

Tiia Rynänen, Raija Kallonen & Eino Ahonen

Palosuojatut tekstiilit

Ominaisuudet ja käyttö



Palosuojatut tekstiilit

Ominaisuudet ja käyttö

Tiia Ryyänen & Raija Kallonen
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Eino Ahonen
VTT Kemiantekniikka



ISBN 951-38-5923-1 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5924-X (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1235-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2001

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Palvelukeskus, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4815

VTT Bygg och transport, Servicecentrum, Stenkarlsvägen 4, PB 1803, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4815

VTT Building and Transport, Service Centre, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4815

VTT Kemiantekniikka, Materiaalitekniikka, Sinitaival 6, PL 1402, 33101 TAMPERE
puh. vaihde (03) 316 3111, faksi (03) 316 3498

VTT Kemiteknik, Materialteknik, Sinitaival 6, PB 1402, 33101 TAMMERFORS
tel. växel (03) 316 3111, fax (03) 316 3498

VTT Chemical Technology, Materials Technology,
Sinitaival 6, P.O.Box 1402, FIN-33101 TAMPERE, Finland
phone internat. + 358 3 316 3111, fax + 358 3 316 3498

Toimitus Kerttu Tirronen

Otamedia Oy, Espoo 2001

Ryynänen, Tiia, Kallonen, Raija & Ahonen, Eino. Palosuojatut tekstiilit. Ominaisuudet ja käyttö [Flame-retarded textiles. Their properties and use]. Espoo 2001. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2116. 101 s.

Avainsanat textiles, fabrics, clothing, fire protection, fire safety, flammability, flame retarding, smoke release, furnishing, fire resistance, upholstered furniture

Tiivistelmä

Useimmat palosuojaamattomat tekstiilit syttyvät helposti, ja palo leviää niissä nopeasti. Tulelta ja kuumuudelta suojaavissa työvaatteissa on käytettävä paloturvallisia erikoiskuituja tai pysyvästi palosuojattuja materiaaleja. Myös sisusteiden paloturvallisuus on tärkeä, sillä tekstiilien osuus rakennuspalojen alkuvaiheessa on yleensä merkittävä.

Paloturvallisuusvaatimusten ja yleisen turvallisuuden kasvaessa palosuojattujen tekstiilien käyttö on lisääntynyt. Niistä tarvitsevat tietoa niin suunnittelijat, hankintojen suorittajat, viranomaiset, maahantuojat, huolto puolen ryhmät, käyttäjät kuin tekstiilituotteiden valmistajatkin.

Tähän julkaisuun on koottu hyödynnettäväksi laajasti tietoa palosuojauksesta ja paloturvallisista tekstiileistä. Julkaisu jakaantuu useaan eri kokonaisuudeksi kirjoitettuun osaan. Siksi joitakin asioita on käsitelty useissa kappaleissa. Asiat esitetään mahdollisimman käytännönläheisesti, mutta osa aiheista on vaatinut teoreettista kirjoitustapaa, esim. savua ja myrkyllisyyttä sekä palosuoja-aineita koskevat osuudet. Aluksi käsitellään tekstiilien osuutta tulipaloissa ja onnettomuuksissa. Selvitetään, miksi useat tekstiilit syttyvät helposti ja mistä johtuvat tekstiilien palamiserot sekä kerrotaan palosuojaamattomien ja palosuojattujen tekstiilien palo-ominaisuuksista. Omassa kappaleessa tarkastellaan palosuoja-aineiden vaikutusta ihmiseen ja ympäristöön. Näiden aiheuttamiin ympäristöhaittoihin on alettu kiinnittää enenevästi huomiota. Palosuoja-aineet voivat aiheuttaa ongelmia niin tuotteen valmistusvaiheessa kuin käytössä ja tuotteiden hävityksessäkin. Lisäksi on käsitelty palosuojattujen tekstiilien pesussa ja huollossa huomioitava asioita, palosuoja-aineiden vaikutusta tekstiilin muihin ominaisuuksiin ja muiden viimeistysaineiden vaikutusta palosuojaukseen.

Huoneistopaloissa palokuolemat johtuvat pääosin savukaasumyrkytyksestä eivätkä palovammojen synnystä. Palamistuotteiden syntyyn liittyviä tekijöitä ja palotestimenetelmiä, joilla tutkitaan savun muodostusta ja palamistuotteiden myrkyllisyyttä, on selvitetty. Erityisesti tekstiilien savunmuodostusta ja myrkyllisyyttä on selvitetty. Lopuksi selostetaan tekstiilien paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia, ohjeita ja määräyksiä Suomessa sekä paloturvallisuuden parantamista ja optimointia.

Ryynänen, Tiia, Kallonen, Raija & Ahonen, Eino. Palosuojaajatut tekstiilit. Ominaisuudet ja käyttö [Flame-retarded textiles. Their properties and use]. Espoo 2001. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2116. 101 p.

Keywords textiles, fabrics, clothing, fire protection, fire safety, flammability, flame retarding, smoke release, furnishing, fire resistance, upholstered furniture

Abstract

Most textiles without a fire retardant treatment ignite easily and burn fast. Inherent flame resistant fibres or permanently flame retarded materials have to be used in protective clothing against heat and flame. Also the fire safety of furnishings is important as the role of textiles in ignition phase of building fires is usually significant.

With more stringent fire requirements and safety in general, the use of flame-retarded textiles is growing. Designers, suppliers, authorities, importers, maintenance personnel, users and manufacturers need information on textile products.

This publication includes a compilation of widely usable information on flame-retardant treatments and flame resistant textiles. The publication is divided into several entities each forming a self-contained section. Therefore some items have been discussed in several sections. The items are presented in as simple and practical form as possible but some of the subjects require a more theoretical writing style, for example the paragraphs dealing with flame retardant treatments, smoke and toxicity. First the role of textiles in fires and accidents is discussed. It is clarified why most of the textiles ignite easily and the reasons for the differences in the burning behaviour of textiles. The burning behaviour of textiles with and without flame-retardant treatment is described. The effects of flame-retardant treatments on human beings as well as the environment are examined in a separate paragraph. The consideration of the environmental hazards caused by flame-retardants is increasing. The flame-retardant treatments can cause problems at the production stage as well as in use and during disposal of the products. Further items, which are discussed, include matters, which have to be observed for washing procedures and in maintenance, and the effects of flame-retardants on other properties of the textile and also the effects of other finishing treatments on the flame-retardant treatment.

In building fires the fire deaths are caused mainly by the toxic effects of combustion gases and not due to skin burns. Factors contributing to the formation of combustion products and the fire test methods for measuring the generation of smoke and the toxicity of combustion products are described. In particular the formation of smoke and toxicity of textiles have been analysed. Finally a description is given on the requirements, guidelines and regulations concerning fire safety of textiles in Finland and on the improvement and optimisation of fire safety.

Alkusanat

Tekstiilien palosuojauksesta ja palosuojattujen tekstiilien ominaisuuksista ja käytöstä on kaivattu ajankohtaista suomenkielistä julkaisua, sillä edellinen, Liisa Pakkalan kirjoittama ja VTT:n julkaisema raportti *Tekstiilien palosuojaus – Katsaus tilanteeseen vuonna 1973* on lähes kolmenkymmenen vuoden takaa.

Julkaisun rahoittajina ovat olleet Työsuojelurahasto, Palosuojelurahasto, Pesuteollisuusliitto ry ja VTT. Julkaisun sisällöstä ja muodosta päätettiin työryhmässä, joka muodostui seuraavista henkilöistä ja tahoista:

Marica Castren, Suomen pelastusalan keskusjärjestö (SPEK)

Anna-Leena Hyytiäinen ja Jouko Weckman, Lindström Oy, tekstiilien huollon edustajia

Bernt Hoffren, Oy Interenergy Presso Center Ltd, palosuojaviimeistysten edustaja

Heikki Kervinen, Espoon pelastuslaitos, käyttäjien edustaja (suojavaatteet)

Esa Mäkelä, Finlayson Forssa Oy, erikoistekstiilien valmistajan edustaja

Benita Puuvuori, Helsingin kaupunki, käyttäjien edustaja (sairaalat, julkiset tilat)

Tiia Ryyränen ja Raija Kallonen, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Eino Ahonen, VTT Kemiantekniikka.

