

TULIPALOJEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Kati Tillander ja Tuomas Paloposki
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT

TIIVISTELMÄ

VTT on parhaillaan toteuttamassa tutkimushanketta, jonka puitteissa laaditaan suuruusluokkatason arviot keskeisten tulipaloista ja sammutustoimenpiteistä aiheutuvien ympäristöpäästöjen määrästä Suomessa vuositason tasolla sekä arvioidaan mahdollisuuksia tulosten hyödyntämiseen palontorjuntatoimenpiteiden suuntaamisessa. Tässä esityksessä selostetaan hankkeessa käytettäviä laskentamenetelmiä esimerkkitapauksen avulla.

JOHDANTO

Tulipalot aiheuttavat muiden vahinkojen ohella myös ympäristöhaittoja. Esimerkiksi tulipaloista leviävä savu saattaa olla vakava paikallinen ympäristöhaitta ja äskettäin tehdyt arviot viittaavat siihen, että tulipaloista aiheutuvat hiukkaspäästöt saattavat olla jopa valtakunnallisella tasolla merkittäviä [1]. Tulipalojen ympäristövaikutusten hahmottaminen on ensiarvoisen tärkeää, jotta paloturvallisuustoimenpiteitä sekä materiaali- ja rakennevaatimuksia voidaan kehittää sekä ympäristön että ihmisten kannalta turvallisempaan ja puhtaampaan suuntaan. Ympäristönäkökohdat ovat jo vaikuttaneet mm. Helsingin pelastuslaitoksen palvelutason suunnitteluun [2].

Tämän työn tavoitteena on laatia arviot tulipaloista aiheutuvien päästöjen vuosittaisista määräistä ja arvioida mahdollisuuksia tulosten hyödyntämiseen palontorjunnan kehitystyössä. Tulosten perusteella voidaan tulipaloista aiheutuvien ympäristöhaittojen vakavuutta verrata muista päästölähteistä (energiantuotanto, teollisuus, liikenne, jne.) aiheutuviin ympäristöhaittoihin. Tuloksia voidaan käyttää myös paloturvallisuustoimenpiteiden suuntaamisessa (palokuntien toiminta, rakentamismääräykset, jne.).

Tutkimuksessa ovat mukana rakennus-, maasto- sekä liikennevälinepalot. Tulipaloilla tarkoitetaan vahingossa syttyneitä paloja ja tuhopolttoja eli siis niitä paloja, jotka normaalisti pyritään sammuttamaan mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti. Työn ulkopuolelle rajattiin tuhopolttoja lukuun ottamatta muut tahallisesti sytytetyt tulipalot, kuten metsien tai ruohikon kulotus, tarpeettomien tai haitallisten aineiden ja rakenteiden hävitys polttamalla sekä palokunnan harjoitus- ja koulutustoimintaa varten sytytetyt palot. Lisäksi rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle ydintekniikkaan liittyvät palot, sotilaskoulutukseen ja sodankäyntiin liittyvät palot sekä räjähdysaineisiin liittyvät palot ja onnettomuudet.

Tutkimuksessa tarkastellaan tulipaloista ja niiden sammuttamisesta välittömästi aiheutuvia päästöjä. Työn ulkopuolelle rajataan epäsuorat päästöt, joihin kuuluvat mm. tulipaloissa tuhoutuneiden tai vahingoittuneiden rakennusten ja laitteiden korjauksen tai uudelleenrakentamisen yhteydessä syntyvät päästöt, palontorjuntalaitteiden ja -järjestelmien valmistuksen, asennuksen, koekäytön, ylläpidon ja purkamisen yhteydessä syntyvät päästöt sekä palokuntien koulutuksesta ja valmiudessa olosta aiheutuvat päästöt.

