

TIIVISTELMÄRAPORTTI

Vaarallisen päästölähteen nopea paikantaminen ja vaikutusalueen määrittäminen kaupunkiympäristössä (LEScape)

Antti Hellsten
Ilmatieteen laitos
PL 503, 00101 Helsinki, puh. 050-409 0477
sähköposti: antti.hellsten@fmi.fi

Tiivistelmä: Terrorismissa ja sodan uhkakuviissa tapahtuneet muutokset asettavat uusia vaatimuksia suojelevalvonnalle. Tilannekuvan muodostaminen kriisi- tai onnettomuustilanteissa, joissa ilmassa leviää jotakin kemiallista, biologista, säteilevää tai muuten vaarallista ainetta (Chemical, Biological, Radiological or Nuclear, CBRN), voi nykyisin menetelmin olla mahdotonta esimerkiksi päästölähdetietojen puuttuessa. Vaikka päästölähde tunnettaisiinkin, nykyiset leviämismallinnusmenetelmät eivät kykene ottamaan huomioon rakennusten, maastonmuotojen ja puiden vaikutusta CBRN päästön leviämiseen. Kuitenkin kaupunki- ja muissa rakennetuissa ympäristöissä näillä tekijöillä on ratkaisevan suuri merkitys päästön leviämiseen. Hankkeessa kehitettävällä uudella nopealla mallilla voidaan suojelevalvontajärjestelmän tuottamaa sensoridataa käyttäen paikantaa päästölähde tai rajata aluetta, jossa lähde sijaitsee (riippuen käytettävissä olevan sensoridatan määrästä ja laadusta), tarkentaen ja nopeuttaen tilannekuvaa ja pelastustoiminnan suunnittelua. Tavoite on tuottaa pelastus- ja suojelehenkilöstön käyttöön nopea, helppokäyttöinen ja luotettava kaupunkiympäristöön sopiva leviämismalli tuntemattoman CBRN-päästön paikantamiseksi sensorihavaintojen perusteella. Mallia voidaan käyttää päästön vaikutusalueen arvioimiseksi, evakuointi-, pelastus- sekä jälkitoimien tueksi. Tällaista mallia ei Suomessa vielä ole käytettävissä, eikä tiettävästi muissakaan maissa Yhdysvaltoja ja Saksaa lukuun ottamatta. Hankkeessa mallityökalu toteutetaan Helsingin keskustan alueelle. LEScape järjestelmän kehittämiseksi suoritetaan laajoja ja yksityiskohtaisia etukäteen tehtäviä virtaussimulointeja supertietokoneella. Nämä simuloinnit muodostavat suurimman osan hankkeen työstä. Tarvittavat tulokset pakataan tietokantoihin ja kehitetään nopea ja helppokäyttöinen käyttäjäohjelmisto ja käyttöliittymä tulosten esittämiseksi karttapohjalla käyttötilanteissa.

1. Johdanto

Suojelevalvonnan ja vaaranhallinnan vaatimukset ja valvontatiedon käyttö ovat muuttuneet huomattavasti viime vuosien aikana. Tähän ovat vaikuttaneet kansainvälisen terrorismin aiheuttama uhkakuvi muutos, yhteiskunnan normaaliolojen lisääntynyt herkkyys onnettomuuksille ja kriiseille, sekä sodan kuvan kehittyminen. Suorituskyvyltä vaaditaan reaaliaikaisuutta, monikäyttöisyyttä, modulaarisuutta ja se on tuotettava tehokkaasti. Maamme 2010-luvun alueellisessa puolustuksessa painopiste on aiempaa korostetummin elintärkeiden kohteiden ja toimintojen puolustamisessa. Puolustusvoimien ja muiden viranomaisten välinen yhteistoiminta korostuu kaikissa kriisi- ja uhkatilanteissa.

Turvallisuus- ja puolustuspoliittisessa selonteossa todetaan, että kemiallisten, biologisten, säteilevien tai muiden vaarallisten aineiden (Chemical, Biological, Radiological and Nuclear, CBRN) käyttömahdollisuus terroriteoissa on vakava uhka. Suomikaan ei voi sulkea pois bio- tai kemiallisen terrorismin tai ns. likaisten pommien käytön vaaraa alueellaan.

