
Kynttilätuotteiden paloriskeistä

Sisältö

Sisältö.....	1
1 Johdanto	2
2 Paloriskien kartoitus.....	2
2.1 Yleistä	2
2.2 Lämpökynttilät	3
2.3 Kynttilälähdyt	6
2.3.1 Liialliseen kuumenemiseen liittyviä vaaratekijöitä.....	6
2.3.2 Lyhdyn rikkoutumiseen vaikuttavia seikkoja	9
2.3.3 Muita vaaratekijöitä	10
2.4 Hauta- ja puutarhalyhdyt, joiden kuori on palavaa materiaalia	11
2.5 Ulkotulet.....	11
2.5.1 Yleistä	11
2.5.2 Puualustan syttyminen allaspalona palavan ulkotulen vaikutuksesta	16
2.6 Muut kynttilätuotteet.....	19
3 Riskien kartoitus- ja arviointilista.....	20
Lähdeviittaukset	21

1 Johdanto

Tässä liitteessä esitetty aineisto liittyy Kuluttajaviraston tilaamaan kynttilätuotteiden turvallisuutta koskevan tutkimus- ja kehittämishankkeen osatehtävään 2, jossa laaditaan kynttilätuotteiden turvallisuuden arviointimenetelmä, joka perustuu kynttilätuotteiden aiheuttamien riskien suuruuteen. Menetelmä laaditaan listaksi eri kynttilätuotetyyppien mahdollisesti aiheuttamista tulipalon syttymisvaaroista. Näille vaaroille annetaan laadullinen vakavuusarvio, joka kattaa toisen riskin komponenteista, seuraamuksen vakavuuden/suuruuden. Tietyn tuotteen paloturvallisuuden arviointi suoritetaan täyttämällä kyseinen lista ottaen kantaa kyseisen tuotteen ominaisuuksien perusteella siihen todennäköisyyteen, että listassa mainitut uhat toteutuvat ko. tuotteen kohdalla: tällä tavalla saadaan riskin toinen komponentti eli seuraamuksen todennäköisyys. Listan käytön ydinkysymys on kyseisten todennäköisyyksien arviointi luotettavalla, tuotteen todellista toimintaa vastaavalla tavalla. Pääosa tehtävän 2 työstä liittyy juuri sen ohjeistuksen kehittämiseen, jota listan käyttäjälle annetaan. Tämä aineisto muodostaa tämän liitteen luvun 2.

Tässä raportissa tarkastellaan nimenomaan tulipalovaaraan liittyviä riskejä. Siksi mm. sellaisia kysymyksiä kuin tuotteiden palamisen mahdollisesti synnyttämät haitalliset päästöt (esim. sydämien lyijypitoisuudesta johtuvat haitat) ei käsitellä.

2 Paloriskien kartoitus

2.1 Yleistä

Liitteessä 1 esitetyn Suomen palotilastokatsauksen mukaan tyypillinen kynttiläpalo oli seurausta kynttilätuotteen huolimattomasta käytöstä. Syttyneissä tulipaloissa kynttilöitä oli jätetty palamaan ilman valvontaa läpi yön sekä jopa poistuttaessa asunnosta. Kynttilöiden sijoitteluun ei kiinnitetty riittävästi huomiota: niiden asettaminen ulkotiloissa liian lähelle seinää tai sisätiloissa liian lähelle palavia materiaaleja, usein esim. ikkunan verhoja, oli syynä useaan kynttiläpalaan tarkasteluajanjaksolla. Tämän lisäksi kynttilöiden alustamateriaali useissa tapauksissa oli palava, materiaaleista eniten mainintoja saivat puu ja muovi.

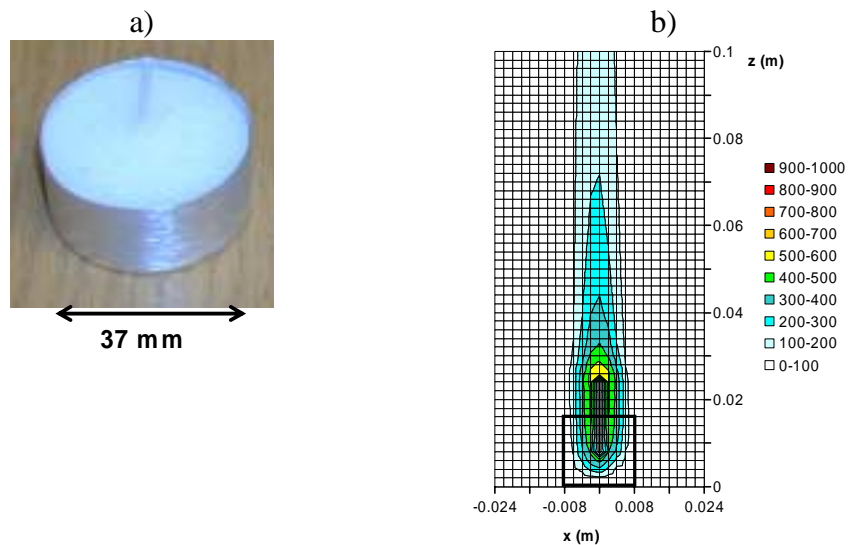
Huolimattomuuden merkitys kynttiläpalojen syynä korostuu myös muissa maissa tehdyissä tutkimuksissa. Esimerkiksi USA:ssa NFPA:n keräämien tietojen perusteella noin 40 % kynttiläpaloista tuote on jätetty ilman riittävää valvontaa ja lähes 30 % tapauksista tuote oli liian lähellä palavaa ainetta olevaa kohdetta (esim. verho).

Merkittävin kynttilätuotteisiin liittyvä paloriskitekijä on kuluttajan huolimaton tai muuten epäasianmukainen tuotteen käyttö. Tämä koskee kaikkia alla lueteltuja kynttilätuotteita ja siksi esityksen yksinkertaistamiseksi tätä

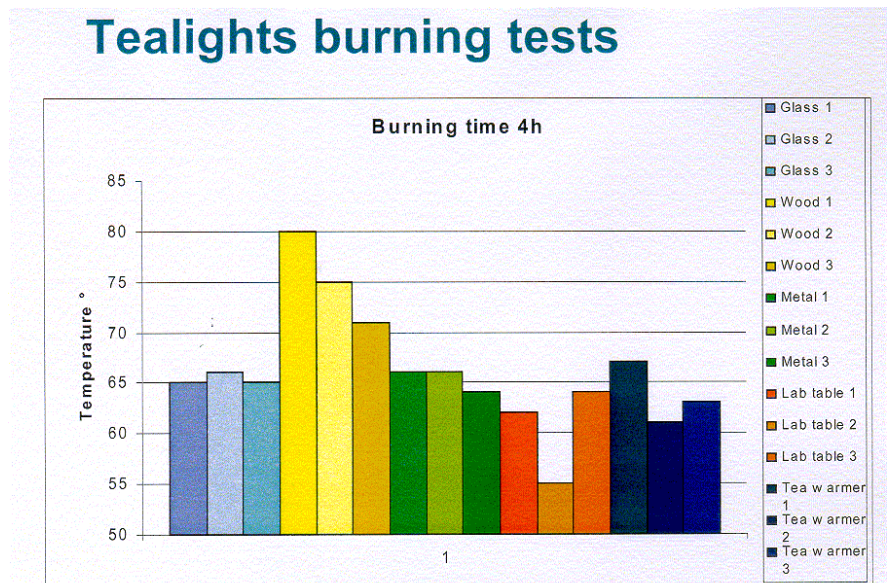
tosiseikkaa ei toisteta erikseen joka tuotteen kohdalla, vaan jatkossa keskitytään lähinnä tuotteen teknisiin ominaisuuksiin liittyviin riskitekijöihin.

2.2 Lämpökynttilät

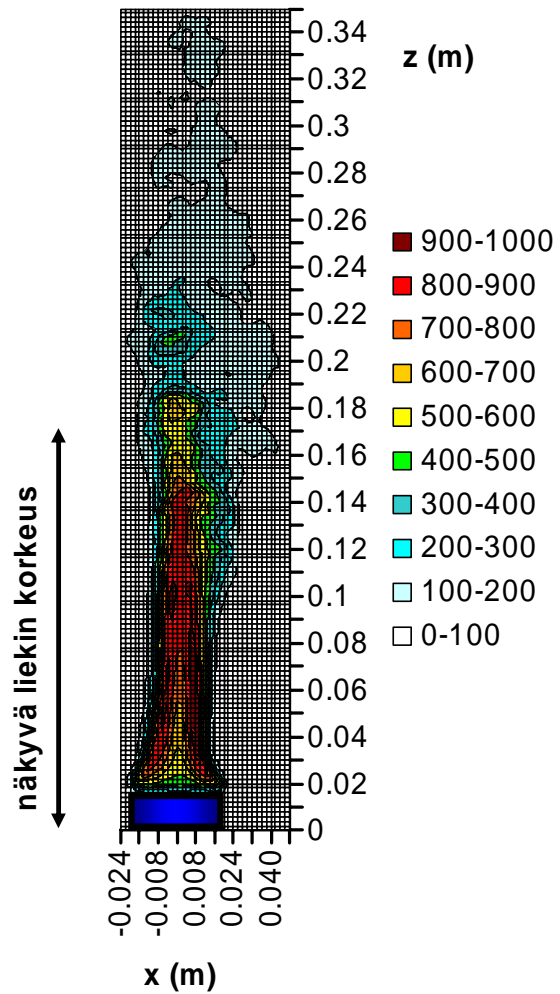
Lämpökynttilällä tarkoitetaan tässä tuotetta, joka yleensä koostuu pienehköstä metallisesta kupista, kupissa olevasta kynttilämassasta ja sydäimestä. Tyypillisimmässä Suomessa markkinoilla olevassa lämpökynttilätyypissä metallikupin korkeus on 16 mm ja halkaisija 37 mm (kuva 1). Liekin korkeus tässä tuotteessa on noin 20 mm:n suuruusluokka (palamisen vaiheesta riippuen).



