

POISTUMISSIMULOINNIT PALOTILANTEISSA

Simo Heliövaara & Harri Ehtamo
Systeemianalyysin laboratorio, Teknillinen korkeakoulu
PL 1100, 02015 TKK

Timo Korhonen & Simo Hostikka
VTT
PL 1000, 02044 VTT

Tiivistelmä

Tässä artikkelissa esitellään VTT:n ja Teknillisen korkeakoulun yhteistyössä kehittämä poistumissimulointiohjelma FDS+Evac, joka on toteutettu FDS-tulipalonlaskentaohjelmiston yhteyteen. Menetelmän avulla voidaan ihmisten poistumisen laskenta kytkeä tämänhetkistä huipputasoa edustavaan palonsimulointiin ja tarkastella tuloksia Smokeview-jälkikäsitelyohjelmalla. Ohjelma pystyy kuvaamaan kvalitatiivisesti myös ihmisten käyttäytymistä äärimmäisen ruuhkaisissa ja vaativia päätöksentekotehtäviä sisältävissä poistumistilanteissa. Ihmisten liikettä kuvaava algoritmi perustuu ns. sosiaalisen voiman käsitteeseen. Jokaista poistuvaa henkilöä seurataan omalla liikeyhtälöllään. Testisimulaatioiden perusteella malli näyttää toimivan hyvin. Esittelemme myös laskennallisia malleja ihmisten käyttäytymiselle; poistumisreitit valinnalle sekä ihmisten muodostamien pienryhmien toiminnalle. Nämä käyttäytymistä kuvaavat mallit perustuvat sosiaalipsykologisen kirjallisuuden havaintoihin. Poistumislaskentaohjelmisto tulee olemaan osa keväällä 2007 julkistettavaa FDS:n versiota 5 ja se tulee olemaan vapaasti ladattavissa VTT:n verkkosivuilta.

JOHDANTO

Paloturvallisuussuunnittelun keskeisimpiä päämääriä on varmistaa ihmisten turvallinen poistuminen rakennuksista tulipalon sattuessa. Monissa kohteissa rakennusmääräyksissä esitetyt ehdot ja lukuarvot takaavat yleensä turvallisen poistumisen, mutta tietyissä erityiskohteissa, kuten suurissa kokoontumistiloissa ja kauppakeskuksissa, ne eivät aina johda turvallisuuden kannalta optimaaliseen lopputulokseen. Näissä kohteissa poistumisjärjestelyt voidaan mitoittaa laskennallisella poistumisen simuloinnilla.

VTT ja Teknillinen korkeakoulu ovat yhteistyössä kehittäneet poistumissimulointiohjelma FDS+Evac:n, joka on toteutettu FDS-tulipalonlaskentaohjelmiston yhteyteen. Poistumissimulointiohjelman toteuttaminen FDS-tulipalonlaskentaohjelmiston yhteyteen mahdollistaa tulipalodatan käytön poistumisen mallinnuksessa, jolloin on mahdollista mallintaa tulipalon vaikutusta ihmisten toimintaan. Ohjelman alustava versio esiteltiin jo edellisillä Palotutkimuksen päivillä vuonna 2005, katso viite [1]. Ohjelmaa on viimeisen kahden vuoden aikana kehitetty monin tavoin ja tässä artikkelissa esitellään ohjelman uusia ominaisuuksia.

FDS+Evac:n käyttämä ihmisten liikettä kuvaava algoritmi perustuu ns. sosiaalisen voiman käsitteeseen. Jokaista poistuvaa henkilöä seurataan omalla liikeyhtälöllään. Mekaniikan lakien ja fysikaalisten kosketusvoimien lisäksi mukana on sosiaalinen voimakomponentti, joka estää

henkilöitä menemästä liian lähelle toisiaan tai esimerkiksi törmäämstä seiniin. Artikkelissa esitellään lyhyesti tämä malli ja sen syötesuureiden valinnan vaikutus ihmisten virtausnopeuksiin ovissa ja käytävissä ja verrataan näitä tuloksia muiden poistumislaskentaohjelmistojen sekä paloalan käsikirjoissa esitettyjen laskentakaavojen antamiin ja kokeellisiin tuloksiin.