Leviämismallinnusta voidaan käyttää apuna pelastus- ja suojeletoiminnassa, mikäli käyt-

Postiosoite	Käyntiosoite	Puhelin	s-posti, internet
Postadress	Besöksadress	Telefon	e-post, internet
Postal Address	Office	Telephone	e-mail, internet
MATINE/Puolustusministeriö	Eteläinen Makasiinikatu 8 A	Vaihde 295 160 01	matine@defmin.fi
PL 31	00130 Helsinki		www.defmin.fi/matine
FI-00131 Helsinki	Finland		
Finland			



tettävissä on tarpeeksi nopea ja helppokäyttöinen, mutta silti tarkka ja luotettava mallityökalu. Kuitenkin terrorismikäytössä levitettävän aineen päästötiedot, edes päästöpaikka ei välttämättä ole välittömästi pelastushenkilöstön tiedossa. Päästölähteen paikan identifiointi on ensiarvoisen tärkeää vaikutusten arvioimiseksi sekä haittojen minimoimiseksi tai estämiseksi. Leviämistä voidaan mallintaa vasta, kun lähteen paikka on saatu selville. Siksi mallityökalun tulisi kyetä myös arvioimaan päästölähteen paikka havaintotietojen perusteella. Nykyisin maamme pelastus- ja suojelutoiminnan käytössä olevat leviämismallit eivät tähän kykene. Ne eivät myöskään ota huomioon rakennusten, maaston muodon eivätkä puuston vaikutusta, vaikka näillä voi kaupunkialueella olla ratkaisevan suuri vaikutus leviämiseen.

Tähän hankkeeseen liittyy läheisesti Puolustusvoimien siirrettävä suojeluvalvontajärjestelmä, johon kuuluu mittalaitteita (sensoreita) CBRN-aineiden havainnointiin. Tämä hanke luo tieteellisesti perusteltua tietoa sensoreiden sijoittamiseksi; näin sensoreita voitaisiin hyödyntää paremmin tuntemattoman päästölähteen ja sen suuruuden identifiointissa. Hankkeen on tarkoitus edesauttaa kokonaisuunpuolustusta sekä kriisivalmiuden parantamista terrorismi-, kriisi- ja onnettomuustilanteissa mukaan lukien teollisuus- ja kuljetusonnettomuudet. Järjestelmää voidaan hyödyntää myös operaatioanalyttisessä työssä. Hanke tulee myös oleellisesti parantamaan mahdollisuuksia väestön ja strategisten kohteiden suojaamiseksi.

Yhdysvalloissa on kehitetty CT-Analyst mallijärjestelmä, jonka kehitys jatkuu nykyisin pääosin Saksassa, Hampurin yliopistossa. Se on tiettävästi toistaiseksi maailman ainoa operatiivinen mallityökalu, joka teknisesti kykenisi vastaamaan tässä hankkeessa asetettuihin tavoitteisiin. Se ei kuitenkaan ole vapaasti saatavilla. LEScape-hankkeessa kehitetään oma vastaava malli, joka perustuu omaan uuteen ideaamme ja lähestymistapaamme, joka on vielä tarkempi kuin CT-Analystin menetelmä. Molemmissa lähestymistavoissa virtauskentät erilaisissa säätilanteissa simuloidaan etukäteen korkearesoluutioisella suurten pyörteiden simulointimenetelmällä (Large-Eddy Simulation, LES), mutta LEScape-mallissa vaarallisen aineen leviäminen mallinnetaan LES-malliin kytketyn Lagrange-lais-stokastisen partikkelimallin (LS) avulla, kun taas CT-Analyst perustuu pelkästään LES-virtauskenttien analyysiin. CT-Analyst arvioi LES-virtauskentistä maan pinnalle projisoidun verhoikäyrän alueelle, jonne kustakin pistemäisestä lähteestä päästetty vaarallinen aine ylipäättään voi levitä annetussa meteorologisessa tilanteessa. Tämän menetelmän suurin heikkous on muiden muassa maksimiverhoikäyrämenetelmästä ja vertikaalisen dispersion mallinnuksen likimääräisyydestä johtuva ylikonservatiivisuus sekä lähteen lähellä tapahtuvan leviämisen voimakas yksinkertaistus. LES-LS-laskenta sen sijaan perustuu verhoikäyrien sijaan partikkelidispersioon ja se mallintaa vertikaalidispersioita yhtä tarkasti kuin horisontaalisenkin. LES-LS-laskenta simuloi myös lähileviämisen realistisemmin. Esimerkkinä jälkimmäisestä voidaan mainita, että kaupunkiympäristössä päästö voi levitä huomattavankin matkan myös vastatuuleen rakennusten vaikutuksesta. LEScape kykenee mallintamaan tämän ilmiön toisin kuin CT-Analyst, jossa laskettuun vaara-alueeseen vain lisätään lähteen ympärille ympyrämäinen vaara-alue.