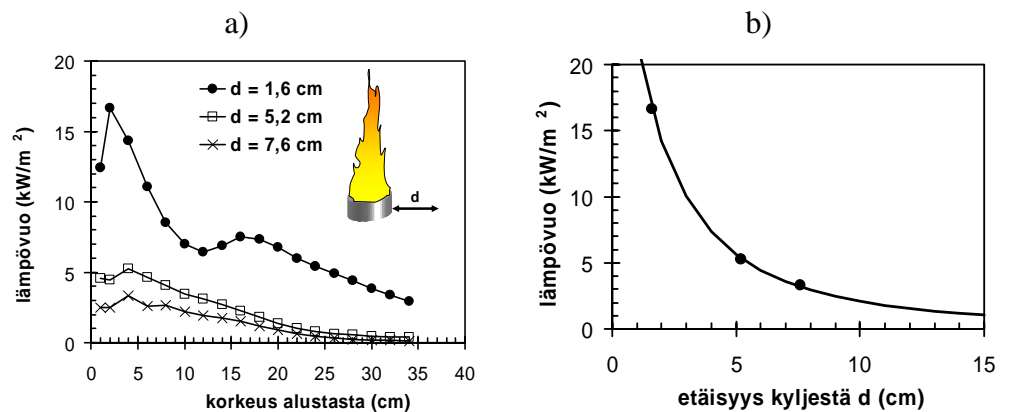
Kuva 1. a) Tyypillinen Suomessa käytetty lämpökynttilä. b) Liekkien lämpötilajakauma normaalissa palossa.



Kuva 2. Tyypillisiä lämpökynttilöiden kuoren lämpötiloja normaalin palamisen aikana [1].



Kuva 3. Allaspalona palavan 37 mm halkaisijaltaan olevan lämpökynttilän liekkien lämpötilajakauma. Näkyvä liekki ulottuu 15-20 cm:n korkeuteen ja yli 100 °C:n lämpötiloja havaitaan vielä noin 30-40 cm:n korkeudella tuotteesta.



Kuva 4. Allaspalona palavan 37 mm halkaisijaltaan olevan lämpökynttilän ympäristöönsä kohdistama lämpösäteily a) alustasta mitatun korkeuden funktiona kolmella eri etäisyydellä d (cm) tuotteen kuoresta ja b) lämpösäteilyn maksimiarvo etäisyyden d funktiona.

Ilman lyhtyä poltettavan lämpökynttilän suurimmat palovaarat liittyvät sen kuoren (kupin) liialliseen lämpenemiseen. Kun tuote palaa normaalilla tavalla eli siten, että vain sydän palaa, VTT:n ja muiden tahojen tekemien kokeiden mukaan (esim. kuva 2) kuoren lämpötila pysyy palon syttymiseen liittyvien vaarojen kannalta alhaisena.

Jos lämpökynttilän palaminen muuttuu sellaiseksi, että koko kynttilämässan pinta-ala osallistuu paloon eli palo muuttuu nestealtaan palon kaltaiseksi, kuoren lämpötila voi periaatteessa nousta niin korkeaksi, että jos tuotteen alla on palava-aineista materiaalia, ko. materiaali voi syttyä (kuva 3). Spontaanisti alkavan allaspalon todennäköisyys on ilmeisesti hyvin pieni edellä kuvatun kaltaisessa tyypillisessä Suomen markkinoilla olevassa lämpökynttilässä (halkaisija 37 mm, korkeus 16 mm): sellaista ei ole tapahtunut tässä tutkimuksessa tehdyissä kokeissa eikä muissakaan tämän tutkimuksen tekijöiden tiedossa olevissa kokeissa. Korkeammassa tuotteissa spontaanin allaspalon syttyminen on mahdollista tai jopa todennäköistä: englantilaisessa tutkimuksessa [2] havaittiin, että tuotteessa, jonka korkeus oli noin 23 mm, syttyi allaspalo neljässä kokeessa viidestä. Syy tähän eroon matalampiin tuotteisiin verrattuna on se, että korkeammassa tuotteessa liekkien lämpöenergiasta siirtyy merkittävästi suurempi osa kuoreen kuin matalammassa tuotteessa. Tämän asian kvantifiointia tarkastellaan lähemmin alempana lämpökynttilää käyttäviä lyhtyjä käsittelevässä kohdassa.

Yllä olevissa kuvissa (kuva 3 ja 4) esitetään, millaisen lämpörasituksen allaspalona palava tyypillinen lämpökynttilä kohdistaa ympäristöönsä.

Liitteessä 3 esitetään menetelmäehdotus lämpökynttilöiden pohjan lämpötilan mittaamiseksi. Liitteessä 4 esitetään tätä menetelmää käyttäen saatuja tuloksia, joiden mukaan allaspalovaiheessa mitatut lämpökynttilöiden pohjan lämpötilat ylittivät selvästi 300 °C. Samansuuntainen tulos on saatu myös viitteessä [3] tehdyissä kokeissa. Nämä tulokset viittaavat vahvasti siihen, että allaspalossa yli 300 °C:een yltävä pohjan lämpötila on ominainen piirre nykyisen kaltaisille lämpökynttilöille. Liitteessä 4 tehdyissä kokeissa tutkittiin myös sitä, voiko allaspalona palava lämpökynttilä sytyttää puupinnan. Tuloksena oli, että puupinta hiiltyi, mutta ei syttynyt palamaan. Viitteessä [3] tutkittiin, mitä tapahtuu, jos tällaista tuotetta poltetaan television päällä. Havaintona oli, että allaspalossa lämpökynttilä sulattaa muovipinnan puhki. Puhkipalamista vastaavat lämpötilat olivat noin 150-230 °C. Näiden havaintojen perusteella liitteen 3 testimenetelmäehdotuksessa ehdotetaan allaspalona palavan lämpökynttilän hyväksymiskriteeriksi samaa kuin ulkotulille eli vaatimusta, että tuotteen pohjan lämpötila ei ylitä arvoa 350 °C kauempaa kuin 5 minuuttia. Tällöin tuotteen polttaminen puupinnan päällä ei aiheuta palovaaraa, mutta muovipinnan päällä polttaminen voi aiheuttaa palovaaran. Muovipinnan suhteen turvallisen alhaisina pidettävät lämpötilat ovat kuitenkin niin alhaisia, että niiden saavuttaminen allaspalossa mitä ilmeisimmin vaatisi tuotteisiin hyvin merkittäviä muutoksia, koska allaspalossa liekit kuumillaan kuitenkin ovat lähes 1000 °C (kuva 3).

2.3 Kynttilälyhdyt

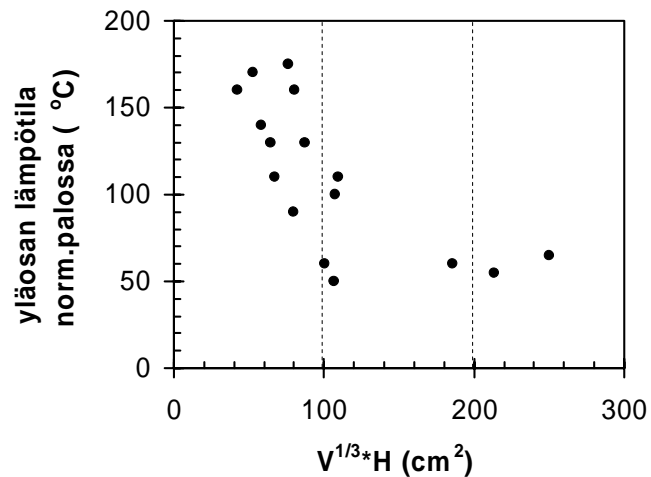
Kun lämpökynttilä laitetaan sisälle lyhtyyn, tilanne muuttuu selvästi vapaana palavasta lämpökynttilästä. Etenkin päältä suljetun tyyppisissä lyhdyissä lyhdyn materiaali voi kuumeta liiallisesti:

- lyhtyyn tarttuminen voi aiheuttaa tuskallisen tuntemuksen, mikä voi johtaa otteen herpaantumiseen ja näin aiheuttaa vaaran, että tuli pääsee leviämään ympäristöön;
- lyhdyn pinta voi tulla niin kuumaksi, että se aiheuttaa suoranaisten lyhtyyn kosketuksissa olevan materiaalin syttymisvaaran (tyypillisesti ko. materiaali on kontaktissa lyhdyn pohjan kanssa);
- lyhdyn kuumeneminen voi johtaa sen särkymiseen;
- lyhdyn rakenne voi rikkoutua, esim. mahdolliset tinaukset voivat sulaa ja ripustuslanka irrota;
- lyhtyyn muodostuvasta kuumasta kaasukerroksesta ja kuumentuneesta lyhdyn pinnasta kynttilään kohdistuva lämpörasitus voi aiheuttaa lämpökynttilän syttymisen palamaan allaspalona, jolloin lyhdyn liiallisen kuumenemisen vaara kasvaa selvästi.