Poistumiseen liittyvien päätöksentekotilanteiden ja valintojen mallintamiseksi olemme kehittäneet useita ihmisten käyttäytymistä kuvaavia laskennallisia malleja. Mallit perustuvat evakuointitilanteita koskevaan sosiaalipsykologiseen kirjallisuuteen. Ihmisten välisten vuorovaikutusten kuvaamiseksi kehitettiin malli ns. pienryhmäkäyttäytymiselle. Sen mukaan ihmisen reagoitua ja päätöksentekoa säätelee ulkoisten ärsykkeiden lisäksi samaan pienryhmään kuuluvien henkilöiden reaktiot. Pienryhmän voivat muodostaa esimerkiksi perheenjäsenet. Lisäksi on kehitetty mallit tulipalon vaikutuksille ihmisten toimintakykyyn ja valintoihin, ihmisten väliselle vuorovaikutukselle sekä poistumisreitien valinnalle. Poistumisreitien valinnan malli perustuu peliteoreettiseen parhaan vasteen dynamiikkaan. Osa kehitetyistä malleista on jo toteutettu FDS+Evac -ohjelmaan ja niiden vaikutusta on tutkittu testisimuloinneilla.

Poistumislaskentaohjelmisto tulee olemaan osa keväällä 2007 julkistettavaa FDS:n versiota 5 ja se tulee olemaan vapaasti ladattavissa VTT:n verkkosivuilta. Jatkotyössä keskitytään ihmisten käyttäytymisen mallintamisen lisäksi todentamaan menetelmää vertaamalla sen antamia tuloksia kokeellisiin tuloksiin.

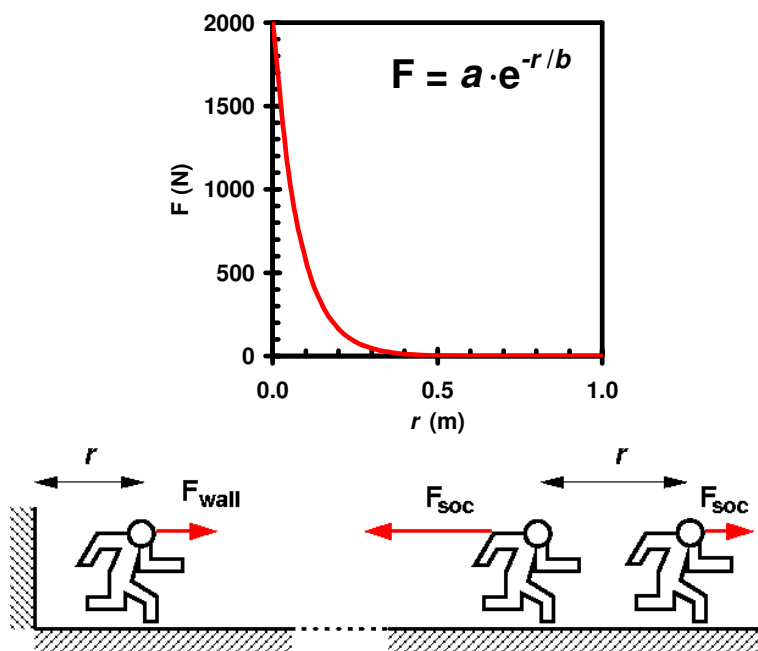
IHMISTEN LIIKKEEN MALLINTAMINEN

FDS+Evac -ohjelmassa ihmisten liikkeen mallin lähtökohtana on Helbingin ryhmän kehittämä menetelmä [2]. Tässä kappaleessa kyseinen menetelmä kuvataan lyhyesti. Tarkempi kuvaus menetelmästä löytyy viitteestä [3] ja siihen tehdyt muutokset, joista tärkein on ihmismallin muuttaminen, kuvataan viitteessä [4].

Ihmisten liikkumiseen vaikuttavia voimia on useita. Ns. *sosiaalisella voimalla*, katso kuva 1, kuvataan sitä, että ihminen pyrkii pitämään pienen etäisyyden seiniin sekä muihin ihmisiin, eli tämä voima estää ihmisiä tallomasta toistensa varpaille. Ihmisten fyysinen kosketuksen kuvaamiseen käytetään voimaa, joka koostuu radiaali- ja tangentiaalikomponenteista. Näistä tangentiaalikomponentti kuvaa toisiaan koskettavien ihmisten välistä kitkaa ja radiaalikomponentti kuvaa ihmisten puristumista. Vastaavasti käsitellään ihmisen ja seinän väliset kosketusvoimat.

Edellä mainitut voimat kuvaavat ihmiseen vaikuttavia fyysisiä ja alitajuisia voimia, jotka aiheutuvat seinistä ja muista ihmisistä. Näiden voimien lisäksi ihmisen liikkeeseen vaikuttaa oleellisesti se, minne ihminen haluaa liikkua. Tätä kuvataan Helbingin mallissa ns. *motiivivoimalla*, joka pyrkii liikuttamaan ihmistä tämän haluamaan suuntaan halutulla nopeudella. Tietyille ovelle liikkuvan ihmisen motiivivoima osoittaa tälle ovelle vievän reitin suuntaan. FDS+Evac-menetelmä hyödyntää FDS:n virtauslaskijaa oville vievien reittien määrittämiseen [1,3,4]. Ovea kohti kulkemisen lisäksi motiivivoimalla voidaan mallintaa ihmisen pyrkimystä liikkua mihin tahansa suuntaan; esim. perheenjäsenien pyrkimystä kulkea toisiaan kohti.