TULIPALOISTA AIHEUTUVAT PÄÄSTÖT

Päästöjen syntymekanismit

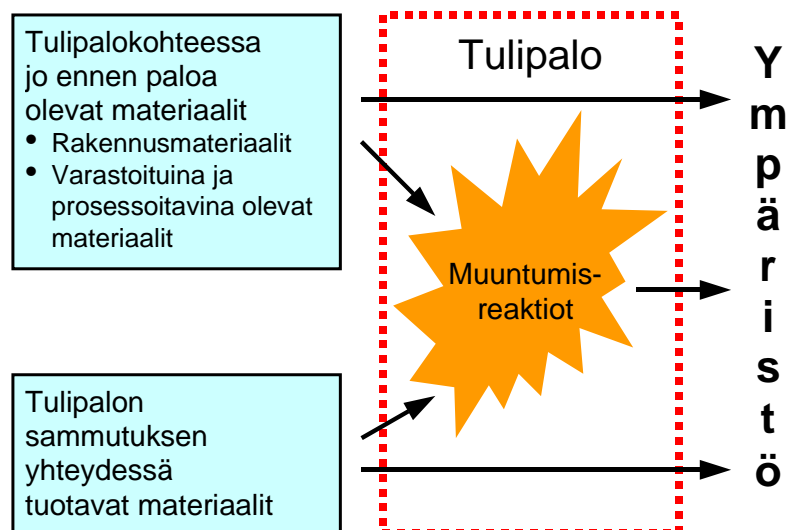
Tulipaloista ympäristöön aiheutuvat päästöt voidaan luokitella syntymekanismin mukaan kahteen ryhmään:

- (a) Palamisreaktioissa syntyvät haitalliset yhdisteet. Lähtöaineina voivat olla sekä tulipalokohteessa jo ennen paloa olleet aineet että kohteeseen sammutuksen yhteydessä tuotavat aineet.
- (b) Haitalliset yhdisteet, jotka olivat olemassa jo ennen tulipaloa, mutta pääsevät leviämään ympäristöön vasta tulipalon seurauksena. Kyseessä saattavat olla yhdisteet, jotka olivat tulipalokohteessa jo ennen paloa, tai yhdisteet, jotka tuodaan kohteeseen sammutuksen yhteydessä.

Palamisreaktioissa muodostuvat ja savun mukana ilmakehään leviävät yhdisteet muodostavat tulipalojen ehkä helpoimmin mielletävissä olevan ympäristöhaitan. Tällaisia yhdisteitä ovat mm. epätäydellisen palamisen tuloksena syntyvät hiilimonoksidi, polyaromaattiset yhdisteet ja noki. Näiden päästöjen määrään vaikuttavat palavan aineen koostumus ja palamisolosuhteet sekä ennen kaikkea palamislämpötila ja hapen saanti.

Kohteessa jo ennen paloa olevat haitalliset yhdisteet saattavat olla varastoitavana tai prosessoitavana olevien kemikaalien lisäksi myöskin ympäristölle vaarallisia rakennusmateriaaleja. Mm. aikoinaan yleisesti käytetyt asbesti ja PCB ovat esimerkkejä haitallisista aineista, joita on edelleen runsaasti rakennuksissa.

Sammutuksen yhteydessä tuotavien yhdisteiden aiheuttamista haitoista ovat esimerkkinä sammutusvaahdoissa käytettävät fluoriyhdisteet, joista keskustellaan parhaillaan aktiivisesti. Samaan kategoriaan kuuluu merkitykseltään jo vähenemässä oleva haloniongelma, jota ei tarkastella tässä työssä.



Kuva 1. Haitallisten aineiden syntyminen tulipalossa.

Käytännössä yhtälö (1) tulee ratkaista erikseen kullekin taulukossa 1 esitetyille yhdisteelle. Laskenta on järkevää tehdä taulukkomuodossa. Näin voidaan pitää kirjaa erilaisista palo-kohteista ja paloon osallistuvista materiaaleista sekä hallita tulipalojen laajuudessa ja palamisolosuhteissa esiintyvät vaihtelut.

Rakennuspalot jaotellaan laskennassa rakennuksen käyttötavan mukaan. Samaa jaottelutapaa noudattaa myös sisäministeriön onnettomuustietokanta Pronto, josta on poimittu tässä tutkimuksessa käytettävät palotilastot. Aineisto käsitti vuodet 1996–2002.