2.3.1 Liialliseen kuumenemiseen liittyviä vaaratekijöitä

VTT on tehnyt 1990-luvulla useita testejä lämpökynttilää energialähteenä käytävillä lyhdyillä. Näiden testien tuloksista käy ilmi, että suljetun tyyppisissä lyhdyissä lyhdyn koko on merkittävin tekijä kuumenemisen kannalta. Tulosten analysointi tuo esille, että oleellimmat suureet ovat lyhdyn korkeus H (cm) ja sen tilavuus V (cm³): näiden suureiden avulla voidaan lyhdyn yläosasta normaalin palamisen aikana mitatut huippulämpötilat korreloida alla olevassa kuvassa (kuva 5) esitetyllä tavalla. Kuvan esittämästä tiedosta voidaan johtaa seuraava päätelmä:

- Jos suljetun lämpökynttilälyhdyn tilavuuden V (cm) kuutiojuuren ja korkeuden H (cm) tulo on suurempi kuin 200 cm², niin vaara lyhdyn liiallisesta kuumenemisestä on pieni; jos kyseinen tulo on pienempi kuin 100 cm², niin lyhdyn liiallisen kuumenemisen vaara on merkittävä.

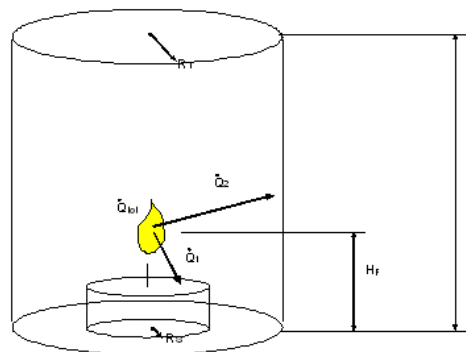


Kuva 5. Lämpökynntilää käyttävien suljettujen lyhtyjen kuoren yläosan lämpötilojen riippuvuus lyhdyn kokoa kuvaavasta suureesta $V^{1/3}H$.

a) Avoimen kynttilälyhdyn lämmönsiirtomalli

Ajatus: kynttilän säteilemä teho (n. 30 % kokonaistehosta) kuluu pääasiassa kahteen tapahtumaan:

- 1) steariinin lämmittäminen, teho Q_1
- 2) ympäröivän materiaalin lämmittäminen, (tässä: sisäpuki) teho Q_2



approksimaatio paloteholle

$$\dot{Q}_{bol} \approx \Delta H_c \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{1}{2} \cdot \chi_{rad} \cdot \dot{Q}_{bol} \cdot \alpha \cdot \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (R_c/H_c)^2}} \right]$$

$$\dot{Q}_2 = \frac{1}{2} \cdot \chi_{rad} \cdot \dot{Q}_{bol} \cdot \varepsilon \cdot \left[\frac{(L_T - H_c)/R_c}{\sqrt{1 + ((L_T - H_c)/R_c)^2}} + \frac{H_c/R_c}{\sqrt{1 + (H_c/R_c)^2}} \right]$$

steady state:

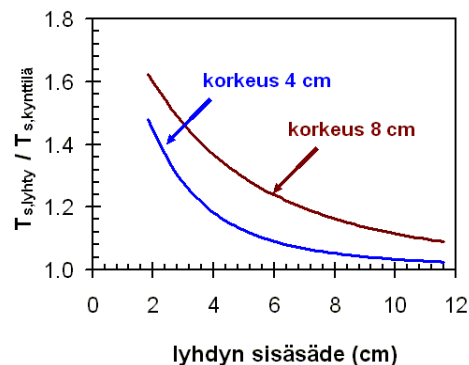
$$\dot{Q}_1 = h_c \cdot A_c \cdot (T_c - T_w) + \sigma \cdot \alpha \cdot A_c \cdot (T_c^4 - T_w^4)$$

$$\dot{Q}_2 = h_r \cdot A_r \cdot (T_r - T_w) + \sigma \cdot \varepsilon \cdot A_r \cdot (T_r^4 - T_w^4)$$

$$A_c = \pi R_c^2$$

$$A_r = 2 \cdot 2 \pi R_c L_T \quad (\text{lämmönsiirto kahteen suuntaan})$$

b)

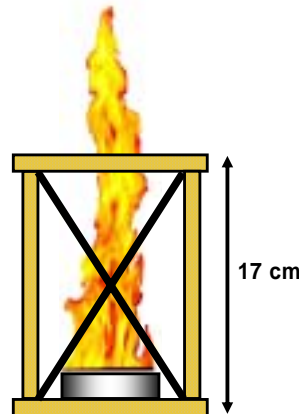


Kuva 6. a) Yksinkertaistettu säteilylämmönsiirtoon perustuva malli avoimen lämpökynntilää käyttävän lyhdyn kuumenemiselle ja b) esimerkki siitä, miten 8 cm korkean tuotteen kynttilämassa kuumenee enemmän kuin 4 cm korkean tuotteen kynttilämassa.

Edellä tuli jo esille, että lämpökynttilöissä sellainen malli, jonka korkeus on tavanomaista suurempi, syttyy herkästi palamaan allaspalona. Sama ilmiö pätee myös päältä avoimille lämpökynttilää lämmönlähteenä käyttäville lyhdyille: mitä kapeamman ja korkeamman muotoinen tuote on, sitä voimakkaammin kynttilämässä kuumenee. Tämä ilmiö johtuu siitä, että tämänkaltaisessa tuotteessa merkittävä osuus liekissä vapautuvasta lämpöenergiasta ei pääse kulkeutumaan pois tuotteesta vaan siirtyy lämmittämään lyhdyn ja lämpökynttilän muodostamaa systeemiä. Yllä olevassa kuvassa (kuva 6) on esitetty ilmiölle yksinkertainen säteilylämmönsiirtoon perustuva malli ja mallin tuloksia on demonstroitu laskemalla, miten paljon enemmän kynttilämässä kuumenee 8 cm korkeassa tuotteessa kuin 4 cm korkeassa tuotteessa.

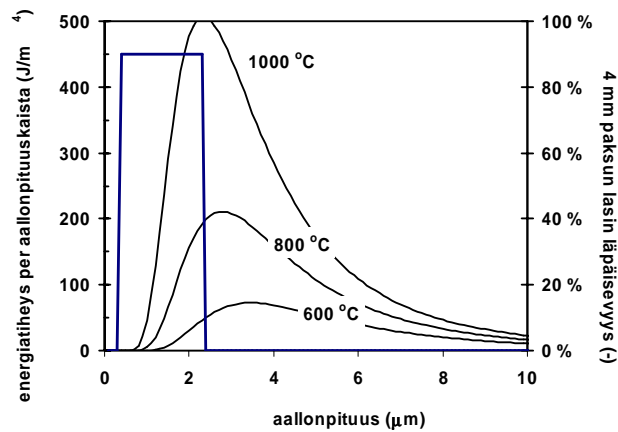
Usein ns. tallilyhdyissä on käytössä pinta-alaltaan normaalia lämpökynttilää laajempi kynttilä. Tällaisessa tuotteessa on merkittäviä vaaroja:

1. Koska todennäköisyys, että pinta-alaltaan normaalia laajempi lämpökynttilä syttyy allaspaloon voi ym. englantilaisten tutkimuksen mukaan olla merkittävä, niin tallilyhdyn suljettu tila kasvattaa tätä todennäköisyyttä vielä lisää.
2. Jos laajan pinta-alan omaava lämpökynttilä syttyy allaspaloon tallilyhdyn sisällä, ellei kyseessä ole erityisen korkea lyhty (suuruusluokkaa 0,5 m) on syntyvä liekki korkeampi kuin lyhty, ks. kuva 7. Jos lyhdyn rakenteet ovat palavaa materiaalia, esim. puuta, on niiden syttyminen tällaisessa tapauksessa hyvin todennäköistä.