Julkaisu kirjoitettiin pääosin VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa. Raija Kallonen kirjoitti osuudet, jotka käsittelevät palotilastoja, savua ja myrkyllisiä kaasuja sekä palosuojaj-aineita. Eino Ahonen VTT Kemiantekniikasta kirjoitti huoltoa ja pesuja koskevan kappaleen sekä palosuojaj-aineiden vaikutuksesta tekstiilin muihin ominaisuuksiin ja muiden viimeistysaineiden vaikutuksesta palosuojaukseen. Allekirjoittanut kirjoitti julkaisun muut osat.

Kiitän julkaisun rahoittajia, jotka tekivät tämän työn mahdolliseksi ja työryhmän jäseniä, jotka osallistuiivat julkaisun valmistumiseen.

Tiia Ryyränen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto.....	9
2. Palotilastoista.....	11
3. Palo-ominaisuudet.....	13
3.1 Syttyminen.....	13
3.2 Palamisnopeus.....	15
3.3 Savun muodostuminen.....	16
3.4 Sulaminen.....	17
3.5 Lämmön kehittyminen – palon leviämiskaava ja palovammat.....	17
3.6 Kytminen – savuke sytytyslähteenä.....	18
4. Erilaisten tekstiilikuitujen palamisesta.....	20
4.1 Selluloosakuidut ja selluloosamuuntokuidut.....	20
4.2 Villa.....	21
4.3 Silkki.....	22
4.4 Höyhenet ja untuvat.....	22
4.5 Polyesterit.....	22
4.6 Polyamidit.....	22
4.7 Akryyli.....	23
4.8 Polypropeeni.....	23
5. Paloturvalliset tekstiilit.....	25
5.1 Pysyvästi palosuojatut tekstiilit.....	25
5.1.1 Luonnostaan paloturvalliset kuidut.....	25
5.1.2 Paloturvallisiksi modifioidut tekstiilikuidut.....	27
5.1.3 Paloturvallisiksi viimeistellyt tekstiilit.....	29
5.2 Ei-pysyvästi palosuojatut tekstiilit.....	30
6. Palosuoja-aineet.....	31
6.1 Yleistä.....	31
6.2 Vaikutusmekanismit.....	32
6.2.1 Kemiallinen toiminta.....	32
6.2.2 Fysikaalinen toiminta.....	33
6.3 Vaikutus ihmiseen ja ympäristöön.....	33

6.3.1	Yleistä	33
6.3.2	Palosuoja-aineiden myrkyllisyydestä	34
6.3.3	Viranomaistoimia	36
6.3.4	Vaikutus ympäristöön	37
6.3.5	Elinkaarianalyysit	39
7.	Palosuojattujen tekstiilien pesu ja huolto.....	42
7.1	Yleistä.....	42
7.2	Huollossa huomioitavia seikkoja.....	42
7.2.1	Proban-palosuojaus	43
7.2.2	Pyrovatex-palosuojaus	44
7.2.3	Trevira CS.....	45
7.2.4	Pesua kestävä palosuojaus	46
7.2.5	Aramidit	46
7.2.6	Villa	46
7.2.7	Palosuojattu viskoosi	46
7.2.8	Modakryyli.....	47
7.2.9	Klorokuidut.....	47
7.2.10	Polyklaalikuidut	47
8.	Palosuoja-aineiden vaikutus muihin ominaisuuksiin.....	48
9.	Muiden viimeistysaineiden vaikutus palosuojaukseen	49
10.	Savun ja myrkyllisten kaasujen tuotto	50
10.1	Palamistuotteiden synty palamisen eri vaiheissa.....	50
10.2	Palamistuotteet	50
10.2.1	Tiivistyneet palamistuotteet.....	51
10.2.2	Kaasumaiset tuotteet	51
10.3	Palotestimenetelmistä.....	54
10.4	Optisesti tiheän ja ärsyttävän savun vaikutuksen arviointi.....	55
10.5	Palamiskaasujen ja kaasumaisten palamistuotteiden myrkyllisyyden arviointimenetelmistä.....	56
10.5.1	Malleja	56
10.5.2	Palamiskaasujen myrkyllisyyteen liittyviä käsitteitä	58
10.6	Tekstiilien savunmuodostuksesta	60
10.7	Palokaasujen pääasialliset myrkylliset komponentit	61
10.7.1	Tukahduttavat aineet.....	61
10.7.2	Ärsyttävät aineet	62
10.7.3	Yhdisteet, joiden myrkyllisyyttä ei tunneta ja tunnistamattomat yhdisteet	62
10.8	Tekstiilien palamisen myrkyllisyydestä	63

11. Paloturvallisuusvaatimukset	66
11.1 Sisustustekstiilit	66
11.1.1 Pehmustetut istuinhuonekalut	67
11.1.2 Patjat	68
11.1.3 Vuodevaatteet	69
11.1.4 Verhot	71
11.1.5 Irtomatot ja lattianpäällysteet	73
11.2 Vaatetustekstiilit	75
11.2.1 Suojavaatteet – henkilösuojaindirektiivi	75
11.2.2 Kuluttajavaatteet	76
11.3 Retkeilyvarusteet: teltat, makuupussit	79
11.4 Liikennevälineiden sisustustekstiilit	81
11.4.1 Laivat	81
11.4.2 Linja-autot	83
11.4.3 Junat	84
11.4.4 Lentokoneet	85
11.5 Lelut	86
12. Paloturvallisuuden parantaminen ja optimointi	87
12.1 Sisustustekstiilit	87
12.1.1 Pehmustetut istuinhuonekalut	88
12.1.2 Vuodevarusteet	90
12.1.3 Verhot	91
12.2 Materiaalit suojavaatteisiin	92
12.2.1 Päällysmateriaalit	92
12.2.2 Alus- ja välikerrokset	93
12.3 Kuluttajan vaatetustekstiilit	94
Lähdeluettelo	96

1. Johdanto

Useimmat tekstiilit syttyvät helposti ja palo leviää niissä nopeasti. Tulelta ja kuumuudelta suojaavissa työvaatteissa on käytettävä paloturvallisia erikoiskuituja tai pysyvästi palosuojattuja materiaaleja. Myös sisusteiden paloturvallisuuteen on syytä kiinnittää huomiota, sillä tekstiilien osuus rakennuspalojen alkuvaiheessa on usein merkittävä. Etenkin julkisiin tiloihin ja riskikohteisiin, kuten majoitustiloihin ja hoitolaitoksiin, on hyvä valita sisusteiksi paloturvallisia materiaaleja.

Tekstiilien paloturvallisuusasioita käsitellään laajasti, jotta eri tahot voisivat hyödyntää julkaisua työssään. Julkaisu jakaantuu useaan itsenäiseksi kirjoitettuun osaan. Joitakin asioita on käsitelty useissa kappaleissa.

Asiat on pyritty esittämään käytännönläheisesti, mutta osa aiheista on vaatinut teoreettista kirjoitustapaa, esimerkiksi savua ja myrkyllisyyttä sekä palosuoja-aineita koskevat osuudet.

Tekstiilien osuutta tulipaloissa ja onnettomuuksissa on käsitelty lyhyesti luvussa 2. Luvussa 3 selvitetään palamistapahtuman teorian avulla, miksi useat tekstiilit syttyvät helposti ja mistä johtuvat tekstiilien palamiserot sekä miten palosuoja-aineilla voidaan vaikuttaa tekstiilien syttymisherkkyyteen ja palamiseen.

Palosuojaamattomien tekstiilien palo-ominaisuuksia selostetaan luvussa 4 ja palosuojattujen tekstiilien palo-ominaisuuksia luvussa 5.