2. Tutkimuksen tavoite ja suunnitelma

LEScape-hankkeen tavoite on tuottaa pelastus- ja suojeluhenkilöstön käyttöön nopea, helppokäyttöinen ja luotettava kaupunkiympäristöön sopiva leviämismalli tuntemattoman CBRN-päästön paikantamiseksi sensorihavaintojen perusteella. LEScape mallia voidaan käyttää päästön vaikutusalueen arvioimiseksi, evakuointi-, pelastus- sekä jälkitoimien tueksi. Tällaista mallia ei Suomessa vielä ole käytettävissä, eikä tiettävästi muuallakaan Yhdysvaltoja ja Saksaa lukuun ottamatta (CT-Analyst). Hankkeessa LEScape-mallityökalu toteutetaan pilot-luontoisesti Helsingin keskusta-alueelle.



LEScape-järjestelmän kehittämiseksi suoritetaan laajoja ja yksityiskohtaisia etukäteen tehtäviä LES-LS virtaussimulointeja supertietokoneella. Nämä simuloinnit muodostavat suurimman osan hankkeen työstä. Tarvittavat tulokset pakataan tietokantoihin ja kehitetään nopea ja helppokäyttöinen käyttäjäohjelmisto ja käyttöliittymä tulosten esittämiseksi karttapohjalla käyttötilanteissa. Järjestelmän toteutus Helsingin keskusta-alueelle evaluoidaan ja loppukäyttäjät koulutetaan.

3. Aineisto ja menetelmät

LEScape-mallijärjestelmä perustuu etukäteen laskettavaan hyvin laajaan, yksityiskohtaiseen ja tarkkaan LES-LS virtauslaskenta-aineistoon, josta tarvittava tieto pakataan lähde- ja vaikutusalue-tietokantoihin. Käyttötilanteissa käyttäjäohjelmisto lukee tarvittavat tiedot näistä tietokannoista, rekonstruoi ne ja esittää lähde- ja vaikutusalueet graafisesti karttapohjalla. Esilaskenta vie kuukausien ajan, mutta käyttötilanteissa LEScape-prosessointi käyttäjäohjelmistolla tapahtuu sekunnin murto-osissa.

Taustatiedoksi tarvittavat virtaussimuloinnit tehdään suurten pyörteiden simulaatiomenetelmällä, johon on kytketty Lagrangelais-stokastinen partikkelimalli. LES on numeerista virtauslaskentaa, jossa tärkein osa virtauksen turbulentista liikkeestä ratkaistaan suoraan ajan ja paikan funktiona virtausta kuvaavista Navier-Stokes yhtälöistä. Tässä työssä sovelletaan PALM-LES mallia (<https://palm.muk.uni-hannover.de/trac>). LES vaatii raskasta rinnakkaislaskentaa supertietokoneympäristössä, joten laskentaa ei voida tehdä läheskään reaaliaikaisesti (kuten ei muutakaan virtauslaskentaa). Siksi LES-LS-simulaatiot tehdään etukäteen ja saatu tieto pelkistetään ja tallennetaan LEScape-järjestelmän tietokantoihin myöhempää käyttöä varten.