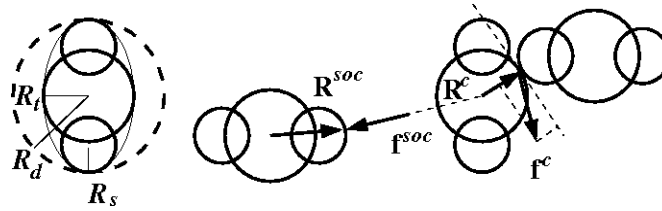
Edellä mainituilla voimilla voidaan kuvata ihmisten liikkumista poistumistilanteessa varsin hyvin. Malliin voidaan kuitenkin lisätä muita voimia, joilla voidaan huomioida esimerkiksi tulen luotaan työntävää vaikutusta tai ihmisten välillä vaikuttavia vuorovaikutuksia, kuten laumakäyttäytymistä.



Kuva 1. Ihmiset ja seinät aiheuttavat repulsiivisen sosiaalisen voiman, joka vaimenee nopeasti etäisyyden kasvaessa. Edessä oleva ihminen aiheuttaa suuremman voiman kuin takana oleva. Luvut a ja b ovat mallin parametreja ja r kuvaa kahden ihmisen tai ihmisen ja seinän välistä etäisyyttä.

Helbingin ryhmän alkuperäisessä mallissa ihmisen poikkileikkauksen muotoa approksimoidaan ympyrällä ja samaa approksimaatiota käytettiin FDS+Evac-ohjelmiston aikaisemmissa versioissa [1,3]. FDS+Evac:n nykyisessä versiossa käytetään ihmisen poikkileikkauksen mallintamiseen kolmea ympyrää [5], jotka kuvaavat ihmisen todellista muotoa paremmin, katso kuva 2. Käyttämällä kolmea ympyrää mallittamaan ihmisen poikkileikkausta voidaan ihmisen viemä pinta-ala kuvata tarkemmin, eli ihmistiheys pystyy olemaan suurempi kuin yhden ympyrän mallissa. Toinen etu siirryttäessä kolmen ympyrän käyttöön on se, että tällöin saadaan malliin mukaan ihmisen kehon kääntymisen, eli mallissa on mukana myös vääntövoimat ja -momentit.

FDS+Evac-menetelmä käsittelee jokaista poistuvaa henkilöä omana yksilönään, jolla on yksilölliset ominaisuudet, kuten koko, massa ja kävelynopeus. Jokaisen henkilön paikka ja nopeus ratkaistaan käyttämällä liikeyhtälöitä, eli sekä aika että paikka ovat jatkuvia suureita.



Kuva 2. Ihmiskehon malli sekä voimien ja vääntömomenttien laskennassa käytettävät vektorit.

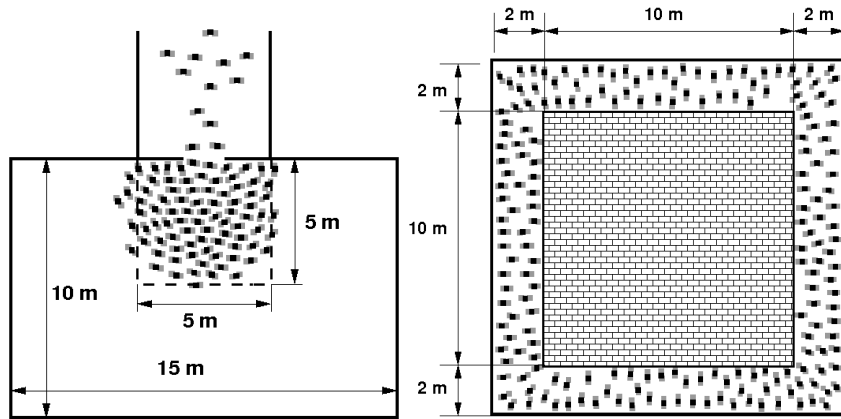
Ihmisen keskipisteen liikeyhtälöiden lisäksi FDS+Evac ratkaisee kullekin ihmiselle pyörimisen liikeyhtälön, jonka vääntömomentit aiheutuvat edellä kerrotuista voimista sekä motiivivoimaa vastaavasta motiivimomentista, joka pyrkii kääntämään poistuvan ihmisen vartalon kohti poistumissuuntaa.