Palosuoja-aineita koskettelee luku 6. Siinä käsitellään myös palosuoja-aineiden vaikutusta ihmiseen ja ympäristöön. Palosuoja-aineiden ympäristöhaittoihin on alettu kiinnittää enenevästi huomiota. Palosuoja-aineet voivat aiheuttaa ongelmia niin tuotteen valmistusvaiheessa kuin käytössä ja tuotteiden hävityksessäkin.

Palosuojattujen tekstiilien pesussa ja huollossa huomioitavia asioita on käsitelty luvussa 7. Palosuoja-aineiden vaikutusta tekstiilin muihin ominaisuuksiin tarkastellaan luvussa 8 ja muiden viimeistysaineiden vaikutusta palosuojaukseen luvussa 9.

Huoneistopaloissa palokuolemat johtuvat pääosin savukaasumyrkytyksestä eivätkä palovammojen synnystä. Luvussa 10 käsitellään palamistuotteiden syntyyn liittyviä tekijöitä ja palotestimenetelmiä, joilla tutkitaan savun muodostusta ja palamistuotteiden myrkyllisyyttä. Lisäksi arvioidaan erityisesti tekstiilien savunmuodostusta ja myrkyllisyyttä.

Tekstiilien paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia, ohjeita ja määräyksiä Suomessa on käsitelty luvussa 11. Suojavaatemateriaaleja, laivojen ja linja-autojen sisustusmateriaa-

leja sekä leluja koskevat paloturvallisuusvaatimukset ovat yhteisiä koko Euroopan unionin alueella. Muut tekstiilejä koskevat paloturvallisuusvaatimukset ja testausmenetelmät ovat erilaisia eri maissa. Myös tulevaisuuden näkymistä on pyritty kertomaan: minkälaisia testausmenetelmien ja paloturvallisuusvaatimusten muutoksia Euroopassa on vastaisuudessa odotettavissa.

Luvussa 12 *Paloturvallisuuden parantaminen ja optimointi* kerrotaan, miten vaatetuksen tai sisustuksen paloturvallisuutta voidaan parantaa – joskus myös muuten kuin palosuojattuja materiaaleja valitsemalla.

2. Palotilastoista

Vuosittain maassamme kuolee tulipaloissa keskimäärin hieman yli 90 ihmistä kuolinsyynään useimmiten savukaasumyrkytys. Varsinaisiin palovammoihin kuolee noin kolmannes. Lähes kaikissa muissa teollisuusmaissa palokuolemien riski on pienentynyt viime vuosina. Suomessa se on pysynyt samana viimeiset 20 vuotta [14, 47, 53 ja 54].

Huoneistopaloissa uhrin kuolevat lähinnä savukaasumyrkytykseen, mutta vaatepaloissa 99 % vahingoista on palovammoja. Työtehtävissä tapahtuneet, vaatteiden syttymisestä tai kuumuudesta johtuneet onnettomuudet ovat vähentyneet ratkaisevasti suojaavien vaatimusten tultua voimaan. Kaikkia henkilösuojaimia ja niiden käyttöä koskevat direktiivit tulivat Suomessa voimaan vuonna 1994.

Ennen henkilösuojaindirektiivejä Suomessa oli voimassa vuodesta 1986 lähtien Sähkö-tarkastuskeskuksen määräys, jonka mukaan valokaarivaarallisissa töissä käytettävä suojavaate on valmistettava vaikeasti syttyvästä materiaalista, syttyvyysluokka SL 1C [72]. Määräyksen voimaantulolla oli selvä vaikutus, sillä 1990-luvulla sähköalan ammattilaisille ei ole tapahtunut kuolemaan johtaneita valokaaritapaturmia, kun taas vuosina 1977–1986 sattuneesta 54 vakavasta, pysyvään vammaan johtaneesta valokaaritapaturmasta kahdeksan johti kuolemaan [42].

Myös palomiesten kuolemat ovat vähentyneet parantuneiden välineiden, mm. suojavaatteiden, myötä. Kun työtehtävissä vuosina 1950–1969 kuoli 17 vakinaista palomiestä, kuoli vuosina 1970–1997 vain 5 [J. Nieminen ja O. Keski-Rahkonen. Palotutkimuksen päivät 2001, esitelmä 6]. Tulipaloja oli jälkimmäisenä jaksena kuitenkin yli kaksinkertainen määrä.

Melkein joka toinen kuolemaan johtanut tulipalo aiheutuu huolimattomasta tupakoinnista. Tällaisen tulipalon tyypillinen syttymiskohta on uhrin *sohva tai vuode*. Palava savuke on pudonnut sormista ja sytyttänyt makuusijan. Savukkeesta alkavat palot ovat aluksi kyteviä. Kytevästä huonekalusta syntyy hyvin hitaasti myrkyllisiä savukaasuja, mutta ne voivat tappaa asukkaat, jotka altistuvat palamiskaasuille kauan. Useimmiten kytemällä alkanut palo leimahtaa lopulta liekkeihin. Liekehtivän palon alkaessa palamistuotteet kehittyvät paljon nopeammin kuin kytemisvaiheessa. Tämä merkitsee huomattavasti suurempaa vaaraa asukkaille. Mainitun kaltaisten palojen kytemisvaiheen uhrien osuutta verrattuna liekehtivän vaiheen uhrien osuuteen ei ole kuitenkaan määritetty [10 ja 41].

Tupakoinnista alkaneissa paloissa uhri on useimmiten yksinelävä, alkoholin, huumeiden tai lääkeaineiden vaikutuksen alainen mies. Myös lapsilla, vanhuksilla ja vammaisilla on normaalia suurempi riski tulipalossa. Suomessa tulipaloissa kuolleista vain neljännes on naisia. Suomalaiset miehet poikkeavat muiden teollisuusmaiden miehistä myös siinä,

että kun muualla palokuoleman riski alkaa kasvaa vasta eläkeiässä, suomalaisten miesten riski kasvaa tasaisesti jo 20 ikävuodesta alkaen. Merkittävä tekijä palokuolemien aiheuttajana oli alkoholi. Tulipalossa kuolleista miehistä 71 % oli humalassa ja naisista hieman alle puolet. Lähes kaikki (94 %) uhrin olivat laskuhumalassa ja 54 %:lla oli veressä myös lääkkeitä tai huumeita. 63 %:lla uhreista oli yli 1,5 promillea alkoholia veressään. Näin humalaisia ei välttämättä olisi pelastanut edes palovaroitin. Suomessa tulipalon uhri on kaksi kertaa useammin humalassa kuin Yhdysvalloissa [14 ja 54].

Myös Yhdysvalloissa tupakoinnin aiheuttamissa paloissa kuolee enemmän ihmisiä kuin muuntotyypisissä paloissa. Vuonna 1995 Yhdysvalloissa kuoli asuntopaloissa kaikkiaan 3 695 ihmistä. Näistä 29 % eli 1 068 ihmistä huolimattoman tupakoinnin vuoksi [24]. Tupakointivälineiden sytyttämiä kohteita olivat useimmiten patjat, vuodevaatteet, pehmustetut huonekalut ja roskat. Savukkeista alkaneissa asuntopaloissa useimmat uhrin olivat joko nukkumassa tai toimintarajoitteisia lääkkeitä, huumeiden tai alkoholin tai vammaisuuden tai iän vuoksi.

Englantilaisen selvityksen [15] mukaan kuluttajien vaatepalojen syynä ovat useimmiten keittimet, lämmitin, takat, grillit, nuotiot sekä tulitikut. Kuluttajalehden (5/1998) mukaan myös Suomessa sairaalahoitoa vaatineet palovammat ovat usein syntyneet grillauksen yhteydessä.