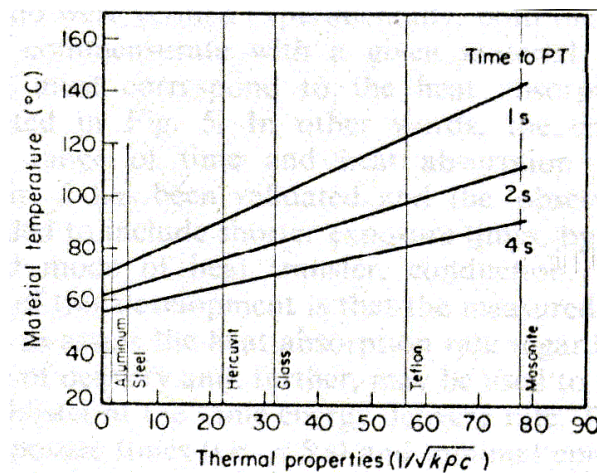
Kuva 7. Arvioitu vapaa liekin korkeus allaspalotilanteessa verrattuna tuotteen kokoon tyypillisessä tallilyhdyssä, jossa lämmönlähteenä on halkaisijaltaan 6 cm leveä lämpökynttilä.

Lyhdyn kuumenemiseen vaikuttaa myös sen väri: tummat tuotteet absorboivat lämpöä voimakkaammin kuin vaaleat. Esimerkiksi lasituotteille voidaan alla olevasta kuvasta (kuva 8) nähdä, että tyypillinen liekkien tuottama lämpösäteily absorboituu osittain lasiin ja siten muutokset lasin läpäisevyydessä muuttavat lasiin absorboituvaa lämpöenergiämäärää.



Kuva 8. Liekkien lämpötiloja vastaavien eri lämpötilassa olevien mustien kappaleiden säteilyenergian tiheyden riippuvuus aallonpituudesta (vasen asteikko) ja tyypillinen 4 mm paksun lasin läpäisevyys (oikea asteikko) [4].

Liiallisesti kuumentunut tuote voi sytyttää herkästi syttyvää ainetta olevan alustan. Toinen uhkatekijä, joka lyhdyn liialliseen kuumenemiseen liittyy, on se, että tuotetta siirrettäessä kuuma pinta voi aiheuttaa niin kivuliaan tunteen, että ote herpoo tuotteesta ja tuote putoaa. Tämän uhkatekijän suhteen metallikuoriset tuotteet ovat vaarallisimpia, koska niiden pinta tuntuu helposti polttavalta materiaalin suuren lämpöhitauden¹ vuoksi, ks. kuva 9.



Kuva 9. Sormen kipukynnyslämpötilan (PT) saavuttaminen eri materiaaleilla ja materiaalien lämpötiloilla [6].

2.3.2 Lyhdyn rikkoutumiseen vaikuttavia seikkoja

Lämpökynntilää käyttävä tuote kuumenee sitä käytettäessä aina jonkin verran. Erityisesti mahdollisessa allaspalossa kuumeneminen on yleensä voimakasta

¹ Lämpöhitaus on aineen tiheyden ρ , lämmönjohtavuuden k ja ominaislämmön c tulo: esimerkiksi teräkselle $\rho kc = 184 \cdot 10^6 \text{ J}^2/\text{m}^4/\text{K}^2/\text{s}$ ja posliinille $2 \cdot 10^6 \text{ J}^2/\text{m}^4/\text{K}^2/\text{s}$. Ihon lämpöhitaus on $1,5 \cdot 10^6 \text{ J}^2/\text{m}^4/\text{K}^2/\text{s}$ [5].

siten, että lyhdyn lämpötila nousee ainakin paikoin 100 °C tai enemmän. Kuumeneminen ei yleensä tapahdu tasaisesti, vaan jotkin osat kuumenevat selvästi muita enemmän. Siksi eri kohdat lämpölaajenevat eri tavoin, joka aiheuttaa materiaaliin jännityksiä. Kun nämä jännitykset ylittävät materiaalin kestäkyvyn, tuote voi hajota. Kokemus osoittaa, että etenkin lasiset tuotteet voivat särkyä voimallisesti pirstaloitumalla (ks. kuva 10). Tällöin lämpökynntilän liekki voi joutua kosketuksiin palavien materiaalien (esim. alustana oleva pöytälevy) kanssa. Lisäksi sirpaleet voivat vahingoittaa lähellä olevia henkilöitä. Kivisissä tai keraamisista materiaaleista tehdyissä tuotteissa tyypillinen särkymistapa on säröytyminen. Jos tuotteessa on tinauksia esim. ripustusrakenteessa, nämä voivat sulaa tuotteen kuumenemisen vuoksi.



Kuva 10. Lämpökynntilän allaspalon aikana syntyneiden jännitysten pirstaleiksi särkemä lasinen lyhty. On huomattavaa, että osaset ovat lentäneet paikaltaan jättäen lämpökynntilän alustan päälle, jolloin palava-aineinen alusta olisi voinut syttyä tuleen.

2.3.3 Muita vaaratekijöitä

Metallikuorisissa lyhdyissä tuotteen särkymisvaara on allaspalonkin aikana häviävän pieni. Eräs kuumentamisen aiheuttama vikaantumismahdollisuus liittyy kuitenkin mahdollisten juotoksien sulamiseen. Tällaisia juotosliitoksia voi olla joko lyhdyssä tai sitä mahdollisesti kannattelemaan tarkoitettussa reparakenteessa.

Jos lyhty on tarkoitettu ripustettavaksi, ripustukseen liittyvät materiaalit eivät saa kuumeta liian kuumiksi koskettaa edes allaspalon aikana, koska allaspalotilanne voi hyvinkin olla kuluttajalle sellainen yllättävä tilanne, johon hän ei ole osannut varautua ja johon hänen siksi täytyy puuttua kesken allaspalon (esim. tuotteen siirtäminen kauemmas palava-aineisista materiaaleista).

Lyhty ei saa olla liian kiikkerä niin, että on vaara, että se kaatuu käytön aikana. Tämän raportin liitteessä 3 ehdotetaan lyhtyjen kaatumisvaaran testaamiseen öljylamppustandardissa (EN 14059:2002, Decorative oil lamps – Safety requirements and test methods) kuvattua tapaa.

2.4 Hauta- ja puutarhalyhdyt, joiden kuori on palavaa materiaalia

Hauta- ja puutarhalyhdyt, joiden kuori on tehty palavasta materiaalista, aiheuttavat tulipalovaaran lähinnä, kun niitä käytetään verannalla, pihassa tai puutarhassa. Hautausmaalla tuotteesta mahdollisesti lähtevä palo rajoittuu suurella todennäköisyydellä syttymiskohdan välittömään läheisyyteen (havut, kukat, jne.) ja vahingot ovat lähinnä esteettisyyteen ja haudan integriteettiin liittyviä.

Hauta- ja puutarhalyhdyissä palavaa ainetta oleva kuori on yleensä muovia, mutta se voi olla myös esim. paperia tai puuta. Jälkimmäiset materiaalit muodostavat kuitenkin hyvin pienen vähemmistön ja siksi yksinkertaisuuden vuoksi jatkossa näihin tuotteisiin viitataan termillä "muovikuorinen".

Muovikuoristen lyhtyjen kuorimateriaali ei saa syttyä palamaan käytön aikana, koska tämä on sellainen häiriötilanne, johon kuluttajan ei voida olettaa olevan varautunut. Siksi kuoren syttyminen voi johtaa palovaaran syntymiseen.

Kuorimateriaali ei myöskään saa sulaa siten, että se aiheuttaa palonleviämisaarua.

Etenkään puutarhalyhdyt eivät saa kaatua liian helposti eivätkä ne myöskään saa lähteä liikkeelle kohtalaisen tuulen mukana silloinkaan, kun tuotteen pohjalla on kynttilämassaa enää vähän. Nämäkin ovat molemmat häiriötilanteita, joihin kuluttajan ei voida olettaa olevan varautunut ja muodostavat siksi siis potentiaalisen palovaaran. Puutarha- ja hautalyhtyjenkin kaatumisherkkyuden testaamiseksi ehdotetaan liitteessä 3 öljylamppustandardissa (EN 14059:2002, Decorative oil lamps – Safety requirements and test methods) kuvattua tapaa. Sille, miten herkästi tuotteet lähtevät kulkemaan tuulen ja muiden ilmapvirtausten mukana ei ole valmista testaustapaa. Tätä herkkyyttä voidaan kuitenkin arvioida vertaamalla tuulen paineen $p_{\text{tuuli}} = A_{\text{eff}} \rho v^2 / 2$ suuruutta tuotetta paikallaan pitävään kitkavoimaan $\eta m_0 g$, missä A_{eff} on tuotteen tuulta vastaan kohtisuoran poikkileikkauksen pinta-ala (m^2), $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ on ilman tiheys, v on ilmapvirtauksen nopeus (m/s), η on kitkakerroin, m_0 on tuotteen massa, kun se on lähes tyhjä ja $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Käyttämällä arvoja $v = 2 \text{ m/s}$ ja $\eta = 0,2$, saadaan tuotteen koon ja massan välille vaatimus: $1,2 A_{\text{eff}} < m_0$, missä pinta-ala ilmaistaan neliömetreissä ja massa kilogrammoissa. Tyypillisillä Suomessa markkinoilla olevilla muovikuorisilla tuotteilla $A_{\text{eff}} \approx 0,01 \text{ m}^2$ ja $m_0 \approx 0,02 \text{ kg}$, joten eo. ehto toteutuu. Esitetty ehto ei siis oleellisesti vaikuta tyypillisiin nykyään markkinoilla oleviin tuotteisiin, mutta se voi rajata mahdollisten markkinoille tulevaisuudessa tulevien hyvin kevyiden tuotteiden käyttöä.