LES-LS laskentaan on integroitava erityinen on-line analyysialgoritmi, joka huolehtii tarvittavan tiedon keräämisestä, analysoinnista, pelkistämisestä ja tallentamisesta laskennan aikana. Tietoa on pelkistettävä sopivalla tavalla, koska muuten sitä kertyisi aivan liikaa tallennettavaksi. Käyttäjäohjelmisto lukee kussakin käyttötilanteessa tarvittavat pelkistetyt tiedot tietokannoista ja rekonstruoi tiedot esitettäväksi käyttäjälle karttapohjalla. Tämä analyysialgoritmi sekä tiedon pelkistys- ja rekonstruktio menetelmät ovat hankkeen keskeisiä uusia ideoita. Analyysialgoritmin kehittäminen ja testaaminen ovatkin hankkeen ensimmäisiä tehtäviä.

Kohdealueen LES-LS-laskennassa otetaan huomioon kohdealueen maastonmuodot, rakennukset sekä puut. Lähtötietoina käytetään Helsingin kaupungin uusimpia korkearesoluutioisia laserkeilausaineistoja. Näiden aineistojen käsittely LES-LS-laskentaa varten sopivaksi on vaatinut ennakoitua enemmän työtä. Laskennat tehdään erikseen noin neljällekymmenelle säätilanteelle (parametreina tuulen suunta ja stabiilisuus). LEScape-käyttäjäohjelmisto pystyy tällöin arvioimaan päästöjen leviämistä tai havaintojen lähdealueita eri säätilanteessa interpoloimalla esilaskettuja tilanteita.

4. Tulokset ja pohdinta

LEScape-järjestelmän kehitys koostuu kolmesta vaiheesta. Ensimmäinen näistä on analyysialgoritmin kehitys, toinen on LEScape-käyttäjäohjelmiston kehitys ja kolmas on kohdealuekohtainen tuotanto-LES-LS-laskenta tietokantojen tuottamiseksi. Alempana kuvataan näiden kolmen vaiheen tilanne raportointiajankohtana 28.2.2018.

Hankkeen 27.1.2017 päivitettyt tavoitteet ovat seuraavat. Ensimmäisenä kehitetään analyysialgoritmi. Seuraavaksi valitaan ja rajataan hankkeessa tarkasteltava kohdealue pelastustoimen tarpeiden mukaisesti ja resurssien sallimissa rajoissa sekä päätetään LES-LS-mallinnuksen yksityiskohdista. Simuloitavat säätilanteet valitaan ja LES-LS-

simulointien ensimmäiset versiot toteutetaan. Ajan ja kustannusten säästämiseksi simulointien ensimmäisissä versioissa käytetään lopullista karkeampaa resoluutiota (LES-LS-laskennan vaatima laskentaresurssi ja -aika riippuu voimakkaasti laskennan resoluutiosta). Huomattava osa hankkeen ensimmäisestä vuodesta tulee kulumaan LES-LS-simulointien suorittamiseen. Ensimmäisen vuoden aikana kehitetään myös karttapohjaisen käyttäjäohjelmiston prototyyppi. Ensimmäisen vuoden päättyessä on valmiina toimiva LEScape demonstraatioversio evaluaatiota ja jatkokehitystä sekä käyttäjien koulutusta varten. Tämä demonstraatioversio perustuu siis lopullista karkeamman resoluution LES-laskentaan.

Analyysialgoritmi, joka sisältää LES-LS-laskennan aikaisen tiedon keruun, analysoinnin, pelkistykseen ja tallennuksen, on kokonaisuudessaan saatu valmiiksi syksyllä 2017. Algoritmi on kohtalaisen mutkikas ja sen kehittämiseen ja testaamiseen kului jonkin verran suunniteltua enemmän aikaa. Analyysialgoritmin ja koko hankkeen perusidean toimivuus on nyt kuitenkin todettu ja demonstroitu, mikä on merkittävä tulos, sillä kyse on aivan uudeltaisesta menetelmästä. Nämä tulokset esiteltiin MATINEn tutkimusseminaarissa 16.11.2017.