Englantilaisessa selvityksessä [15] käytiin läpi kuluttajavaatteiden palamiseen liittyviä onnettomuustapauksia. Englannissa tapahtuu vuosittain 13,3 vaatteiden palovahinkoa miljoonaa asukasta kohden. Vahinkojen määrä on vuosien varrella suunnilleen vakio vaihteluvälillä $\pm 25\%$. Vaatteiden palovahingoista on kohtalokkaita arviolta 11 %. Eikohtalokkaista vahingoista 30 % on vakavia sairaalahoitoa vaativia palovammoja ja 59 % on pieniä vahinkoja.

Englantilaisen selvityksen [15] mukaan vaatepalojen suurimmat riskiryhmät ovat yli 70-vuotiaat naiset ja alle 18-vuotiaat tytöt. Lisäksi 14–17-vuotiaat pojat ovat alttiita pienille vahingoille tavallisesti tulitikku-, tupakansytytin- tai nuotioleikkien seurauksena. Riskialteimpia ovat löysät, valuvat vaatteet (erityisesti leningit, aamutakit ja yöpuvut). Mitään erityistä kuitutyyppiä ei voi englantilaisen selvityksen [6] mukaan nimetä suuren riskin aiheuttajaksi.

3. Palo-ominaisuudet

Tekstiilien kuten muidenkin materiaalien palamistapahtuma voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: syttymiseen, palamiseen ja sammumiseen. Suurin osa tekstiileistä syttyy helposti. Esimerkiksi kynttilän liekki tai kuumen sähkölevyn kosketus riittää usein syttämään tekstiilin. Palamisvaiheessa liekit etenevät tekstiilissä, lämpöä vapautuu ja muodostuu savua.

Kaikki tekstiilit eivät kuitenkaan pala samalla tavalla. Syttymisherkkyyksissä on eroja, samoin palamisnopeuksissa, sekä siinä, miten paljon tekstiilistä palaessa vapautuu lämpöä, savua ja myrkyllisiä kaasuja. Miksi useimmat tavalliset tekstiilimateriaalit syttyvät helposti ja mistä johtuvat tekstiilien palamiserot? Sitä selvittää osaltaan palamistapahtuman teoria, josta lyhyesti seuraavaksi.

3.1 Syttyminen

Syttymisen edellytyksenä on, että materiaali on kuumentunut lämpötilaan, jossa tapahtuu materiaalin hajoaminen haihtuviksi palamiskykyisiksi yhdisteiksi.

Kun materiaaliin kohdistuu lämpöenergiaa, siitä haihtuu ensin kosteutta, mahdolliset lisäaineet voivat kaasuuntua ja materiaali mahdollisesti sulaa. Tämän jälkeen alkaa materiaalin hajoaminen – polymeeriketjut katkeilevat. Lämpötilan edelleen kohotessa alkaa pyrolyysi¹, jolloin materiaali hajoaa pienimolekyylisiksi, haihtuviksi ja osittain palamiskykyisiksi yhdisteiksi. Aluksi palavia yhdisteitä syntyy vähän eikä syttymisvaaraa vielä ole. Lämpötilan edelleen kohotessa pyrolyysi kiihtyy ja lopulta muodostuu kaasuseos, joka voi muodostaa ilmassa olevan hapen kanssa palamiskelpoisen kaasuseoksen. Tällöin esim. kipinä voi saada aikaan syttymisen. Jos lämpötila on riittävän korkea, materiaali voi syttyä itsestään.

Tekstiilikuidun kemiallinen rakenne vaikuttaa siihen, minkälaisia yhdisteitä tekstiilistä pyrolyysissä muodostuu. Tekstiilin syttymisherkkyys riippuu siis ennen kaikkea tekstiilin kuitusisällöstä (ks. luku 5 *Erialaisten tekstiilikuitujen palaminen*).

Materiaalit, jotka kutistuvat ja sulavat kuumuuden vaikutuksesta – varsinkin jos sulamislämpötila on huomattavasti alhaisempi kuin syttymislämpötila – eivät syty helposti. Materiaali sulaa nopeasti pois sytytyslähteestä eikä pyrolyysi ehdi käynnistyä. Esimerkiksi poly-

¹ Materiaalin kemiallista hajoamista lämmön vaikutuksesta ilman hapettumista kutsutaan pyrolyysiksi.

amidi- ja polyesterituotteet eivät sellaisenaan ole kovin helposti syttyviä. Väri- ja viimeistysaineet voivat kuitenkin häiritä niiden sulamismekanismia niin, että tuotteet voivat syttyä herkästi ja myös palaa nopeasti. Samoin tapahtuu sekoitettaessa synteettisiin kuituihin selluloosakuituja, esim. puuvillaa, viskoosia, pellavaa.

Syttymisherkkyys riippuu myös tekstiilin rakenteesta, sillä pinnan lämpenemisnopeus pyrolyysilämpötilaan riippuu myös pintakerroksen rakenteesta (tiheydestä ja eristyskyvystä). Tiivis, paksu ja painava tuote syttyy hitaammin kuin ohut ja kevyt. Jos pinta on pitkänukkainen, se saattaa syttyä erittäin nopeasti, sillä kankaan perusrakenteesta erillään olevat ohuet kuidut lämpenevät nopeasti syttymislämpötilaan.

Kun materiaali palaa, siitä vapautuu lämpöä. Osa palamisessa syntyvästä lämmöstä virtaa ympäristöön ja osa tunkeutuu materiaaliin voimistaen käynnistynyttä pyrolyysiä. Alkuvaiheiden jälkeen materiaali joko jatkaa palamistaan tai palo sammuu palamisprosessin energiatasapainon mukaan. Materiaali pystyy itsenäisesti jatkamaan palamistaan vain, jos palaessa vapautuva energiamäärä on yhtä suuri tai suurempi kuin palamista-
pahtuman alkamisen edellyttämä energiamäärä.

Ulkopuolisen sytytyslähteen tuoma lämpöenergia kuluu seuraaviin prosesseihin:

- kuumentaminen sulamislämpötilaan (jos kyseessä on sulava materiaali)
- sulaminen (jos kyseessä on sulava materiaali)
- kuumentaminen hajoamislämpötilaan
- hajoamisreaktio
- hajoamistuotteiden höyrystyminen
- höyrystyneiden hajoamistuotteiden kuumentaminen syttymislämpötilaan
- lämpöhäviöt ympäristöön.

Jos materiaalista vapautuu palaessa lämpöä enemmän kuin yllä mainittuihin prosesseihin kuluu, materiaali jatkaa palamistaan ulkopuolisen sytytyslähteen poistuttuakin.

Tekstiilien palosuoja-aineilla vaikutetaan syttymisherkkyyteen. Palosuoja-aineiden vaikutus perustuu esim. seuraaviin seikkoihin:

- Palosuoja-aine sitoo lämpöä niin, ettei tekstiilin syttymislämpötilaa saavuteta.
- Tekstiili hajoaa (hiiltyy) ennen kuin syttymislämpötila on saavutettu.
- Palosuoja-aine ohjaa tekstiilin hajoamista niin, että syntyy vähemmän palavia kaasuja.
- Palosuoja-aineesta kehittyy kaasuja, jotka estävät tekstiilin hapen saannin ja siten palamisen.

Syttyvyyden eräänä kriteerinä on käytetty happi-indeksiä eli LOI-arvoa (limiting oxygen index) [33]. LOI-arvo ilmoittaa sen hapen pitoisuuden ympäröivässä ilmassa, joka tarvitaan aineen tasaiseen itsenäiseen palamiseen ylhäältä alaspäin standardin [33] mukaisessa testauslaitteistossa. Mitä pienempi materiaalin LOI-arvo on, sitä helpommin se syttyy. Koska ilman happipitoisuus on noin 21 %, voidaan ajatella, että materiaalit, joiden LOI-arvo on selvästi yli 21 %, eivät syty helposti normaali-ilmassa. Kuten taulukosta 1 nähdään villa on ainoa tavanomaisista tekstiilikuiduista, jonka LOI-arvo on selvästi yli 21 %.

Taulukko 1. Erilaisten tekstiilikuitujen LOI-arvoja huoneen lämpötilassa mitattuna.