Koska poistumismenetelmä on tehty osaksi FDS-tulipalonsimulointiohjelmaa, on poistumislaskussa käytettävissä kaikki tulipalolaskennan tuottamat suuret, kuten eri kaasujen pitoisuudet, lämpötilat, säteilytasot sekä savuisuus. Tällä hetkellä FDS+Evac käyttää näitä tietoja laskemaan ihmisen hengittämän savun myrkyllisyyttä sekä huomioi savun vaikutuksen näkyvyyteen. Nykyisessä ohjelman versiossa savuisuus vaikuttaa kahdella eri tavalla poistumiseen. Savuisessa tilassa ihmisten kävelynopeus pienenee savukonsentraation kasvaessa ja tämän lisäksi savun vaikutus näkyvyyteen huomioidaan tässä artikkelissa myöhemmin esitettävässä ovenvalinta-algoritmissa.

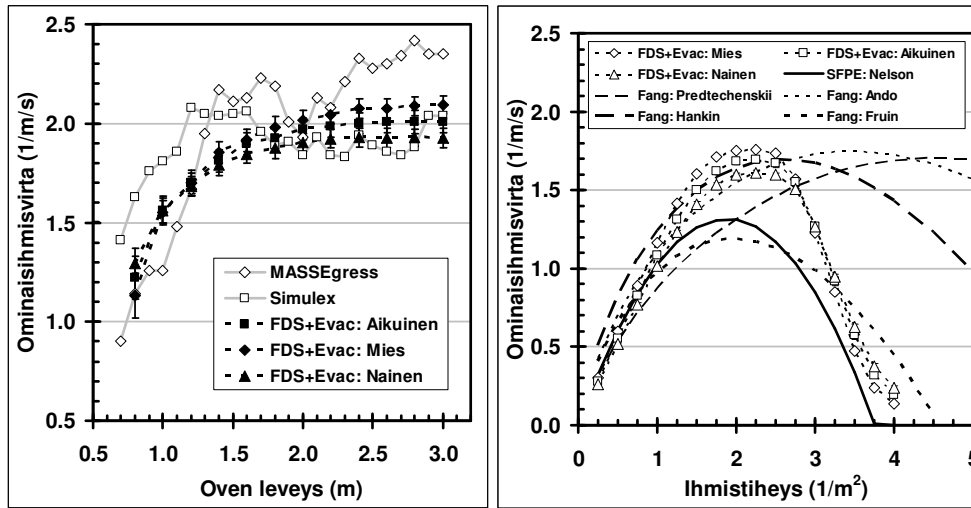
IHMISTEN LIIKKEEN MALLIN TESTAAMINEN

FDS+Evac:n ihmisten liikkumista kuvaava malli sisältää monia parametreja. Jotkut niistä liittyvät ihmisten ulkoisiin mittoihin, mutta monet parametrit liittyvät valittuun malliin. Jotkut näistä parametreista valittiin samoiksi kirjallisuudessa esiintyvien arvojen kanssa ja jotkin estimoitiin koesimulointien avulla. Sosiaalisen voiman parametrit valittiin siten, että ihmisvirtaus ovissa ja käytävissä saatiin sopivaksi. Ihmisten kolmen ympyrän esitykseen liittyvät parametrit määrättiin pääasiassa kokeilemalla erilaisia arvoja ja valitsemalla realistisimmat tulokset antavat arvot. Mallin tärkeimpien parametrien vaikutusta tutkittiin Monte Carlo -simulaatioiden avulla.

Kolmesta ympyrästä muodostetun ihmiskehon mallin toimivuutta testattiin kahden eri skenaarion avulla: (A) huoneesta poistuminen 0.8 – 3.0 m leveästä ovesta, (B) käytävävirtaus. Mallin antamia tuloksia verrattiin muiden tunnettujen evakuointimallien antamiin tuloksiin sekä kirjallisuudessa ilmeneviin arvoihin. Testeissä käytetyt geometriat on esitetty kuvassa 3 ja FDS+Evac:in simulointitulokset on esitetty kuvassa 4. Vasemmanpuoleisessa kuvassa verrataan käytävävirtauksia. Kuvassa on tulokset FDS+Evac –simulaatioista, Nelsonin kaavalla lasketut arvot [6] sekä neljä erilaista kokeellista tulosta, joista Fang et al. ovat estimoineet analyttiset muodot [7]. Oikeanpuoleisessa kuvassa verrataan ovivirtauksia. Kuvassa FDS+Evac:in tuloksia verrataan kahden eri simulointiohjelman, Simulexin ja MASSEgressin [8], antamiin tuloksiin. Kuvista nähdään, että FDS+Evacin tuottamia tuloksia voidaan pitää järkevinä.