Asuinrakennusten palot jaotellaan lisäksi rakennusvuosikymmenen mukaan. Valinnalla haluttiin tuoda esille rakennusmateriaalien käytössä eri aikoina tapahtuneita muutoksia. Tällaisia muutoksia ovat mm. 1960-luvulla alkanut mineraalivillan käyttö lämmöneristeinä. Todellisuudessa muutokset tapahtuvat hitaasti ja uusia ja vanhoja materiaaleja käytetään pitkän aikaa rinnakkain, mutta tässä työssä jouduttiin työmäärän rajoittamiseksi valitsemaan eri vuosikymmeniä edustavat tyyppirakennukset, joiden katsottiin edustavan kaikkia kyseisellä vuosikymmenellä rakennettuja asuinrakennuksia. Eri vuosikymmenillä rakennettujen asuinrakennusten määrät saatiin Tilastokeskuksen vuoden 2001 rakennuskantatietokannasta.

Yhtälön (1) käyttöä havainnollistetaan seuraavassa laskentaesimerkin avulla. Tarkasteltavaksi on valittu rakennuspalot ja niistä eräs asuinrakennusten ryhmä. Perusteluna on se, että asuinrakennusten tulipalot ovat suhteellisen yleisiä, joten niistä saatava tilastoaineisto on myös varsin luotettavaa. Laskentaesimerkissä on tässä vaiheessa mukana vain osa taulukossa 1 luetelluista yhdisteistä ja työtä laajennetaan siltä osin myöhemmin.

LASKENTAESIMERKKI

Rakennus

Tarkasteltavana rakennustyyppinä ovat vuosina 1930–59 rakennetut erilliset pientalot. Esimerkkirakennuksen ominaisuudet on esitetty taulukossa 2. Rakennuksen koko ja materiaalit pyrittiin valitsemaan siten, että rakennus edustaisi keskimäärin kyseisellä ajanjaksolla rakennettuja pientaloja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kantavat rakenteet, lämmöneristeet, sisäverhoilu ja ulkoverhoilu ovat kaikki puuta tai puuperäisiä materiaaleja.

Taulukko 2. Esimerkkirakennuksen ominaisuuksia.

Rakennustyyppi:	Asuinrakennus, erillinen pientalo, 1½ kerrosta
Kantava rakenne:	Puu
Lämmöneriste	Sahanpuru
Kerrosala:	150 m ²
Rakennusvuosi:	1930-59
Ulkomitat:	10 x 15 m

Tulipalojen lukumäärä

Taulukossa 3 on esitetty onnettomuustietokanta Prontosta poimituihin tietoihin perustuva tilastoaineisto tulipaloista vuosina 1996-2002. Tuona ajanjaksona syttyi yhteensä 83 886 tulipaloa, joista rakennuspaloja oli 22 969 ja näistä asuinrakennuksissa tapahtuneita paloja 10 357. Asuinrakennuksissa tapahtuneiden palojen osuus oli siis 45 % rakennuspalloista ja 12 % kaikista tulipaloista. Vuosittain syttyi asuinrakennuksissa paloja keskimäärin 1 480 kpl.

Taulukossa 4 on esitetty Tilastokeskuksen vuoden 2001 rakennuskantatietoihin perustuva asuinrakennusten jaottelu rakennusvuoden mukaan. Kaikista asuinrakennuksista 28 % on rakennettu vuosina 1930-59; tällä ajanjaksolla rakennettujen erillisten pientalojen osuus kaikista asuinrakennuksista on 27 %. Yksinkertaistaen oletettiin, että tulipalon syttymistodennäköisyys ei riipu rakennuksen iästä eikä materiaaleista. Tällöin esimerkkiryhmässä syttyi vuosittain 27 % kaikista asuinrakennusten tulipaloista eli yhteensä 400 tulipaloa.

Taulukko 3. Tulipalojen lukumäärät vuosina 1996-2002.

Tulipalo	Lukumäärä 1996-2002	%
Asuinrakennuspalot	10 357	12
Muut rakennuspalot	12 612	15
Rakennuspalot yhteensä	22 969	27
Liikennevälinepalot	15 815	19
Maastopalot	21 484	26
Muut tulipalot	23 618	28
Kaikki tulipalot yhteensä	83 886	

Taulukko 4. Asuinrakennusten lukumäärä rakennusvuoden mukaisesti jaoteltuna.