Tekstiilikuitu	LOI-arvo
Polyakryyli	17–18
Asetaatit	17–18,5
Polypropeeni	18–20
Puuvilla, pellava, viskoosi	18–20
Polyamidi, polyesteri	20–22
Luonnonsilkki	23
Villa	24–25
Modakryyli	25–30
ps puuvilla, ps viskoosi	27–30
ps villa	32
Klorokuidut	35–39
Aramidikuidut	25–28
Fenolikuidut	29–30
Polyamidi-imidikuidut	31–32
Polybentsimidatsoli (PBI)	38–43

ps = palosuojattu

3.2 Palamisnopeus

Kun tekstiili on syttynyt, palaminen jatkuu itsestään, jos pyrolyysituotteiden palamisessa syntyy lämpöä selvästi enemmän kuin itse pyrolyysiin ja lämpöhäviöihin kuluu, kuten edellisessä kappaleessa on todettu.

Syttymisen tapahduttua on liekkien leviämisenopeus palon vaarallisuuden kannalta ratkaisevaa. Tekstiilin palamisnopeus riippuu monista seikoista. Tärkein tekijä on materiaalin kuitusisältö, mutta myös kankaan rakenne ja viimeistysaineet sekä tuotteen asento ja väljyys tai ilmavuus vaikuttavat.

Samankanteisista ja -painoisista kankaista palavat nopeimmin akryylikankaat ja selluloosakuituiset kankaat, kuten puuvilla, pellava, viskoosi, asetaatti, modaali ja lyocell. Polyamidi, polyesteri ja villa palavat hitaammin.

Pystyasennossa oleva, alhaalta sytytetty tuote palaa huomattavasti nopeammin kuin vaakasuorassa oleva. Pystyasennossa liekin lämpö kohdistuu tehokkaasti yläpuolella olevaan osaan kiihdyttäen pyrolyysiä.

Tiivis materiaali palaa hitaammin kuin huokoinen. Huokoisessa tuotteessa on enemmän palamiseen tarvittavaa happea. Lisäksi huokoisessa kankaassa on vähemmän materiaalia tilavuusyksikköä kohti kuin tiiviissä kankaassa, minkä vuoksi huokoisen kankaan lämmittäminen syttymislämpötilaan vaatii vähemmän energiaa, joten se syttyy helpommin ja palaa nopeammin.

3.3 Savun muodostuminen

Savu haittaa näkyvyyttä ja hengittämistä sekä ärsyttää silmiä. Savukaasut voivat lamaannuttaa elintoimintoja jo pieninä pitoisuuksina. Tulipalokuolemista suurin osa johtuu myrkyllisten kaasujen hengittämisestä. Savumyrkytysten tavallisin aiheuttaja on häkä eli hiilimonoksidi (CO), joka on hajuton ja väritön kaasu. Häkää muodostuu aina materiaalin palamisessa – sitä enemmän mitä vähemmän ympäröivässä ilmassa on happea.

Palamisessa muodostuu aina savua ja myrkyllisiä palokaasuja, mutta niiden määrä ja laatu vaihtelevat. Palamisessa syntyvän savun ja palokaasujen määrään ja laatuun vaikuttaa ennen kaikkea palavan aineen kemiallinen koostumus eli tekstiilin kuitusisältö. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat materiaalin ja ympäristön kosteus- ja happipitoisuus sekä ilmanvirtaus. Samasta aineesta vapautuvan savun määrä ja laatu vaihtelevat huomattavasti myös sen mukaan, eteneekö palo liekehtimällä vai kytellä.

Palosuoja-aineet pienentävät tekstiilin syttymisherkkyttä, mutta lisäävät yleensä huomattavasti savun määrää. Tämä johtuu palosuoja-aineiden aikaansaamasta epätäydellisestä palamisesta ja osaksi orgaanisten palosuoja-aineiden hajoamisesta. Epäorgaanisista palosuoja-aineista ei muodostu merkittävästi näkyvyyttä haittaavaa savua.

Savun syntyminennopeus on olennaista henkilöiden pelastautumisen kannalta. Savunmuodostukseen on alettu kiinnittää enenevästi huomiota palokoemenetelmiä ja vaatimuksia laadittaessa.

Savun muodostusta ja myrkyllisyyttä käsitellään tarkemmin luvussa 4.

3.4 Sulaminen

Yleisimmät synteettiset kuidut, kuten polyesteri ja polyamidi, sulavat kuumuuden vaikutuksesta. Sulaminen on paloturvallisuuden kannalta sekä hyvä että huono ominaisuus. Kun kangas sulaa, se vetäytyy samalla pois sytytyslähteestä. Varsinkin ohuet sulavat kankaat voivat sulaa pois sytytyslähteen vaikutuspiiristä syttymättä. Sulavan materiaalin palo voi sammua myös siksi, että palava osa putoaa pois. Tosin putoava palava aines voi sytyttää alustan, jolle se putoaa.

Vaatetusmateriaalien sulaminen on useimmiten vaarallista. Sulan kuitumateriaalin lämpötila on yleensä yli 250 °C, ja pisaroiden joutuessa iholle ne tarttuvat siihen ja johtavat nopeasti lämpöä aiheuttaen vaikeita palovammoja.

3.5 Lämmön kehittyminen – palon leviämiskaava ja palovammat

Materiaalin palamisvaiheen tärkeä ominaisuus on lämmön vapautuminen. Vapautuvan lämmön määrä riippuu materiaalin kemiallisesta koostumuksesta ja luonnollisesti myös palavan materiaalin määrästä. Mitä enemmän palamisessa vapautuu lämpöä, sitä suurempi on lähiympäristön syttymiskaava eli palon leviämiskaava.

Vaatetuksen palaessa aiheuttaa siitä vapautuva lämpö iholle palovammoja. Palovamman vaikeusaste riippuu vaatetusmateriaalin palamislämmöstä ja lämmön kehityksennopeudesta. Pahoja palovammoja aiheutuu etenkin silloin, kun lähinnä ihoa oleva vaatetusmateriaali on sulavaa, sillä sula aines tarttuu iholle ja johtaa hyvin lämpöä.

Palovammoja alkaa muodostua, kun iho ei enää verenkierron ja lämmön johtumisen avulla pysty siirtämään lämpöä pois yhtä nopeasti kuin lämpöä sille tulee. Vammojen muodostumiseen vaikuttavat ratkaisevasti materiaalin palamislämpö (ks. alla) ja lämmön kehityksennopeus sekä altistuksen kesto-aika. Aineen palamislämpö on lämpöenergia, joka vapautuu kun kilogramma kyseessä olevaa ainetta palaa. Lämpöarvo määritetään yleensä pommikalorimetrissä [32] happiylimäärän vallitessa. Pommikalorimetrin

tulos ei aina vastaa huoneilmassa saatuja tuloksia. Taulukossa 2 on esitetty tavallisimpien tekstiilikuitujen palamislämpö.

Taulukko 2. Tavallisimpien tekstiilikuitujen palamislämpö [49].

Tekstiilikuitu	Palamislämpö, MJ/kg
Puuvilla	16–17
Villa	19–21
Polyesteri	22–24
Polyamidi	29–33
Polypropeeni	44–46
Akryyli	29–36

Palovammat jaetaan vakavuutensa mukaan kolmeen luokkaan. Ensimmäisen asteen palovammassa ihon pinta punoittaa. Punoitus alkaa kudoslämpötilan ollessa 36–44 °C. Kun kudoslämpötila nousee yli 44 °C alkaa iho punoittaa yhä voimakkaammin ja iho tuntee kipua. Toisen asteen palovammassa koko orvaskesi vaurioituu, eroaa verinahasta ja muodostaa rakkuloita. Toisen asteen palovammoja alkaa muodostua, kun kudoslämpötila nousee 51 °C:een. Ensimmäisen ja toisen asteen palovammat paranevat yleensä itsestään.