Kuva 3. Ovi- ja käytävävirtausten laskemiseen käytetyt testigeometriat.



Kuva 4. Ovi- ja käytävävirtaukset. FDS+Evac:in tuloksia verrataan poistumiskokeiden ja muiden simulointiohjelmien antamiin tuloksiin.

IHMISTEN KÄYTTÄYTYMISEN MALLINTAMINEN

FDS+Evac ohjelmaa varten on kehitetty useita ihmisten käyttäytymistä kuvaavia laskennallisia malleja. FDS-palosimulaation tuottama tulipalodata, kuten savuntiheys ja lämpötila, tarjoavat mahdollisuuden mallintaa tulipalon vaikutusta ihmiseen.

Simo Heliövaaran diplomityö [9] sisältää tarkat matemaattiset kuvaukset kaikista kehittämistämme laskennallisista malleista. Työssä on esitelty muun muassa menetelmä kuvaamaan ihmisen kokeman stressin määrää, joka riippuu tulipalon olosuhteista sekä ihmisen sijainnista rakennuksessa. Työssä on esitetty myös stokastinen malli, joka kuvaa informaation, kuten tulipalohavainnon, leviämistä ihmisestä toiseen. Seuraavissa kappaleissa esitellään tarkemmin mallit poistumisreitien valinnalle ja ihmisten ryhmäkäyttäytymiselle.

Kehitetyt mallit perustuvat Katri Matikaisen projektin yhteydessä tekemään Pro gradu työhön [10]. Matikaisen työ on kirjallisuuskatsaus hätäpoistumisia kuvaavaan sosiaalipsykologiseen kirjallisuuteen.

Poistumisreitin valinta

Monissa simulointimalleissa kaikkien ihmisten oletetaan evakuoinnin alkaessa kulkevan kohti lähintä poistumistietä. Sosiaalipsykologinen kirjallisuus ei kuitenkaan tue tätä oletusta. Havaintojen mukaan ihmiset suosivat reittejä, jotka ovat heille tutuimpia, vaikka jokin toinen reitti olisi lyhyempi.

Proulxin [11] mukaan tuntemattomat vaihtoehdot lisäävät uhan tunnetta, mikä ajaa ihmiset käyttämään tuttuja reittejä. Esimerkiksi hätäpoistumisteiden käyttö evakuoitintilanteissa on vähäistä, koska ne ovat useimmille ihmisille tuntemattomia. Panin [8] mukaan ihmiset pyrkivät poistumaan tutuinta reittiä pitkin ja jättävät muut vaihtoehdot huomioimatta.

Tässä kappaleessa esittelemme peliteoreettisen mallin oven valinnalle poistumistilanteissa, joka perustuu ns. *parhaan vasteen dynamiikkaan*. Kukin henkilö tekee havainnot poistumiseen vaikuttavista tekijöistä ja valitsee poistumisreitin optimaalisesti näiden havaintojen perusteella. Kehittämässämme mallissa valintaan vaikuttavat ovien sijainnit, muiden ihmisten sijainti ja toiminta, ovien tutuus ja näkyvyys sekä tulipaloon liittyvät olosuhteet eri reiteillä.

Oven valintaan liittyvä päätöksenteko kuvataan kahdessa vaiheessa. Ensin kukin ihminen jakaa ovet ryhmiin tiettyjen ominaisuuksien perusteella. Nämä ryhmät voidaan laittaa *preferenssijärjestykseen* ovien houkuttelevuuden perusteella. Ovien jako ryhmiin perustuu mallissamme kolmeen tekijään: oven näkyvyyteen, oven tutuuteen ja poistumisreitillä oleviin olosuhteisiin. Ovien tutuus kullekin henkilölle voidaan määrätä FDS+Evac:n syötetiedostossa. Kullekin henkilölle voidaan määrätä todennäköisyys, jolla tämä tuntee kunkin oven. Näiden todennäköisyyksien perusteella ohjelma arpoo kullekin henkilölle tutut ja tuntemattomat ovet. Oven näkyvyyteen vaikuttavat oven ja ihmisen välissä olevat seinät, sekä reitillä olevan savun määrä. Muiden ihmisten vaikutusta näkyvyyteen ei mallissa tällä hetkellä huomioida. Häiritsevilla olosuhteilla tarkoitetaan, että tulipaloon liittyvät olosuhteet, kuten esim. savun konsentraatio, ylittävät reitillä tietyn kynnyksen arvon. Kynnyksen arvot eivät kuvaa tappavia olosuhteita, vaan olosuhteita jotka esimerkiksi ärsyttävät silmiä tai muuten häiritsevät normaalia poistumista. Käyttämämme preferenssijärjestys on esitetty taulukossa 1.