2.5 Ulkotulet

2.5.1 Yleistä

Ulkotulet ovat vain ulkokäyttöön tarkoitettuja kynttilätuotteita. Tyypillisesti ne koostuvat metallisesta astiasta, jossa kynttilämassa on, sekä sydäimestä. Niin kutsutuissa folioulkotulissa kynttilämassa on alumiinifoliosta tehdystä

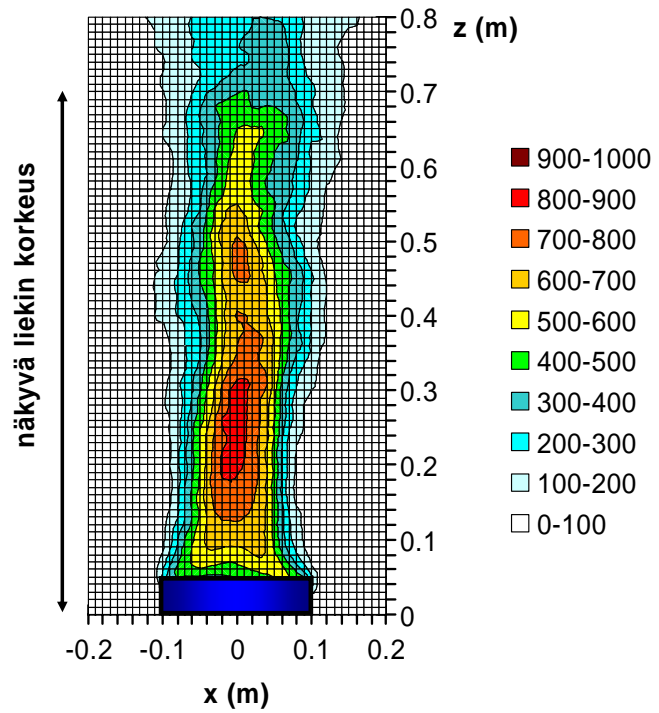
kuoressa. Suomessa markkinoilla olevien ulkotulien tyypillinen halkaisija vaihtelee noin 10-20 cm välillä (löytyy myös jonkin verran yli 23 cm halkaisijaltaan olevia tuotteita) ja korkeus hieman alle 5 cm:stä noin 15 cm:iin.

Ulkotulien ympäristöönsä aiheuttama lämpörasitus on verrannollinen tuotteen kokoon: normaalissa palossa liekin koko riippuu sydämen koosta ja allaspalona palavassa tuotteessa tuotteen halkaisijasta. Allaspalossa suuret ulkotulet vastaavat avotulta (pientä nuotiota), ks. esim. kuva 11, joka esittää lämpötiloja tuotteen yläpuolella, jonka halkaisija on 20 cm. Tällaisen ulkotulen luovuttama lämpöteho on noin 30 kW ja näkyvän liekin korkeus on noin 70 cm. Tuotteen tehosta noin kolmannes siirtyy ympäristöön lämpösäteilynä ja kaksi kolmannesta kuljettuu tuotteen liekkien muodostaman kuuman ilmavirtauksen mukana. Tuotteelle, jonka halkaisija on 10 cm, paloteho on noin 6 kW ja liekin korkeus allaspalossa noin 40 cm.

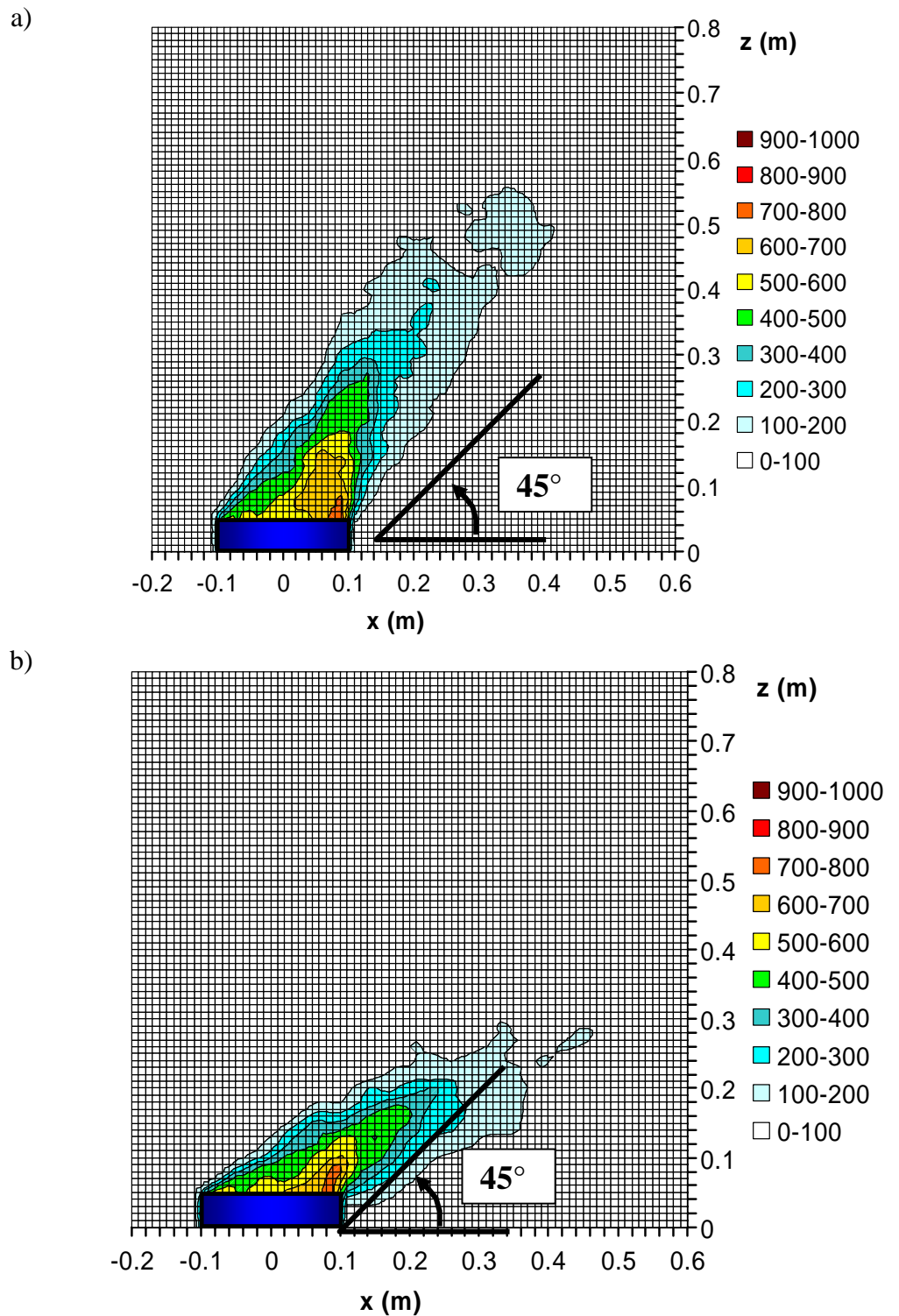
Ulkotulen lämpösäteilyn ympäristöön kohdistuvaa lämpörasitusta voidaan arvioida ns. pistelähdemallin mukaan: tällöin edellä mainitulle halkaisijaltaan 20 cm leveälle tuotteelle esim. puun syttymiseen pitkään kestävässä lämpörasituksessa vaadittava noin 10 kW/m²:n suuruinen lämpösäteily saavutetaan noin 30 cm:n etäisyydellä tuotteen keskipisteestä (20 cm kyljestä).

Sivulta puhaltava tuuli taivuttaa liekkejä; tyypillisesti liekin kallistuma on noin 45° (ks. kuva 12). Lisäksi liekit voivat hetkellisesti hulmahdella tuulen mukana: halkaisijaltaan 20 cm leveälle ulkotulelle hyvin kuumat liekkien hulmahdukset voivat ulottua noin puolen metrin päähän tuotteesta (kuva 13). Tuuli lisää myös alustaan kohdistuvaa lämpövuota (kuva 14).