Yli 60 °C:n kudoslämpötiloissa alkaa muodostua kolmannen asteen palovammoja, joissa ihon sisimmätkin kerrokset vaurioituvat. Jos kudoslämpötila nousee yli 72 °C:een, tapahtuu ihossa niin suuria muutoksia, ettei se kykene itse uusiutumaan, vaan tarvitaan ihonsiirtoja. Jos toisen ja kolmannen asteen palovammat ylittävät 15–20 % kehon pintalasta, vaaditaan jo pitkäaikaista sairaalahoitoa.

3.6 Kyteminen – savuke sytytyslähteenä

Palaminen voi tapahtua myös ilman liekkejä, kytemällä. Liekehtivä palo voi muuttua kyteväksi tai palo voi alkaa kytemällä ja muuttua myöhemmin liekehtiväksi.

Savuke sytyttää kytevän palon, joka etenee yleensä hyvin hitaasti. Voi kestää useita tunteja ennen kuin savukkeen sytyttämä kytevä palo muuttuu liekehtiväksi. On myös ta-

pauksia, joissa kytevä palo on sammunut lopulta itsestään hapen puutteeseen tai kytevän materiaalin on kytenyt loppumiseen.

Savukkeen aiheuttamat kytevät palot ovat Suomessa syynä vuosittain kymmeniin tulipalokuolemiin. Tupakoijan nukahtaessa palavan savukkeen kanssa vuoteeseen tai sohvalle kytevän palon syttyminen on hyvin todennäköistä. Kytevä palo etenee hitaasti, mutta myrkyllisiä, tainnuttavia palamiskaasuja muodostuu alusta alkaen. Tupakoija ehtii vai-pua syvään uneen ja menettää tajuntansa myrkyllisten kaasujen vuoksi ennen kuin kuumuus herättäisi hänet.

Kaikki materiaalit eivät syty kytevään paloon. Selluloosakuituisilla materiaaleilla (esim. puuvilla, pellava, viskoosi) on taipumus syttyä kytevään paloon, samoin polyuretaani-vahtomuovilla ja vaahtokumilla. Puuvillakankaassa kytevä palo ei kuitenkaan etene, ellei kangas ole riittävän paksua tai painavaa. Polyuretaanivahtomuovinen patja ei ky-de ilman riittävän paksua selluloosakuituista päällyskangasta.

Polyuretaanin kytevässä palossa lämpötila ei nouse riittävän korkealle (vain noin 400 °C:een). Tästä syystä kytevä palo etenee polyuretaanivahtomuovissa vain, jos lisälämpöä tulee vaahtoon [16]. Polyuretaanivahtomuovilla pehmustetussa istuinhuoneka-lussa lisälämmön lähteenä toimii riittävän painava, vähintään noin 300 g/m², selluloosa-kuituinen päällyskangas. Vaahtomuovipatjassa patjan päällyskangas ja lakanat toimivat tarvittavan lisälämmön lähteenä.

Puuvillapeitteen, joko huovan tai täkin (puuvillainen päällyskangas ja puuvillainen täy-tevanu), savuke voi sytyttää kytevään paloon. Tällaisessa tuotteessa lämpötila nousee selluloosan kytissä hiiltyvässä vyöhykkeessä 600–750 °C:seen. Tämä lämpö riittää palon etenemiseen selluloosakuituisessa materiaalissa.

Sulavat ja lämpölähteistä poispäin vetäytyvät materiaalit, esim. polyesterivanu ja poly-esterikangaskangas, eivät syty kytevään paloon.

4. Erilaisten tekstiilikuitujen palamisesta

Materiaali syttyy, kun siitä muodostuu riittävästi palamiskykyisiä kaasuja ja läsnä on riittävästi happea. Kemialliselta koostumukseltaan erilaisten tekstiilikuitujen pyrolyysi (hajoaminen kuumuuden vaikutuksesta) on erilainen, joten palamiskykyisten kaasujen muodostuminen – ja siten myös syttymisherkkyys – riippuvat ennen kaikkea tekstiilin kuitusisällöstä. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty eri lähteistä [16 ja 49] saatujen tavallisimpien tekstiilikuitujen syttymislämpötiloja. On kuitenkin huomattava, että tekstiilikuidun syttymislämpötilaan vaikuttavat merkittävästi myös tuotteen rakenne ja olosuhteet, joten tekstiilin syttymislämpötilan määrittäminen on vaikeaa.

4.1 Selluloosakuidut ja selluloosamuuntokuidut

Puuvillakuitu on yleisin kaikista tekstiilikuiduista. Puuvillakuidut ovat puuvillakasvien siemenkuituja. Puuvillaa käytetään niin sisustus- kuin vaatekankaissa. Puuvillavanua käytetään peittojen ja patjojen täyteenä. Puuvillasta valmistetaan myös huopia.

Pellavakuitua valmistetaan pellavakasvin rungosta. Sen käyttö on huomattavasti vähäisempää kuin puuvillakuidun. Pellavakuitua käytetään sisustus- ja vaatekankaissa joko sellaisenaan tai sekoitekankaissa.

Viskoosi, lyocell, asetaatti, triasetaatti ja modaali ovat selluloosapohjaisia, puusta valmistettuja muuntokuituja. Niin palo-ominaisuuksiltaan kuin muiltakin ominaisuuksiltaan ne ovat puuvillan kaltaisia

Selluloosan pyrolyysissä syntyy paljon herkästi palavia hajoamistuotteita. Selluloosakuituiset kankaat voivat olla herkästi syttyviä ja nopeasti palavia. Kankaan rakenne vaikuttaa syttymisherkyyteen. Tiiviiksi kudottu painava puuvillakangas ei syty pienen liekin kosketuksesta niin helposti kuin ohut. VTT:ssä vuosina 1998 ja 1999 [65 ja 68 luku 12] tehdyissä tutkimuksissa mitattiin 86:n erilaisen vaatekankaan syttymisherkkyttä ja palamisnopeutta. Ohuet, kevyet ($40\text{--}130\text{ g/m}^2$) selluloosakuituiset kankaat syttyivät yhden sekunnin sytytysajalla – useat heti liekin koskettaessa. Nämä olivat hivi-, paita-, leninki-, yöpaita- ja yöpukukankaita. Tiivis ja painava (475 g/m^2) puuvillakangas (farmarikangas) syttyi “vasta” kun liekki oli vaikuttanut viisi sekuntia Testausmenetelmänä näissä syttymisherkkyyskokeissa oli SFS-EN ISO 6940 [65].

Nukkapintaisen selluloosakuituisen tuotteen nukassa voi tapahtua nopea leimahduksenomainen pintapalo, joka syttyy jo pienestä liekin hipaisusta tai jopa tähtisädetikun kipinästä. Tällainen kankaan pintanukan nopea palo on kuitenkin energiamäärältään niin vähäi-

nen, ettei vakavaa vahinkoa yleensä aiheudu, eikä nukan alla oleva varsinainen kangasrakenne syty.

Herkän syttyvyyden lisäksi kevyet selluloosakuituiset kankaat palavat nopeasti. VTT:n tutkimuksissa [65 ja 68 luku 12] kevyet ($40\text{--}130\text{ g/m}^2$) selluloosakuituiset kankaat paloivat standardin EN 1103 [64] mukaisessa kokeessa 520 mm:n matkan 4–12 sekunnissa, kun tiivis ja painava farmarikangas (475 g/m^2) paloi saman matkan 104 sekunnissa. Täyden mittakaavan kokeessa kevyestä puuvillakankaasta tehdyssä leningissä liekit levisivät helmasta kasvojen korkeudelle 15–20 sekunnissa.

Selluloosakuituiset kankaat eivät sula kuumuuden vaikutuksesta, eikä niistä siten muodostu palavaa, kuumaa, sulaa ainesta, joka aiheuttaisi pahoja palovammoja tai levittäisi paloa tippuessaan.