Oletamme, että kukin henkilö valitsee aina oven, jonka preferenssi on mahdollisimman korkea. Voi kuitenkin olla, ettei korkeimpaan preferenssiryhmään kuulu yhtään ovea, jolloin ovi valitaan korkeimmasta mahdollisesta preferenssiryhmästä.

Samaan preferenssiryhmään voi kuitenkin kuulua useampi kuin yksi ovi. Näiden ovien välillä päätös tehdään valitsemalla ovi, jonka kautta poistumisen arvioidaan olevan nopeinta. Tämä tarkoittaa, että valitaan ovi, joka minimoi *arvioidun poistumisajan*. Poistumisen nopeuteen vaikuttaa kaksi asiaa: henkilön ja oven välinen etäisyys sekä ovella oleva mahdollinen jono. Näin ollen arvioitu poistumisaika voidaan jakaa kahteen osaan: *arvioituun kävelyaikaan* ja *arvioituun jonotusaikaan*.

Taulukko 1. Ovien preferenssijärjestys. Alimpien rivien kombinaatioilla ei ole preferenssiä, sillä ihminen ei ole tietoinen ovista, jotka ovat tuntemattomia ja näkymättömiä.

Preferenssi	Näkyvä	Tuttu	Häiritsevät olosuhteet
1	kyllä	kyllä	ei
2	ei	kyllä	ei
3	kyllä	ei	ei
4	kyllä	kyllä	kyllä
5	ei	kyllä	kyllä
6	kyllä	ei	kyllä
Ei preferenssiä	ei	ei	ei
Ei preferenssiä	ei	ei	Kyllä

Arvioitu kävelyaika saadaan määritettyä jakamalla ihmisen ja oven välinen etäisyys ihmisen kävelynopeudella. Arvioitu jonotusaika puolestaan määräytyy niiden, samalle ovelle menevien ihmisten lukumäärästä, jotka ovat lähempänä ovea kuin henkilö itse. Jonotusaikaan vaikuttaa myös oven leveyteen liittyvä parametri, joka kuvaa sitä, kuinka monta ihmistä oven läpi voi enimmillään kulkea aikayksikössä.

Esitetty malli jakaa siis ovenvalinnan kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa ovet luokitellaan niiden ominaisuuksien perusteella preferenssiryhmiin. Toisessa vaiheessa ovi valitaan korkeimman preferenssin omaavien ovien joukosta arvioitun poistumisajan perusteella.

Pienryhmien käyttäytyminen

Sosiaalipsykologisen kirjallisuuden mukaan väkijoukko ei koostu itsenäisesti toimivista yksilöistä, vaan pienryhmistä, kuten perheistä, jotka pyrkivät toimimaan yhdessä. Tämä käyttäytyminen tulisi huomioida myös poistumista mallinnettaessa. Panin mukaan [8] ryhmien olemassaololla on monia käytännön seurauksia. Koska ryhmät pyrkivät pysymään yhdessä, niiden liikkuminen esimerkiksi kapeiden ovien läpi voi olla hitaampaa kuin yksilöistä muodostuvan ihmisjoukon. Toisaalta ryhmän jäsenet voivat evakuoinnin alkaessa olla erillään, jolloin he voivat pyrkiä kokoontumaan ennen poistumista. Tässä kappaleessa esitellään ryhmien käyttäytymiselle kehittämämme malli, joka voidaan helposti sisällyttää FDS+Evac:ssa käytettävään ihmisen liikettä kuvaavaan malliin.

Mallissamme ryhmien toiminta jaetaan kahteen vaiheeseen:

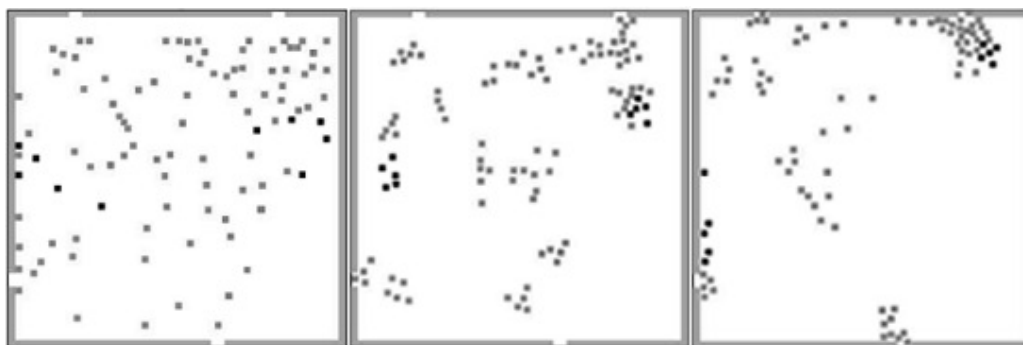
1. *Kokoontumisvaiheessa* ryhmän jäsenet pyrkivät kokoamaan ryhmän kävelemällä toisiaan kohti.
2. *Poistumisvaiheessa* ryhmä liikkuu yhdessä valitsemaansa poistumisreittiä pitkin.

