluultistustilanteiston kuluvat osat, solulinjat, soluviljelyreagenssit, kaasut
- Toksikologiset analyysit : analyysikitit tulehduksen-, oksidatiivisen stressin ja solukuoleman markkereille, reagenssit genotoksikologisiin analyysihin, kaasut sekä tarvittavat muut reagenssit ja laboratorion kulutustarvikkeet.

Matkat

Kustannuslaji	2011	2012	2013	Yhteensä
Palkat	28 000	28 800	22 200	79 000
Henkilösivukustannukset (48 %)	13 440	13 824	10 656	37 920
Yleiskustannukset (102 %)	42 269	43 476	33 513	119 258
Matkat	4 000	4 000	3 822	11 822
Aineet ja tarvikkeet	12 000	10 000	10 000	32 000
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>99 709</b>	<b>100 100</b>	<b>80 191</b>	<b>280000</b>

### Ilmatieteen laitoksen työosuuden kustannusarvio (€). Projektissa työskentelee erikoistutkija.

Yksilöidyt kulut ovat seuraavat:

Matkat: Matkakulut yhteistyöorganisaatioon sekä alan keskeiseen kansainvälisiin kongresseihin

Aineet ja tarvikkeet: muutuntakammiosta lähtevät ja tulevat linjastot ja linjastoon kuuluvat liittimet ja

venttiilit; vuosittain uusittava Tefloninen muutuntakammio; muutuntakammiohuoneen alumiinipinnoite; langaton tiedonkeruujärjestelmä ja tietokoneita muutuntakammion prosessin seurantalaitteille  
Laitteostot: kalibraattori pienille virtauksille; yleismittarit (lämpötila-, kosteus ja paineanturit)

Kustannuslaji	2011	2012	2013	Yhteensä
Palkat	24500	25200	25900	<b>75600</b>
Henkilösivukustannukset (55 %)	13475	13860	14245	<b>41580</b>
Yleiskustannukset ( 88,5 %)	33608	34568	35528	<b>103704</b>
Matkat	0	2500	2500	<b>5000</b>
Aineet ja tarvikkeet	26000	11000	8506	<b>45506</b>
Laitteostot	6150	1230	1230	<b>8610</b>
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>103733</b>	<b>88358</b>	<b>87909</b>	<b>280000</b>

### Rahoitussuunnitelma

Koko hankkeen rahoitussuunnitelman osuudet eri rahoittajien kesken vuosille 2011-2013 ovat:  
 Tekes 70 %, yritykset 5 %, organisaatioiden oma rahoitus 25 %.

### Koko hankkeen rahoitussuunnitelma (€)

Rahoittaja	€
Tekes (70 %)	588000
Yritykset (5 %)	42000
Itä-Suomen yliopisto (16,67 %)	140000
Ilmatieteen laitos (8,33%)	70000
<b>Yhteensä</b>	<b>840000</b>

### Yritysrahoituksen muodostuminen:

Yritys	€
Energiateollisuus ry	15000
Soodakattilayhdistys	15000
Tulikivi Oyj	9000
Symo Oy	3000
<b>Yhteensä</b>	<b>42000</b>

### Muu yritystuki

- Ecocat Oy, jälkikäsittelylaitteet ja -järjestelmät (ml. suunnittelu, raaka-aineet ja valmistus) sekä työpanos, arvo 10000 €
- Savon Voima Oyj, työpanos (noin 3 henkilötyöpäivää näytteenottoon valittujen tuotantolaitosten tuhkapäästöistä), arvo 1000 €
- Symo Oy, työpanos, arvo 3000 €
- Tulikivi Oyj, *tulisijan toimitus tutkimuksiin (neuvottelut käynnissä)*

Itä-Suomen yliopiston Pienhiukkas- ja aerosolitekniiikan laboratorion työosuuden rahoitussuunnitelma (€)

Rahoittaja	€
Tekes (70%)	<b>196000</b>
Yritykset (5%)	<b>14000</b>
Itä-Suomen yliopisto (25 %)	<b>70000</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>280000</b>

Itä-Suomen yliopiston Inhalaatiotoksikologian laboratorion työosuuden rahoitussuunnitelma (€)

<b>Rahoittaja</b>	<b>€</b>
Tekes (70%)	<b>196000</b>
Yritykset (5%)	<b>14000</b>
Itä-Suomen yliopisto (25 %)	<b>70000</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>280000</b>

Ilmatieteen laitoksen työosuuden rahoitussuunnitelma (€)

<b>Rahoittaja</b>	<b>€</b>
Tekes (70%)	<b>196000</b>
Yritykset (5%)	<b>14000</b>
Ilmatieteen laitos (25 %)	<b>70000</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>280000</b>

## 7 Projektin riippuvuudet

Haettava projekti liittyy olennaisesti v. 2010-2011 käynnissä olevaan EAKR infrastruktuurin vahvistamishankkeeseen 'Ilmansaasteiden haitallisuuden tutkimus- ja testauslaitteisto'. Hankkeessa rakennetaan 25 m<sup>3</sup> muutuntakammio ja linjat päästölähteen laimennuslinjastosta muutuntakammioon ja sieltä edelleen solujen altistuskammioon. Hankkeessa ostetaan kaupallinen solujen altistuslaitteisto, jota tullaan jatkokehittämään kansainvälisten yhteistyökumppanien kanssa sekä useita muita mittalaitteita mm. kaasujen ja hiukkasten mittauksia varten. Lisäksi hankkeessa tehdään mittavia tilojen muutostöitä: mm. muutuntakammioille on rakennettu tutkimushalliin toinen kerros ja solujen altistamista ja analyysijä varten on rakennettu korkeat laatukriteerit täyttävä puhdas tila. Hankkeen rahoitus kattaa vain investointi- ja rakentamiskuluja.