4.2 Villa

Villa on lampaasta saatava eläinkuitu. Se on tärkein eläinkuitu ja puuvillan ohella tärkein luonnonkuitu. Kemialliselta rakenteeltaan villa on lähes puhdasta keratiinivalkuaisista. Villakeratiini on erilaisista valkuaisaineista koostuva polymeeriseos.

Palosuojaamatontakin villaa voidaan pitää melko paloturvallisena kuituna. Villan paloturvallisuuteen vaikuttavat suuri luonnollinen kosteuspitoisuus (10–14 %) ja korkea typpipitoisuus (16 %).

Villan sisältämä luonnollinen kosteus nostaa sen paloturvallisuutta merkittävästi. Huomattava on, että villan kosteuspitoisuus riippuu ympäristön kosteudesta. Kun villan kosteuspitoisuus alenee, myös sen paloturvallisuus vähenee. Niin sanotussa normaaliilmassa (20 °C ja 65 %RH) villan kosteuspitoisuus vaihtelee 14–19 % viimeistyskäsitteilyjen mukaan. Oikein kosteissa oloissa villa voi absorboida itseensä vettä jopa kolmasosan painostaan.

Villa voi syttyä, mutta se ei yleensä jatka palamista, ellei ulkopuolinen lämmönlähde (esim. jokin muu palava vaatekerros) ylläpidä palamista. Tämä johtuu luonnollisen kosteuden lisäksi siitä, että villan palaessa vapautuu vähän lämpöä ja että liekin lämpötila on alhainen. Nämä eivät riitä palon etenemiseen, koska lisäksi villan syttymislämpötila on korkea.

Villa palaa korkeassa lämpötilassa, mutta ei yleensä jatka palamista, kun lämmönlähde on poistettu. Villan palaessa se ei sula eikä siten tiputa palavaa ainesta. Villa muodostaa

voimakkaan vaahtomaisen hiiltymän, jolla on hyvä eristyskyky. Lämmöneristeenä toimiva hiiltymä suojaa villaa palon leviämiseltä.

4.3 Silkki

Silkki on eläinkuitu ja kemiallisesti lähellä villaa. Silkki on silkkiperhosen toukan kehäämää proteiinikuitua. Myös silkki, kuten villa, imee itseensä kosteutta, jopa 30 %. Raakasilkin kosteus on normaali-ilmassa 10–11 %.

Silkkiä voidaan pitää paloturvallisena kuituna. Kuten villan, myös silkin, paloturvallisuuden vaikuttavat suuri luonnollinen kosteuspitoisuus ja korkea typpipitoisuus.

VTT:n tutkimuksissa [59 ja 60] ohut silkkikangas kyllä syttyi hyvinkin helposti, mutta sammui itsestään hetken kuluttua. Silkki ei siis ylläpidä palamista.

4.4 Höyhenet ja untuvat

Höyhenet ja untuvat ovat keratiinia kuten muutkin eläinkuidut. Ne eivät syty helposti eivätkä ylläpidä palamista. Untuvilla ja höyhenillä täytetty peite tai tyyny on huomattavasti paloturvallisempi kuin puuvillavanulla täytetty.

4.5 Polyesterit

Polyesterikuidut sulavat pois lämmönlähteestä, mikä voi estää polyesterin syttymisen. Polyesterin hajoaminen kuumuudessa on monimutkaista. Erilaisia pyrolyysituotteita muodostuu paljon. Lisäksi kehittyy runsaasti mustaa savua. Hajoamistuotteiden laatu ja määrä riippuvat pyrolyysilämpötilasta.

Polyesteritekstiilit eivät sellaisenaan syty kovin helposti. Väri- ja viimeistysaineet voivat kuitenkin häiritä niiden sulamismekanismia niin, että tuotteet voivat syttyä helposti ja myös palaa nopeasti. Samoin tapahtuu, jos polyesterikankaaseen sekoitetaan selluloosakuitua. Vaatteissa ja verhoissa käytetään paljon puuvillapolyesterisekoitekankaita.

4.6 Polyamidit

Polyamiditekstiilit sulavat kuumuuden vaikutuksesta. Ohuet polyamidikankaat eivät yleensä syty pienen sytytyslähteen, kuten tulitikun, vaikutuksesta. Tämä johtuu ennen

kaikkea polyamidin sulamis- ja syttymislämpötilojen välisestä suuresta erosta, ks. taulukko 4. Toisaalta vähän paksummat polyamidikankaat voivat syttyä hyvinkin helposti lyhyellä sytytysajalla, mutta ne sammuvat tavallisesti itsestään pian syttymisen jälkeen.

Väri- ja viimeistysaineet voivat häiritä myös polyamidin sulamismekanismia niin, että polyamidikangas voi tulla helposti syttyväksi ja nopeasti palavaksi. Samoin voi käydä, jos siihen sekoitetaan selluloosakuitua.

4.7 Akryyli

Ulkoisen sytytyslähteen vaikutuksesta alhaisimmassa lämpötilassa syttyy akryyli, koska se pyrolysoituu jo alhaisessa lämpötilassa ja koska akryylistä muodostuvat hajoamistuotteet jo pieninä pitoisuuksina muodostavat ilman kanssa palamiskykyisen seoksen.

Sytyttyään akryylit palavat kiihkeästi. Palavia hajoamistuotteita muodostuu paljon, samoin tiheää savua. Lämpöä kehittyy runsaasti.

Akryyliä käytetään neuleissa villaan sekoitettuna tai villan sijasta, mutta myös sisustus-kankaissa.

4.8 Polypropeeni

Polypropeeni on polyolefiinikuitu samoin kuin polyeteeni. Molemmat kuidut syttyvät erittäin helposti ja jatkavat palamista. Ne sulavat kuumuuden vaikutuksesta ja tiputtavat palavia pisaroita, jotka eivät sammu, vaan jatkavat palamista. Kuumuutta molemmista kuiduista vapautuu erittäin paljon. Palavia polyolefiinikuituja ei voi sammuttaa vedellä, koska ne ovat vettä kevyempiä.

Polypropeenikuituja käytetään alusasuisissa, varsinkin urheilu- ja retkeilyalusasuissa. Myös kokolattiamatoissa voi olla polypropeenikuitua.

Taulukko 3. Tavallisimpien tekstiilikuitujen syttyvyysominaisuuksia [50].

Tekstiilikuitu	Syttyminen* °C	Itsesyttymislämpötila °C	Maks.liekin lämpötila °C
Puuvilla	350	400	880
Villa	325	590	680
Polyesteri	390	508	697
Polyamidi	390	510	875
Polypropeeni	375	495	839
Akryyli	250	515	855

* Ulkopuolisen tekijän (esim. pieni liekki tai kipinä) aiheuttama syttyminen.

Taulukko 4. Tavallisimpien tekstiilikuitujen termisiä ominaisuuksia [68].

Tekstiilikuitu	Sulamis- tai hajoamislämpötila °C	Syttymislämpötila °C	Syttyvyys/ LOI-arvo
Puuvilla	ei sula (400)	290	17–19
Villa	(ei sula)	225	25–27
Polyesteri	250–260	370	22
Polyamidi	215–265	350	20
Polypropeeni	160–180	240	18,5
Akryyli	>200	245	17

5. Paloturvalliset tekstiilit

Useimmat tavanomaiset tekstiilit syttyvät pienen liekin kosketuksesta. Palosuojauksella voidaan vähentää tuotteen syttymisherkkyttä ja palon leviämistä alkuvaiheessa.

Palosuojaus tehdään palosuojaja-aineilla, joiden vaikutus perustuu esimerkiksi seuraaviin seikkoihin:

- sitovat lämpöä niin, ettei tuotteen syttymislämpötilaa saavuteta
- tuote hajoaa (hiiltyy) ennen kuin syttymislämpötila on saavutettu
- ohjaa tuotteen hajoamista niin, että syntyy vähemmän palavia kaasuja
- palosuojaja-aineista kehittyvät kaasuja, jotka estävät tuotteen hapen saannin ja siten palamisen.