Nämä kaksi vaihetta voidaan mallintaa muuntamalla Helbingin yhtälöiden motiivivoiman suuntaa, joka kuvaa suuntaa johon ihminen haluaa liikkua. Kokoontumisvaiheessa ryhmän jäsenet pyrkivät kulkemaan kohti ryhmän keskipistettä, joten tässä vaiheessa kunkin henkilön haluttu motiivivoima osoittaa kohti ryhmän jäsenen keskipistettä. Ryhmä on kokoontunut, kun kaikki ryhmän jäsenet ovat tietyn kynnysetäisyyden sisällä ryhmän keskipisteestä.

Kun ryhmä on kokoontunut, se alkaa kulkea kohti ryhmän jäsenten yhdessä valitsemaa ovea. Tämä tarkoittaa, että kaikki ryhmän jäsenet alkavat seurata samaa virtauskenttää. Samalla kun ryhmän jäsenet pyrkivät kohti ovea, he pyrkivät myös pitämään ryhmän kasassa. Tämä mallinnetaan lisäämällä Helbingin yhtälöihin voima, joka osoittaa kohti ryhmän keskipistettä. Tätä voimaa kutsutaan *ryhmävoimaksi*. Ryhmävoiman suuruus kuvaa sitä, kuinka voimakkaasti ryhmän jäsenet haluavat pitää ryhmän yhdessä. Ryhmävoiman suuruus voi vaihdella eri ryhmien välillä. Esimerkiksi äidistä ja lapsista koostuvalla ryhmällä ryhmävoiman tulisi olla suurempi kuin työkavereiden ryhmällä.

Kuvassa 5 on havainnollistettu ryhmäalgoritmin toimintaa esimerkkisimulaation avulla. Simulaatiossa on käytetty vanhaa yhden ympyrän mallia ihmisten poikkileikkausten kuvaamiseen.

Ryhmämalli ei ole mukana FDS:n versioissa 5, mutta se lisättäneen ohjelman myöhempisiin versioihin.



Kuva 5. Tilannekuvia ryhmämallin koesimulaatiosta. Sadan ihmisen väkijoukko koostuu viiden ja kuuden hengen pienryhmistä. Vasemman puoleinen kuva on evakuoinnin alkutilanne. Keskellä on tilannekuva viisi sekuntia evakuoinnin alkamisen jälkeen, jolloin useimmat ryhmät ovat ehtineet kokoontua yhteen. Oikealla on tilannekuva kymmenen sekunnin jälkeen, jolloin ryhmät ovat lähteneet liikkumaan kohti poistumisteitä.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä artikkelissa esiteltiin FDS-palosimulointiohjelman yhteyteen kehitetty poistumissimulointiohjelma FDS+Evac. Ohjelman vanhempi versio esiteltiin Palotutkimuksen päivillä jo vuonna 2005 [1], mutta nyt esitellyssä versiossa on monia uusia ominaisuuksia. Ihmisten poikkileikkausten muotoa approksimoidaan nyt yhden ympyrän sijaan kolmen ympyrän avulla, millä päästään huomattavasti lähemmäs ihmisen todellista muotoa. Esittämiemme simulointitulosten perusteella voidaan sanoa, että uusi kolmesta ympyrästä muodostettu ihmismalli toimii hyvin ovi- ja käytävavirtauksissa. Ohjelmaan on lisätty myös peliteoreettinen malli kuvaamaan ihmisten päätöksentekoa ovenvalintatilanteissa. Mallin ovenvalintaan vaikuttavia tekijöitä ovat ovien sijainti ja tuttuus, muiden ihmisten toiminta sekä tulipaloon liittyvät olosuhteet.

Esittelimme myös ihmisten ryhmäkäyttäytymistä kuvaavan algoritmin, joka on kehitetty vastaamaan sosiaalipsykologisia havaintoja ihmisten taipumuksesta toimia ryhmissä. Tämä

malli ei ole vielä mukana FDS-ohjelman versiossa 5, mutta se sisällytetään ohjelman myöhempiin versioihin.