LEScape-käyttäjäohjelmisto koostuu palvelin- ja päätelaiteosioista. Palvelinosion on tarkoitus toimia Ilmatieteen laitoksen palvelimella ja loppukäyttäjä käyttää päätelaiteosiota henkilökohtaisessa tietokoneessaan, esimerkiksi kannettavassa tietokoneessa, jota voidaan käyttää vaikkapa kenttäjohtopaikalla. Päätelaiteosio on verkkoyhteydessä palvelinosioon. Tämän järjestelyn ansiosta massiivisia lähde- ja vaikutusalueetietokantoja ei tarvitse tallentaa käyttäjien päätelaitteille ja lisäksi järjestelmän ylläpito on helpompaa. Palvelinosion kehitys on aloitettu syksyllä 2017 ja sen ohjelmarunko sekä useimmat sen keskeisistä osista ovat valmiina ja testattuina, tärkeimpänä niistä yleistetty epäsymmetrinen Gaussilainen rekonstruktioalgoritmi. Eräitä osia kuitenkin puuttuu vielä. Vielä puuttuvia osia ovat lähinnä algoritmi esilaskettujen säätilanteiden välistä interpolaatiota varten sekä tarvittavat koordinaatistomuunnokset eri säätilanteiden laskennassa käytettyjen LES-LS-koordinaatistojen välillä. Karttapohjainen päätelaiteosio tullaan muokkaamaan tällä hetkellä Palosuojelurahaston rahoittamassa BUOYANT-hankkeessa kehitteillä olevan tulipalopäästömallin käyttöliittymästä, joten sen kehittämisessä saavutetaan suuri synergiähyöty.

Hankkeessa tarkasteltavan kohdealueen ja simuloitavien säätilanteiden valinta ja rajaus sekä LES-LS-mallinnuksen yksityiskohdista päättäminen ja LES-LS-tuotantolaskentojen valmistelu on lähes kokonaisuudessaan tehty. Itse tuotantolaskentoja ei kuitenkaan olla vielä päästy edes aloittamaan. Rajauksiin ja valintoihin on mahdollisesti tehtävä vielä joitakin muutoksia sen jälkeen kun tuotantolaskennat voidaan aloittaa. Tuotantolaskentoja ei olla päästy aloittamaan siitä syystä, että Ilmatieteen laitoksen supertietokonekapasiteetti on ollut laitteistopäivityksistä johtuen pois tutkimustoiminnan käytöstä käytännössä jo useiden kuukausien ajan. Tämä käyttökato ei ollut lainkaan tiedossa hanketta suunniteltaessa tai edes väliraportoinnin aikana toukokuussa 2017. Käyttökatoista tiedotettiin Ilmatieteen laitoksen tutkijoille ensimmäisen kerran vasta elokuussa 2017 ja silloisen tiedon mukaan oli tulossa kaksi noin kolmen viikon pituista käyttökatoa. Käyttökato on kuitenkin venynyt joitakin lyhyitä väljaksoja lukuun ottamatta lokakuun puolivälistä ainakin nykyhetkeen eli 28.2.2018 asti. Supertietokonekapasiteetti on tässä hankkeessa aivan keskeinen ja välttämätön resurssi, jota ilman työtä on voinut edistää vain pieniltä osin. Pääosin tästä syystä hankkeen tavoitteisiin ei päästy. Tilanteesta on keskusteltu Ilmatieteen laitoksen ylemmän johdon kanssa. Supertietokonekapasiteetin pitkäksi venyneen käyttökaton lisäksi on ilmennyt muitakin odottamattomia vaikeuksia, jotka ovat viivästyttäneet työtä, mutta niiden vaikutus on ollut pienempi kuin käyttökaton.



5. Loppupäätelmät

Koska tähän mennessä on kyetty osoittamaan hankkeen uutuusarvoisen perusidean ja menetelmän toimivuus, kannattaa työtä mielestämme jatkaa, vaikka tavoitteisiin ei päästyäkään tämän hankkeen puitteissa. Kuten yllä on kuvattu, suurimpana syynä siihen, että tavoitteisiin ei päästy, on supertietokonekapasiteetin ennakoimaton ja pitkäaikainen puuttuminen, joka on LEScape-hankkeesta täysin riippumaton tekijä. Työtä pyritään jatkamaan 2018 muulla rahoituksella ja kesällä 2018 anotaan MATINElta rahoitusta vuodeksi 2019.

6. Tutkimuksen tuottamat tieteelliset julkaisut ja muut mahdolliset raportit

Tässä vaiheessa työtä ei ole julkaistu vielä mitään.