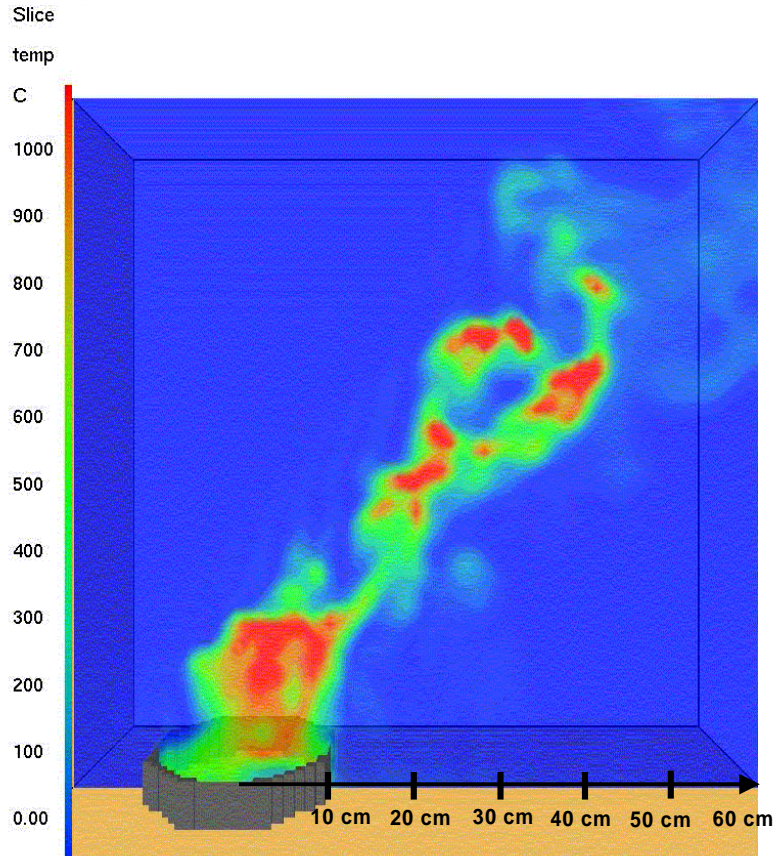
Alla esitettyjen kuvien ja lukuarvojen perusteella halkaisijaltaan noin 20 cm leveälle ulkotulelle riittävä turvaetäisyys on noin puoli metriä. Monet valmistajat suosittelevat turvaetäisyydeksi tyypillisesti 1 metrin etäisyyttä tai jopa 2 m:n etäisyyttä, jos tuotteen halkaisija on erityisen suuri (25-30 cm). Pyöreinä lukuina nämä suosituksetäisyydet ovat kuluttajalle helppoja toteuttaa ja ne jättävät varaa kuluttajan virheellisille tulkinnoille sekä antavat suojaa esim. mahdollisia veden ulkotuleen joutumisen aiheuttamia roiskeita vastaan. Siksi nämä arvot on syytä pitää ennallaan.



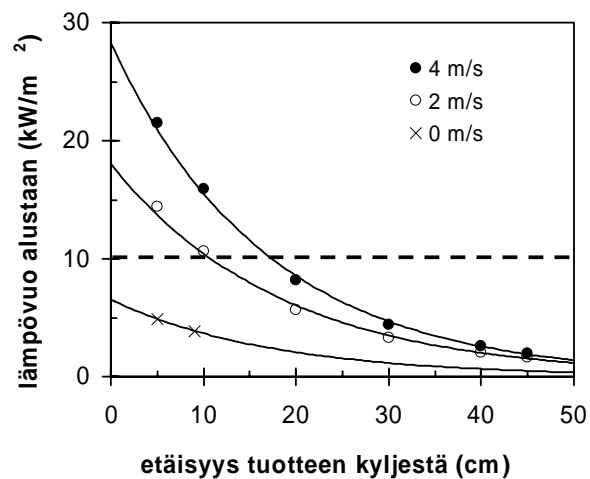
Kuva 11. 20 cm halkaisijaltaan olevan allaspalona palavan ulkotulen liekin aikakeskiarvoistettu lämpötilajakauma (FDS-ohjelmalla tehdyn virtausmekaanisen laskennan tulos), kun tilanteessa ei vaikuta sivuttaisia ilmavirtauksia.



Kuva 12. 20 cm halkaisijaltaan olevan allaspalona palavan ulkotulen liekin aikakeskiarvoistettu lämpötilajakauma (FDS-ohjelmalla tehdyn virtausmekaanisen laskennan tulos), kun tilanteessa vaikuttaa a) maksiminopeudella 2 m/s ja b) maksiminopeudella 4 m/s puhaltava sivutuuli (parabolinen nopeusjakauma).



Kuva 13. Hetkellinen liekin hulmahdus allaspalona palavassa ulkotulella, jonka halkaisija on 20 cm ja johon kohdistuu maksiminopeudella 2 m/s puhaltava sivutuuli.



Kuva 14. Alustaan kohdistuvan lämpövuon riippuvuus etäisyydestä tuotteen kyljestä kolmella eri sivulta puhaltavan tuulen voimakkuuden arvolla allaspalona palavassa ulkotulella, jonka halkaisija on 20 cm. Taso 10 kW/m² vastaa puun syttymisen pitkäkestoisessa altistuksessa aikaansaavaa lämpövuota.

2.5.2 Puualustan syttyminen allaspalona palavan ulkotulen vaikutuksesta

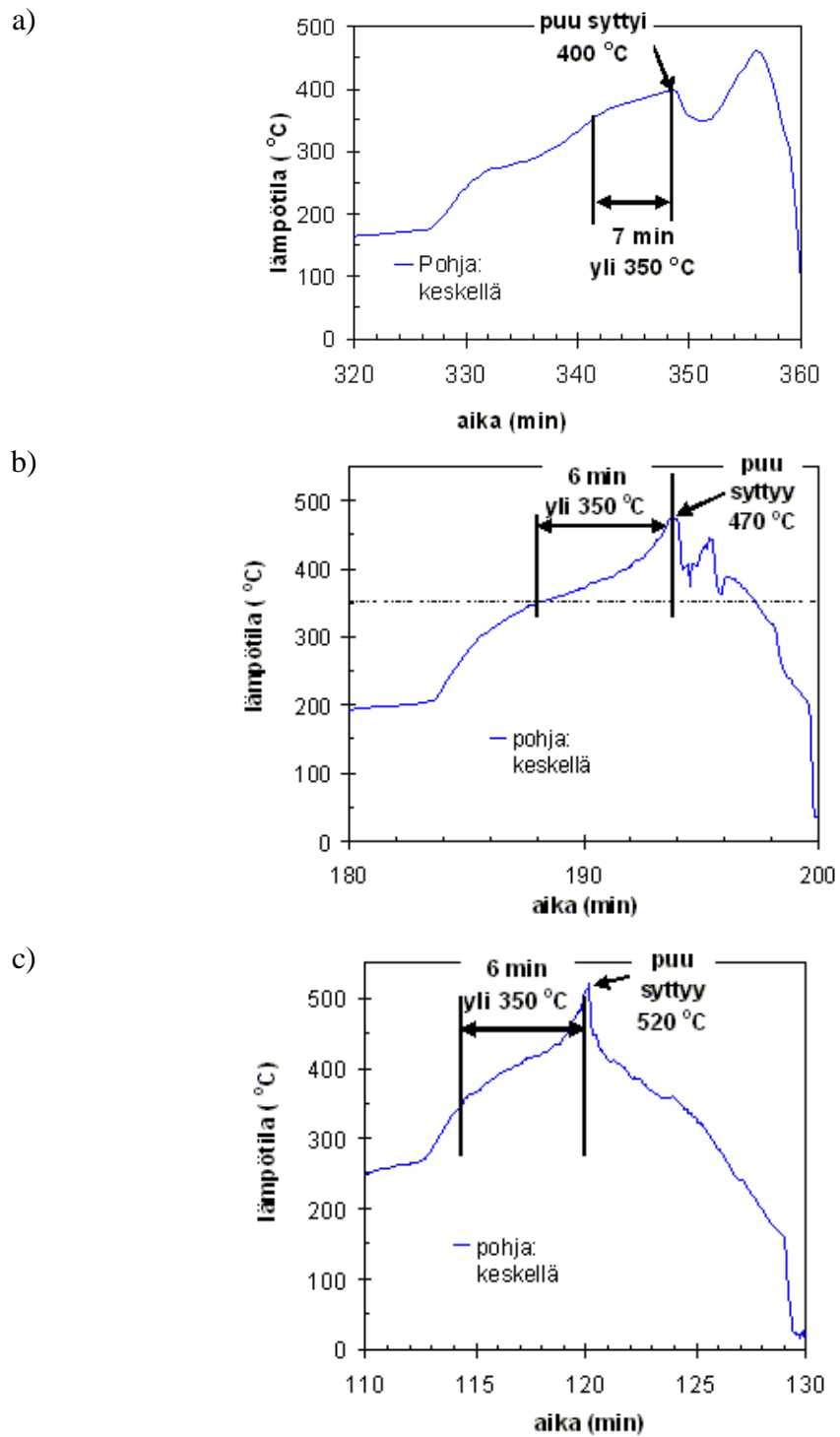
Kun ulkotuli palaa allaspalossa, siinä syntyy runsaasti lämpöä ja siten tuotteen kuoren lämpötila voi nousta varsin korkeaksi, hetkellisesti jopa noin 500 °C:een. Se, milloin tuotteen kuumenemista on pidettävä liiallisena on herättänyt paljon keskustelua: kuumenemisen mahdollinen liiallisuus tulee määritellä suhteuttamalla se johonkin kriteeriin eikä tällaista kriteeriä ole ollut helppoa määritellä kaikkia keskustelun osapuolia tyydyttävällä tavalla.