Esitelty FDS+Evac ohjelma on vapaasti saatavissa www-osoitteesta <http://www.vtt.fi/fdsevac>. Ohjelmisto mahdollistaa monien erilaisten rakennusgeometrioiden simuloinnin. Ohjelmiston sisältämät uudet ominaisuudet ovat: 1. Mahdollisuus simuloida poistumista monikerroksisissa rakennuksissa sekä kaltevilla lattiatasoilla, kuten erilaisissa katsomoissa, 2. Ihmisten mallintaminen kolmella ympyrällä, 3. Savun vaikutus ihmisen suorituskykyyn ja 4. Ovenvalinta-algoritmi.

Poistumismallin validoinnissa on käytetty hyväksi myös todellisista poistumisharjoituksista kerättyjä havaintoja. Vuoden 2006 aikana tarkkailimme erilaisin menetelmin yhteensä kolmea eri poistumisharjoitusta. Kerättyjä havaintoja on tarkoitus käyttää hyväksi myös mallin tulevassa kehityksessä. Poistumiskokeissa tehdyistä havainnoista on Tuomas Paloposken johdolla kirjoitettu myös artikkeli otsikolla ”Poistumisharjoitusten havainnointi osana FDS+Evac-ohjelman kehitystä”, joka esitellään Palotutkimuksen päivillä 2007.

KIITOKSET

Kevin McGrattan (NIST) on auttanut poistumisaikalaskelmien vaatimien aliohjelmien liittämistä osaksi FDS:n ohjelmakoodia sekä Glenn Forney (NIST) on tehnyt tarvittavat muutokset Smokeview-visualisointityökaluun.

Katri Matikaisen Pro gradu –tutkimus Helsingin Yliopiston Sosiaalipsykologian laitokselle on auttanut meitä ymmärtämään ihmisten käyttäytymistä poistumistilanteissa.

Tutkimusta ovat rahoittaneet VTT, TEKES, Palosuojelurahasto, Ympäristöministeriö ja Suomen Akatemia. T.K. haluaa kiittää NIST:n Building and Fire Research laboratoriota ja sen henkilökuntaa vieraanvaraisuudesta sinne tekemiensä matkojen aikoina.

VIITTEET

1. Korhonen, Timo; Hostikka, Simo, Keski-Rahkonen, Olavi, Hietaniemi, Jukka. 2005. Tulipalojen henkilöriskin siedettävän tason arviointi. Pelastustieto, vol. 56, Palontorjuntateknikka-erikoisnumero, Palotutkimuksen päivät 2005, ss. 102-105.
2. Helbing, D., Farkas, I. and Vicsek, T., Simulating Dynamical Features of Escape Panic, Nature **407**: p. 487-490, 2000.
3. Korhonen, T., Hostikka, S. & Keski-Rahkonen, O. A proposal for the goals and new techniques of modelling pedestrian evacuation in fires. 8th International Symposium on Fire Safety Science, September 18 - 23, 2005, Beijing, China, International Association of Fire Safety Science. 2005.
4. Korhonen, T., Hostikka, S., Heliövaara, S., Ehtamo, H. & Matikainen, K. Integration of an agent based evacuation simulation and the state-of-the-art fire simulation. 7th Asia-Oceania Symposium on Fire Science & Technology, September 20 – 22, 2007, Hong Kong, China.

5. Langston, P.A., Masling, R. & Asmar, B.N., Crowd Dynamics Discrete Element Multi-Circle Model, *Safety Science* **44**, p. 395-417, 2006.
6. Nelson, H.E. & MacLennan, H.A., Emergency Movement, in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2nd ed., pp. 2/28-2/146, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1995.
7. Fang, Z., Lo, S.M. & Lu, J.A., On the Relationship between Crowd Density and Movement Velocity. *Fire Safety Journal* **38**, p. 271-283, 2003.
8. Pan, X., Computational Modeling of Human and Social Behaviors for Emergency Egress Analysis, 127 p., PhD Thesis, Stanford University, CA, 2006.
9. Heliövaara, S. Computational Models for Human Behavior in Fire Evacuations, M.Sc. thesis, Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology, Finland, 2007.
10. Matikainen, K. Käyttäytyminen uhkatilanteessa – poistumisreitin valinta tulipalossa, Pro gradu työ, Sosiaalipsykologian laitos, Helsingin Yliopisto, 2007.
11. Proulx, G. A stress model for people facing a fire, *Journal of Environmental Psychology*, **13**, p. 137-147, 1993.