Rakennusvuosi	Lukumäärä	%
-1929	106 239	9
1930-59	312 688	28
1960-79	311 698	27
1980-89	222 790	20
1990-2002	159 729	14
Tuntematon	22 774	2
Yhteensä	1 135 918	

Tulipalojen laajuus ja paloissa tuhoutuneen materiaalin määrä

Tässä työssä jaotellaan palossa tuhoutunut materiaali kahteen erilliseen luokkaan: irtaimistoon ja itse rakennuksen materiaaleihin. Tuhoutuneiden materiaalien määrät arvioidaan kummallekin luokalle erikseen.

Vuosina 1930-59 rakennetuissa puurunkoisissa pientaloissa käytetyt palavat materiaalit ovat pääasiassa puuperäisiä. Materiaalien määrä määritettiin arvioimalla kussakin rakennusosassa tyypillisesti käytettyjen materiaalien paksuudet ja tyypit. Kun lisäksi arvioitiin esimerkkirakennuksen ulko- ja väliseinien pituudet ja korkeudet sekä ala-, väli- ja yläpohjien mitat ja käytettyjen materiaalien tiheydet, saatiin kunkin materiaalin osuus kilogrammoina. Esimerkkirakennukselle tehty laskelma antoi puun ja puuperäisten materiaalien määräksi 40 400 kg. Muiden palavien materiaalien määrä itse rakennuksessa oletettiin merkityksettömäksi.

Irtaimiston määrä arvioitiin käyttäen Eurokoodissa [3] annettua asuinrakennusten palokuorman keskimääräistä arvoa 780 MJ/m^2 . Irtaimisto muodostuu lukuisista eri materiaaleista, joiden määriä ei tunneta. Tässä työssä oletetaan, että irtaimiston materiaalien jakautuma noudattaa Perssonin ja Simonsonin [1] esittämää arviota ja materiaalin määrät asetetaan sille tasolle, että palokuorman kokonaismääräksi saadaan 116 200 MJ, mikä suunnilleen vastaa tasoa 780 MJ/m^2 . Laskelma on esitetty taulukossa 5.

On huomattava, että Suomen rakentamismääräyskokoelmassa [4] lasketaan palokuorman sekä irtaimistoon kuuluvat että myös itse rakennuksen palavat materiaalit. Eurokoodissa annetut palokuorman arvot käsittävät vain irtaimistosta aiheutuvan palokuorman, johon rakennusmateriaaleista aiheutuva palokuorma tulee tarvittaessa lisätä. Suomen rakentamismääräyksissä annettuihin lukuarvoihin verrattuna tuntuvat Eurokoodin palokuormamäärät melko korkeilta, mikä näkyy myös siinä, että taulukossa 5 annetut irtaimiston kilomäärät ovat suurehkoja. Toisaalta havaitaan, että itse rakennuksen materiaaleista muodostuva palokuorma voi olla hämmästyttävän korkea: nyt tarkasteltavan esimerkkirakennuksen materiaaleista muodostuva palokuorma on $40\,400 \text{ kg} \times 18,5 \text{ MJ/kg} = 747\,000 \text{ MJ}$ eli n. 5000 MJ/m^2 . Kaikeksi onneksi ehditään palot kuitenkin useimmiten sammuttaa ennen kuin rakennuksen materiaalit merkittävästi tuhoutuvat, mikä näkyy jäljempänä myös taulukon 6 numeroarvoissa.

Taulukko 5. Irtaimiston materiaalien arvioidut määrät ja niistä aiheutuva palokuorma esimerkkirakennuksessa.