Liitteessä 1 esitetyn vuosia 2000-2002 koskevan palotilastotutkimuksen mukaan tyypillinen ensimmäinen syttynyt kohde oli muovipöytä (16 kpl), mutta myös puu esiintyi varsin usein ensimmäisenä syttyvänä kohteena (10 kpl). Muovin syttyminen on siis yleisempi uhkakuva, mutta myös puun syttyminen on varsin merkittävä uhkakuva. Kuitenkin on ilmeistä, että muovialustan syttymis-/sulamisskenaarioon perustuva ulkotulen liiallisen kuumenemisen kriteeri tuottaisi sellaisen vaatimustason, että sen saavuttaminen vaatisi hyvin merkittäviä muutoksia nykyään markkinoilla oleviin tuotteisiin. Siksi tässä raportissa ehdotetaan käytettäväksi puun syttymiseen perustuvaa kriteeriä, koska tämä mahdollistaa lievän tuotteen käyttöohjeen vastaisen käytön ilman suurta turvallisuusriskiä.

Puun syttymiseen perustuvan skenaarion kriteerin kvantifiointia tutkittiin kokeellisesti. Kokeissa poltettiin kolmea erityyppistä ulkotulta allaspalossa havuvanerin tai mäntylaudan päällä ja mitattiin pohjan keskustan lämpötilaa. Tulokset esitetään alla olevassa kuvassa (kuva 15). Havaittiin, että ulkotulen pohjan saavuttamat lämpötilat puun syttymishetkellä vaihtelivat laajalla alueella: 400 °C, 470 °C ja 520 °C. Varsin vakioisena sen sijaan pysyi aika siitä hetkestä, kun pohjan lämpötila ylitti 350 °C siihen hetkeen, kun puupinta syttyi. Nämä ajat ovat olivat 7 min, 6 min ja 6 min. Koska tämä suure kuvaa puupintaan kohdistuvaa lämpörasitusta, on luonnollista, että se on suurin piirtein vakio. Tätä suureta ehdotetaankin tämän raportin liitteessä 3 käytettäväksi ulkotulien kuoren lämpötilan testaamiskriteerinä: tuote katsotaan hyväksyttäväksi, jos ajanjakso, jona pohjan keskipisteen lämpötila ylittää 350 °C, on lyhyempi kuin 5 minuuttia.

Puupinnan syttymislämpötilasta ei voida antaa tiettyä yksiselitteistä lukuarvoa, koska sen syttymiseen vaikuttaa aineen ominaisuuksien lisäksi lukuisia muita tekijöitä. Tärkeimpiä ulkoisia syttymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. lämmitystapa (siirtykö lämpö aineeseen johtumalla, kuljettumalla vai lämpösäteilyn välityksellä) ja lämmitysnopeus, ilman virtaukset ja kosteus syttyvän pinnan läheisyydessä, lämmitetyn kappaleen koko, jne. Babrauskasin tekemän kirjallisuuskatsauksen [7] mukaan kirjallisuudessa esitetyt puumateriaalin syttymiseen liittyvät lämpötila-arvot vaihtelevat noin 200 °C:sta 500 °C:een. Puupinnan syttymistä koskevat arvot ovat tyypillisesti välillä 350 °C – 400 °C [8-13].

VTT teki vuonna 1999 16 tuotetta käsittäneen tutkimuksen ulkotulien kuoren lämpötiloista (taulukko 1 ja kuva 16). Tämän tutkimuksen mukaan edellä esitetty vaatimus ei ole kohtuuttoman ankara vaatimus, koska sen mukaan vain yksi tuote kuudestatoista (6 %) ei olisi täyttänyt ko. vaatimusta.

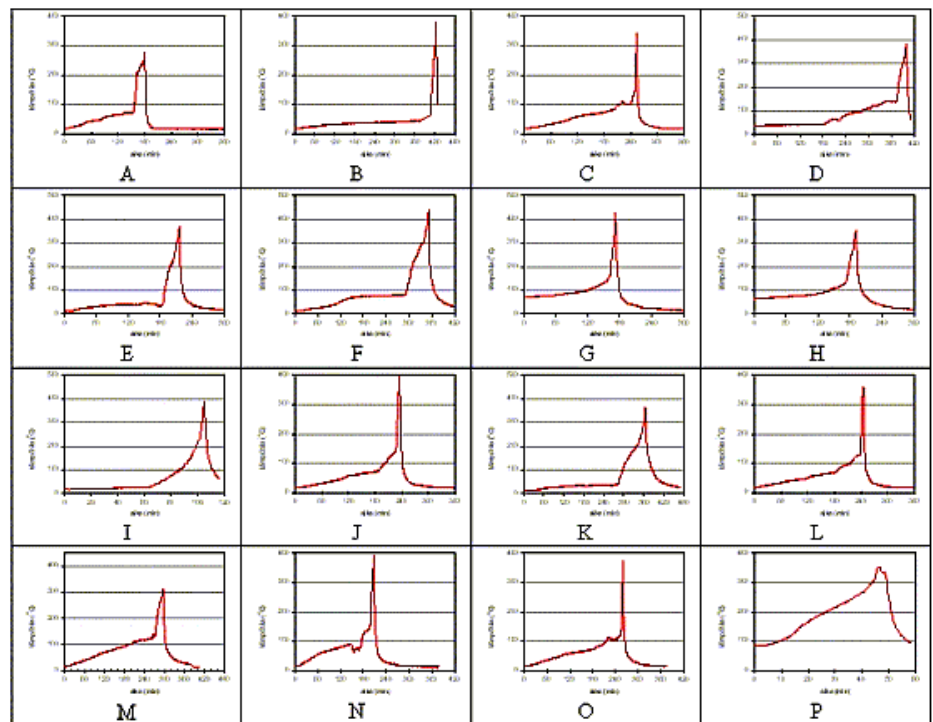


Kuva 15. Puupinnan (havuvaneri/mäntylauta) syttyminen allaspalona palavan ulkotulen alla: pohjan keskellä mitatun lämpötilan ajallinen kehitys.

Taulukko 1. VTT:n vuonna 1999 tutkimat 16 ulkotulta. Vain yhdessä tuotteessa pohjan keskipisteen lämpötila ylitti 350 °C pitempään kuin 5 minuuttia (rengastettu).

Tuote	yläreunan halkaisija (mm)	korkeus (mm)	nettopaino (g)	suurin mitattu lämpötila pohjan keskellä (°C)	aika, jona pohjan lämpötila ylittää 350 °C (min)
Lyhty A: Citronella Hyttyskynttilä	38	18	15	277	0.0
Lyhty B: Foliolyhtyskynttilä	80	36	90	378	0.5
Lyhty C: Ulkotuli Marschall	130	85	170	340	0.0
Lyhty D: Ulkotuli Citronella	100	55	200	382	3.0
Lyhty E: Bite Fighter Citronella Candle	85	70	120	368	2.0
Lyhty F: Bite Fighter Citronella Pure Butterwax Candle	100	100	275	436	8.3
Lyhty G: Ulkotuli	160	75	620	427	2.7
Lyhty H: Juhlatuli Ulkoroihu	130	85	390	353	0.0
Lyhty I: Juhlatuli Liekkimeri	180	180	n. 2000	387	0.7
Lyhty J: Juhlatuli Pohjanroihu	130	45	190	413	2.3
Lyhty K: Pihatuli Tunnelmantekijä	130	80	850	366	1.3
Lyhty L: Pieni Ulkotuli	100	35	120	359	0.3
Lyhty M: Pirkka Ulkosoihtu	100	55	220	313	0.0
Lyhty N: Pirkka Folio Ulkotuli	100	35	110	395	3.0
Lyhty O: Hyvä Sydän Ulkotuli	130	50	160	374	1.3
Lyhty P: Pikkutuli	100	55	170	350	0.0

Lahteet: VTT Rakennustekniikka. 1999. Tutkimusseosteet nro RTE11876A/99, RTE11876B/99, RTE11876C/99, RTE11876D/99, RTE11876E/99, RTE11876F/99, RTE11876G/99, RTE11876H/99, RTE11876I/99, RTE11876J/99, RTE11876K/99, RTE11876L/99, RTE11876M/99, RTE11876N/99, RTE11876O/99 ja RTE11876P/99.



Kuva 16. VTT:n tutkimien 16 ulkotulen lämpötiläkäyrät: allaspalo aiheuttaa hetkellisen lämpötilan nousun kokeen loppuvaiheessa. Ulkotulen alustaansa kohdistama lämpörasitus riippuu tämän lämpötilanousun ajallisesta kestoista.