Lisäksi hanke liittyy mm. alla listattuihin käynnissä oleviin kansainvälisiin ja kotimaisella rahoituksella oleviin hankkeisiin. Nämä hankkeet tukevat tämän hakemuksen hanketta, mutta ovat siitä selkeästi erillisiä. Niissä tehtävät toksikologiset analyysit on tehty solualtistuksista, joissa solut on altistettu suodattimelta uutetuille hiukkasnäytteille.

- ERA-NET Biohealth: Tutkitaan biomassan polton päästöjen fysikaalis-kemiallisia ja toksikologisia ominaisuuksia.
- Heatox: Grazin yliopiston kanssa yhteistyössä selvitetään eri polttolaitteiden päästöjen fysikaalis-kemiallisia ja toksikologisia ominaisuuksia solu- ja eläinkokeilla.
- Nanopoltto: Selvitetään nanokokoisten lisäaineiden hyödyntämismahdollisuuksia polttoaineiden tuhka-aineista aiheutuvien ongelmien vähentämisessä.
- Bioher (Suomen Akatemia): Tutkitaan mm. suurten aluelaitosten ja raskaanpolttoöljyn päästöjen toksikologisia haittoja.
- Starship (Suomen Akatemia): Tutkitaan eri energiatuotantovaihtoehtojen hyvyttä huomioiden kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi myös terveysvaikutukset.

## 8 Riskien tunnistaminen ja niihin varautuminen

- Muutuntakammion kontaminaatio-ongelmat. Kammion kontaminaatioastetta seurataan käyttäen tunnettua reaktiota. Kun mitattu vaste kammiossa muuttuu selvästi ja kontaminaatiotaso todetaan häiritseväksi, Teflon-kammio vaihdetaan uuteen vastaavaan.
- Solualtistusvaiheeseen liittyvä kontaminaatoriski. Laboratorio on ylipaineinen ja se täyttää steriilin työskentelyn vaatimukset. Lisäksi kontaminaatiota seurataan jatkuvien tausta-analyysien.
- Projektin toteuttaminen vaatii kolmen ryhmän välistä saumatonta yhteistyötä. Yhteistyötä edistetään pitämällä projektipalavereja sekä säännöllisen aikataulun mukaan että tämän lisäksi

aina tarpeen vaatiessa. Lisäksi yhteishenkeä vahvistetaan vapaamuotoisin lounain ja illallisin.

## 9 Projektin tulosten hyödyntäminen

Projektista saatavien tulosten avulla voidaan arvioida eri lähteistä peräisin olevien päästöjen haitallisuutta sekä saada tietoa siitä, mitkä tekijät vaikuttavat haitallisten komponenttien esiintymiseen päästöissä ja miten haitallisten komponenttien määrään voidaan vaikuttaa. Näin projektissa mukana olevat yritykset voivat ennakoida lähitulevaisuudessa tiukentuvia päästömääräyksiä omassa tuotekehitystoiminnassaan, mikä parantaa paitsi mukana olevien yritysten, niin jatkossa myös muiden yritysten kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla. Markkinointihyötyä saavutetaan jo projektin aikana ja se on maksimaalinen välittömästi projektin päättyttyä.

## 10 Viitteet

- Jalava PI, Salonen RO, Hytönen K, Pennanen AS, Happonen MS, Markkanen P, Tissari J, Frey A, Hillamo R, Jokiniemi J, Hirvonen M-R. (2010). Effect of combustion condition on cytotoxicity and inflammatory responses induced by residential wood combustion particles, *Atmospheric Environment* 44, 1691-1698.
- Kokkola H., H. Korhonen, K. E. J. Lehtinen, R. Makkonen, A. Asmi, S. Järvenoja, T. Anttila, A.-I. Partanen, M. Kulmala, H. Järvinen, A. Laaksonen, and V.-M. Kerminen (2008) SALSA – a Sectional Aerosol module for Large Scale Applications. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8, 2469-2483.
- Korhonen, H., Lehtinen, K. E. J. and Kulmala, M. (2004) Multicomponent aerosol dynamics model UHMA: model development and validation. *Atmos. Chem. Phys.*, 4, 757-771, 2004
- Ohlström, O.M., Lehtinen, K.E.J., Moisio, M., Jokiniemi, J.K. (2000) Fine-particle emissions of energy production in Finland. *Atmos. Environ.* Vol 34, pp. 3701-3711.
- Sippula O., K. Hytönen, J. Tissari, T. Raunemaa, J. Jokiniemi (2007) Effect of Wood Fuel on the Emissions from a Top-Feed Pellet Stove, *Energy Fuels*, 21 (2), 1151 -1160.