Materiaali	Paino-osuus [%]	Massa [kg]	Lämpöarvo [MJ/kg]	Palokuorma [MJ]
Puu	58	3480	18,5	64 400
Paperi	15	900	17,0	15 300
Tekstiilit	15	900	20,0	18 000
PVC-muovi	5	300	18,0	5 400
Polyuretaani	5	300	25,0	7 500
Polyeteeni	2	120	47,0	5 600
SUMMA	100	6000		116 200

Tulipalon leviämistä arvioitiin Pronton onnettomuusselosteen tietojen perusteella. Asuinrakennuksissa oli 55 % paloista rajoittunut osaan syttymishuonetta, josta tässä esimerkissä 5 % oletettiin rajoittuneen syttymiskohteeseen. Lisäksi arvioitiin kutakin leviämistä vastaava palaneen palokuorman osuus koko rakennuksen ja irtaimiston palokuormasta. Arviot on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Palon leviämisen sekä palaneen palokuorman prosentuaalisten osuuksien arviot erillisissä pientaloissa. Taulukon alimpien rivien jaottelu on pientaloja ajatellen turhankin hienosyinen, mutta samaa jaottelua tullaan myöhemmin käyttämään myös isompien rakennusten tulipaloissa tuhoutuvien materiaalmäärien arvioinnissa.

Palon laajuus tilanteen lopussa	Osuus palojen lukumäärästä	Palaneen palokuorman osuus	
		Rakenteet	Irtaimisto
Syttymiskohde	5,0 %	0 %	2 %
Osa syttymishuonetta	50,0 %	0,5 %	10 %
Koko syttymishuone	19,5%	2 %	20 %
Syttymisosasto	20,0 %	10 %	50 %
Syttymiskerros, useita palo-osastoja	5,0 %	20 %	80 %
Koko syttymisrakennus	0,5 %	100 %	100 %

Ominaispäästökertoimet

Ominaispäästökertoimina käytettiin tässä esitetyssä ensimmäisessä vaiheessa taulukon 7 arvoja, jotka perustuivat Perssonin ja Simonsonin [1] esittämiin arvoihin. Tutkimuksen kuluessa arvoja tarkennetaan myöhemmin.

*Taulukko 7. Ominaispäästökertoimet (kg syntynyttä yhdistettä / kg palanutta materiaalia).
Lähteenä Persson & Simonson (1998).*

Palava materiaali	CO ₂	CO	NO _x	HCN	HCl
Puu	1,63	0,058	0,0014	0,00001	
Pahvi, paperi	1,64	0,058	0,0014	0,00001	
Tekstiilit	1,43	0,051	0,0012	0,000009	
PVC-muovi	1,46	0,116	0,0006	0,000009	0,32
Polyuretaani	1,99	0,16	0,09	0,0018	
Polyeteeni	2,82	0,06	0,0017	0,000017	

Tulokset

Taulukossa 8 esitetyt vuotuiset kokonaispäästöt saatiin yhtälöstä (1). Kertolaskussa otettiin huomioon taulukossa 6 esitetty jakauma palon laajuudesta tilanteen lopussa.

Taulukko 8. Vuotuiset kokonaispäästöt [kg] vuosina 1930-59 rakennetuissa puurunkoisissa erillisissä pientaloissa syttyneissä tulipaloissa.

	CO ₂	CO	NO _x	HCN	HCl
Puu	1 623 000	57 800	1 390	10,0	
Pahvi, paperi	139 000	8 100	120	0,9	
Tekstiilit	122 000	6 200	100	0,8	
PVC-muovi	41 000	3 200	20	0,5	9 000
Polyuretaani	56 000	9 000	2 520	50,4	
Polyeteeni	34 000	700	20	0,1	
Yhteensä	2 015 000	85 000	4 170	62,7	9 000