2.6 Muut kynttilätuotteet

Yleisin kynttilätuote lienee "tavallinen" kynttilänjalassa poltettava kynttilä. Suuren käyttömäärän vuoksi nämä tuotteet aiheuttanevat myös suurimman osan tulipaloista. Yleisiä tulipalon alkusyitä ovat tuotteen asettaminen liian lähelle syttyvää materiaalia ja tuotteen kaatuminen/tippuminen syttyvän materiaalin päälle kynttilän palaessa loppuun. Sen edellytyksenä, että tällainen vahinko pääsee kehittymään tulipaloksi asti on, että tuotetta valvotaan puutteellisesti (esim. siten, että tuote palaa yksinään keittiössä, kun henkilöt ovat olohuoneessa).

Koska kynttilän palaminen loppuun valvonnan puutteen tai muun syyn takia on hyvin merkittävä kynttiläpalojen syy, tämä uhkakuva on otettu liitteessä 3 esitetyn testausmenetelmän perustaksi.

Kynttilän koristelut voivat edesauttaa palovaaran syntymistä. Nämä voivat olla erillisiä tuotteita, kuten mansetteja, jotka voivat syttyä palamaan ja aiheuttaa palavan aineen valumisen syttyvälle alustalle. Kynttilässä itsessään voi olla myös koristelutarkoituksessa tehtyjä muotoiluja (esim. enkelin tai tontun kuvia, yms.), jotka voivat aiheuttaa sen, että tuotteen normaali palaminen häiriintyy ja palavaa materiaalia pääsee valumaan alustan päälle.

Markkinoilla on kynttilöitä ja lämpökynttilöitä käyttäviä tuotteita, joissa on useita kynttilöitä/lämpökynttilöitä asetelmiksi sommiteltuina. Usein asetelma muodostuu samassa tasossa olevista tuotteista, mutta tuotteet voivat olla myös eri tasoissa. Tavallisten kynttilöiden asetelmissa palovaaroja ei yleensä aiheudu, koska niissä ei synny allaspaloa. Riittää, kunhan mahdollisesti eri tasoon asetellut kynttilät eivät ole aivan samalla pystylinjalla tai jos asetelmassa on samalla pystylinjalla olevia kynttilöitä, niillä on riittävä etäisyys. Jos alapuoleinen kynttilä palaa kuvassa 1b esitetyn kaltaisesti, riittävä etäisyys pystysuunnassa on kynttilän korkeus + noin 25 cm; tällöin lämpötila ylemmän kynttilän kohdalla on selvästi pienempi kuin kynttilämassan tyypillinen sulamislämpötila (noin 50 °C). Jos asetelma muodostuu lämpökynttilöistä, allaspalon mahdollisuus on otettava huomioon. Tällöin pystysuuntainen turvaetäisyys on selvästi em. arvoa korkeampi: kuvassa 3 esitetyn lämpötilajakauman perusteella riittävä etäisyys ylemmän kynttilän massan sulamisen suhteen on noin 60-70 cm. Lämpökynttilöistä muodostuvassa asetelmassa vaaditaan myös vaakasuuntaista turvaetäisyyttä. Kuvan 4 mukaan lämpösäteilyn huippuarvo esiintyy noin 2-4 cm:n korkeudella lämpökynttilän pohjasta. Esimerkiksi puun syttymiseen pitkään jatkuvassa lämpöaltistuksessa tarvittava noin 10 kW/m² suuruinen lämpövuoto vallitsee noin 3 cm:n päässä allaspalona palavan lämpökynttilän kuoresta. Noin kaksinkertainen etäisyys eli 5 cm antaa varmalla puolella olevan arvion kohteiden syttymiseen liittyvästä turvaetäisyydestä. Kun tarkastellaan allaspalossa palavan lämpökynttilän vaikutusta asetelman muihin lämpökynttilöihin, on vaadittava lämpövuoto selvästi pienempi: lämpövuorajaksi voidaan asettaa esim. tyypillinen takan lähistöllä vaikuttava arvo, noin 2 kW/m², jota vastaava turvaetäisyys on noin 10 cm.

3 Riskien kartoitus- ja arviointilista

Seuraavassa on esitetty edellä tarkasteltujen vaaratekijöiden arviointiin soveltuva taulukko.

Taulukko 2. Lista kynttilätuotteiden aiheuttamien tulipalovaarojen kartoittamisen ja suuruuden arviointiin.

Lämpökynttilät		
	neutraali riskitaso	kohonnut riskitaso
Tuotteen halkaisija d	$d < 40$ mm	$d > 50$ mm
Tuotteen korkeus h	$h < 18$ mm	$h > 20$ mm
Tuotteen kuumeneminen	läpäisee liitteessä 3 esitetyn testin	ei läpäise liitteessä 3 esitettyä testiä
Lämpökynttilää lämmönlähteenä käyttävät lyhdyt		
	neutraali riskitaso	kohonnut riskitaso
Tuotteen koko 1: tilavuuden V (cm³) kuutiojuuren ja korkeuden h (cm) tulo	$V^{1/3}h > 200$ cm ²	$V^{1/3}h < 100$ cm ²
Tuotteen koko 2:	korkeus < säde	korkeus > säde
Tuotteen materiaali	keraaminen aine tai kivi	lasi tai metalli
Tuotteen väri	vaalea	tumma (esim. tumman sininen)
Kosketuksen polttavuus	lasi, keraaminen aine, kivi	metallit
Tuotteen ripustus	kahva/ripa ei altistu tulelle edes allaspalossa	kahva/ripa altistuu tulelle
Tuotteen syttyvyys	lasi, keraaminen aine, kivi, metallit	puu, muovit, paperi
Tuotteen kuumeneminen	läpäisee liitteessä 3 esitetyn testin	ei läpäise liitteessä 3 esitettyä testiä
Hauta- ja puutarhalyhdyt, joiden kuori on palavaa ainetta		
	neutraali riskitaso	kohonnut riskitaso
Tuotteen syttyvyys	läpäisee liitteessä 3 esitetyt testit	ei läpäise liitteessä 3 esitettyjä testiä
Tuotteen kiikkeryys	ei kaadu 20°:een kallistuksesta	kaatuu 20°:een kallistuksesta
Tuotteen vakavuus ilmavirtausten suhteen	$A_{\text{eff}} \text{ (m}^2\text{)} < m_0 \text{ (kg)/1,2}$	$A_{\text{eff}} \text{ (m}^2\text{)} > m_0 \text{ (kg)/1,2}$
Ulkotulet		
	neutraali riskitaso	kohonnut riskitaso
Tuotteen synnyttämä lämpö	halkaisija < 15 cm	halkaisija > 20 cm
Tuotteen kuumeneminen	läpäisee liitteessä 3 esitetyn testin	ei läpäise liitteessä 3 esitettyä testiä

Lähdeviittaukset

1. Laudi, B. Marshallen and Tealights - Safety Issues. Kalvokokoelma. Esitelmä 7.5.2003, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.
2. Anon. The Safety and Use of Tealights and Candles. Home Office, Department of Trade and Industry. Verkkojulkaisu: www.dti.gov.uk/homesafetynetwork/bs_rcand.htm (viitattu 22.4.2004)
3. Niamh, N. D. & Thain, E. Measurement of temperature rise over time for commercially available night lights (tea lights). *Fire Safety Journal*, vol. 37, 2002, s. 329-336.
4. Pagni, P. Thermal Glass Breakage. Proceedings: 7th International Symposium of Fire Safety Science, 16-21 June 2002, s. 3-22.
5. Trent, L.C., Resch W.A.III, Coppari, L.A. & Finley, D.L. Design and Construction of a Thermally-Instrumented Mannequin for Measuring the Burn Injury Potential of Wearing Apparel. *Textile Research Journal*, November 1979, s. 639-647.
6. Stoll, A.M., Chianta, M.A & Piergallini, J.R. Skin Damage Due to Heat Transfer by Conduction. *Fire and Materials*, vol. 4, No. 1, 1980, s. 45-49.
7. Babrauskas, V. Ignition of Wood: A Review of the State of the Art. *Journal of Fire Protection Engineering*, Vol. 12, No. 3, 2002, s. 163-189.
8. Atreya, A. 1984. Pyrolysis, Ignition and Fire Spread on Horizontal Surface of Wood. Thesis. Harvard Univ., Cambridge, MA. NBS GCR 83-449; Home Fire Proj. Tech. Rpt. 59; 439 a.
9. Drysdale, D.. An Introduction to Fire Dynamics. John Wiley & Sons. Chichester. 1985.
10. Mikkola, E. Puupinnan syttyminen. VTT Tiedotteita 1057. 1989.
11. Abu-Zaid, M. & Atreya, A. Effect of Water on Piloted Ignition of Cellulosic Materials. NIST GCR 89-561; 1989.
12. Janssens, M. L. Thermal Model for Piloted Ignition of Wood Including Variable Thermophysical Properties. International Association for Fire Safety Science. Fire Safety Science. Proceedings. 3rd International Symposium. July 8-12, 1991, Edinburgh, Scotland, Elsevier Applied Science, New York, Cox, G. & Langford, B. (toim.), 1991, s. 167-176.

13. Tran, H. C. & White, R. H. Burning Rate of Solid Wood Measured in a Heat Release Rate Calorimeter. *Fire and Materials*, Vol. 16, 1992, s. 197-206.