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulipaloista aiheutuvat vuotuiset päästömäärät eivät laskelman perusteella vaikuta hälyttävän suurilta. Vuonna 2001 olivat Suomen CO₂-kokonaispäästöt n. $68 \cdot 10^9$ kg, CO-kokonaispäästöt n. $605 \cdot 10^6$ kg ja NO_x-kokonaispäästöt n. $222 \cdot 10^6$ kg [6,7]. Esimerkkirakennuksen tyyppisten rakennusten tulipalot aiheuttivat siis 0,014 % CO-kokonaispäästöistä ja vielä pienemmän osuuden CO₂- ja NO_x-kokonaispäästöistä. On kuitenkin huomattava, että tarkastellut rakennukset muodostivat vain 27 % asuinrakennuksista ja asuinrakennusten palot vain 12 % kaikista tulipaloista. Kun laskelma laajennetaan koskemaan kaikkia tulipaloja, tulee myös tulipaloista aiheutuvien päästöjen suhteellinen osuus nousemaan. Yksinkertaisella kertolaskulla saataisiin tulipaloista aiheutuvien CO-päästöjen osuudeksi n. puoli prosenttia Suomen kokonaispäästöistä. Tämä arvio on karkea ja sitä tullaan tarkentamaan työn edetessä.

Taulukosta 8 havaitaan, että CO₂- ja CO-päästöt aiheutuivat pääasiassa puun palamisesta. Tähän on synnä puun hallitseva osuus palokohteesta olevista materiaaleista. Polyuretaanin osuus palokohteesta olevista materiaaleista oli huomattavasti alhaisempi, mutta laskelman tulokset viittaavat siihen, että polyuretaanin palaessa syntyvät päästöt olivat merkittävin typen oksidien ja syaanivedyn lähde. Kloorivedyn oletettiin syntyvän yksinomaan PVC-muovin palosta, sillä PVC-muovi on tässä tapauksessa ainoa kloorin lähde.

Rakennusmateriaalivalinnoissa tapahtuneet muutokset ovat johtaneet siihen, että puun suhteellinen osuus rakennusten materiaaleista on pienentynyt. Niinpä myöskin puun palamisesta aiheutuvien päästöjen suhteellinen osuus on uudempien rakennusten tulipaloissa ilmeisesti alhaisempi kuin nyt tarkastelun rakennustyyppien tapauksessa. Myös irtaimiston määrässä ja materiaaleissa tapahtuu jatkuvasti muutoksia. Esimerkkinä voidaan mainita elektroniikkalaitteiden jatkuva yleistyminen.

Työ jatkuu loppuvuonna 2003 siten, että vastaavat laskelmat laajennetaan koskemaan muitakin rakennuspaloja sekä liikenneväline- ja maastopaloja kaikkien taulukossa 1 esiintyvien yhdisteiden osalta. Laskelmien tuloksia tullaan käyttämään hyväksi arvioitaessa palontorjuntatoimenpiteiden suuntaamista.

KIITOKSET

Kiitokset Palosuojelurahastolle työn rahoittamisesta sekä hankkeen tukiryhmän jäsenille Jaana Rajakolle (Espoon pelastuslaitos) ja Teemu Oinoselle (Suomen ympäristökeskus) avusta työn suorittamisessa.

LÄHDELUETTELO

1. Persson, B. & Simonson, M., Fire emissions into the atmosphere. *Fire Technology* 34 (1998) s. 266-279.
2. Laaksonen, J.-P., Riskianalyysi palvelutasopäätöksen perustana, osa 8: päätösvaihtoehdot. *Pelastustieto* 7/2000, s. 28-31.
3. Eurocode 1: Actions on Structures- Part 1-2: General Actions - Actions on Structures Exposed to Fire. EN 1991-1-2:2002
4. Rakennusten paloturvallisuus & paloturvallisuus korjausrakentamisessa. *Ympäristöopas* 39, Uusittu painos 2003, Ympäristöministeriö.
5. Paloposki, Tuomas & Hietaniemi, Jukka. Tulipalot ja ympäristö. *Palotutkimuksen päivät* 2001. Espoo 22. - 23.8.2001. Helsinki. Palotutkimusraati, 2001. 10 s.
6. Ympäristöhallinto. 2003. Ilman epäpuhtauksien kokonaispäästöt Suomessa 1990-2001. http://www.ymparisto.fi/ympsuo/ilma/laatu/paas_yht.html (Päivitetty 31.3.2003)
7. Ympäristöhallinto. 2003.. Summary of Finland's Greenhouse Gas Emission Data for 1990-2001. <http://www.ymparisto.fi/eng/environ/state/air/emis/ghg/ghg.htm>