Luonnonkuiduista (esim. puuvillasta, villasta) valmistetut tekstiilit on palosuojattava viimeistyskäsittelyillä. Tekokuiduista valmistettujen kankaiden palosuojaus voidaan tehdä viimeistelyn lisäksi myös kuidun valmistuksen yhteydessä.

Pysyvyytensä perusteella palosuojatut tekstiilit voidaan jakaa kahteen ryhmään: pysyvästi palosuojattuihin ja ei-pysyvästi palosuojattuihin. Jälkikäsitteilyaineilla tehdyt palosuojakäsittelyt ja palosuojaviimeistykset ovat joko pysyviä ja pesuja kestäviä tai pesussa pois huuhtoutuvia. Pysyvästi palosuojattuja tekstiilejä valmistetaan luonnostaan paloturvallisista kuiduista, paloturvallisiksi modifioiduista kuiduista tai viimeistelemällä kangas pysyvillä palosuojaja-aineilla. Pysyvästi palosuojatuissa tekstiileissä suojaus kestää tuotteen koko käyttöä, kun hoito-ohjeita noudatetaan.

5.1 Pysyvästi palosuojatut tekstiilit

Pysyvästi palosuojatut tekstiilit voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: 1) tekstiilit, jotka on valmistettu luonnostaan paloturvallisista kuiduista 2) tekstiilit, jotka on valmistettu paloturvallisiksi modifioiduista kuiduista ja 3) tekstiilit, jotka on viimeistelty paloturvallisiksi.

5.1.1 Luonnostaan paloturvalliset kuidut

Tekstiili saadaan paloturvalliseksi valmistamalla se alun perin hyvin lämpöä kestävästä kuiduista tai sellaisista kuiduista, joiden kemiallisessa rakenteessa on syttymistä ehkäiseviä ja palamista hidastavia aineita.

Luonnostaan paloturvallisia kuituja on useita erilaisia, hieman eri tarkoituksiin sopivia. Yhteistä niille kaikille on, että ne ovat tavanomaisia tekstiilikuituja huomattavasti kalliimpia erikoismateriaaleja. Kaikkien luonnostaan paloturvallisten kuitujen värjäys ei onnistu niin laajasti kuin tavanomaisten tekstiilikuitujen.

Luonnostaan paloturvallisia kuituja käytetään erikoistekstiileissä, esim. tulelta ja kuumuudelta suojaavissa vaatteissa sekä lentokoneiden sisustus- ja eristemateriaaleina.

Seuraavaksi selostetaan lyhyesti tavallisimpien luonnostaan paloturvallisten kuitujen ominaisuuksia.

Aramidikuidut

Aramidit ovat kemialliselta rakenteeltaan aromaattisia polyamideja. Aramidien aromaattinen molekyylirakenne tekee niistä erittäin hyvin kuumuutta kestäviä. Aramidi ei sula kuumuuden vaikutuksesta kuten alifaattiset polyamidit (nailon), vaan se hiiltyy, mutta vasta noin 430 °C:n lämpötilassa.

Aramidikuiduista valmistetut kankaat ovat vaikeasti syttyviä ja kestävät erinomaisesti melko korkeita lämpötiloja lujuusominaisuuksien muuttumatta. Aramidikankaan alkuperäisestä murtolujuudesta on mitattu olevan jäljellä 60 %, kun se on ollut tuhat tuntia 260 °C:n lämpötilassa [11].

Aramidikankakaan ongelmana on sulan metallin kiinni tarttuminen. Esimerkiksi hitsauskipinät tarttuvat herkästi aramidikankaaseen.

Aramidikuituja käytetään nykyään paljon tulelta suojaavissa vaatteissa kuidun kalleudesta huolimatta, esim. palopuvuissa, kilpa-autoilijoiden ajohaalareissa ja sotilasvaatteissa.

Aramidikuituja on kahta tyyppiä: meta-aramidit ja para-aramidit.

Aramidikuidun valmistajia on useita, samoin kauppanimiä. Meta-aramideja ovat mm. Nomex, Conex ja Fortafil ja para-aramideja Kevlar, Tawaron ja Technora.

Polyamidi-imidikuidut

Polyamidi-imidikuidun kemiallinen rakenne on samantyyppinen kuin meta-aramidin. Usein se luokitellaankin aramidikuiduksi.

Polyamidi-imidikuidusta valmistetut kankaat eivät sula, vaan hiiltävät kuumuuden vaikutuksesta. Ne ovat vaikeasti syttyviä ja kestävät hyvin kuumuutta. Kuitua myydään kaupanimellä Kermel.

Polyamidi-imidikuitua käytetään kuumuudelta suojaavissa vaatteissa.

Polyimidikuidut

Polyimidikuitu on vaikeasti syttyvä ja sillä on erittäin hyvät kuumuudenkesto-ominaisuudet. Kuitu kestää mekaanisten ominaisuuksien muuttumatta jatkuvaa 260 °C:n lämpötilaa. Polyimidikuidun hajoaminen alkaa vasta noin 500 °C:n lämpötilassa. Se ei sula, vaan hiiltyy [11].

Polyimidi on pehmeä ja silkkimäinen kuitu. Tämän vuoksi sitä käytetään etenkin kuumuudelta suojaavissa alusasuissa sellaisenaan tai esimerkiksi palosuojattuun viskoosiin sekoitettuna. Polyimidikuitua myydään kaupanimellä P 84 ja Durette.

PBI (polybentsimidatsoli)

PBI-kuitu kestää kuumuutta paremmin kuin aramidit. Se säilyttää taipuisuutensa kuumusrasituksessa aramideja paremmin. Se on vaikeasti syttyvä eikä sula kuumuuden vaikutuksesta.

PBI:tä käytetään kuumuudelta suojaavissa vaatteissa.

Lisäksi luonnostaan paloturvallisista kuiduista mainittakoon

Klorokuidut (esim. Rhovyl, Clevyl, Leavil, Movil, Thermovyl, Teviron)

Fenolikuidut (esim. Kynol),

Hiillytetyt kuidut – valmistettu hiillyttämällä esim. polyakryylnitriiliä tai viskoosia. Firotex ja Asgard on tehty viskoosia hiillyttämällä.

5.1.2 Paloturvallisiksi modifioidut tekstiilikuidut

Paloturvallisiksi modifioidut kuidut on valmistettu lisäämällä palosuojausta parantavaa ainetta kuidun valmistuksen yhteydessä. Modifiointi tehdään liittämällä paloturvallisuutta parantava yhdiste, komonomeeri, polymeerikykylietjuun. Näin palosuoja-aine on sitoutunut kiinteästi kuituun ja pysyy tuotteessa koko sen käytön ajan. Tuotteen paloturvallisuus voi kuitenkin muuttua, jos tuotteeseen lisätään paloturvallisuutta heikentäviä

viimeistyskäsittelyjä. Esimerkiksi jotkut veden tai lian hylkivyyksikäsittelyt voivat huonontaa paloturvalliseksi modifioidun tekstiilikuidun paloturvallisuutta.

Seuraavassa on kerrottu lyhyesti tavallisimmista paloturvallisiksi modifioiduista kuituista.

Modakryylikuidut

Modakryylikuidut on valmistettu lisäämällä herkästi syttyvään ja voimakkaasti palavaan akryylikuituun klooria sisältäviä yhdisteitä, polyvinyylikloridia tai polyvinylideenikloridia.

Modakryylikuidut ovat vaikeasti syttyviä. Ne kutistuvat voimakkaasti kuumuuden vaikutuksesta, mutta eivät sula vaan hiiltyvät.

Modakryylikuituja käytetään suojavaatetuksessa alus- ja välivaatemateriaalina sekä sisustustekstiileissä.

Kauppanimistä mainittakoon mm. Teklan, Kanecaron, Velicren FR, Verel, Lufnen.

Palosuojattu polyesteri

Paloturvalliseksi modifioidusta tekstiilikuiduista tunnetuimpia ovat olleet Trevira CS ja Trevira FR. Trevira CS- ja Trevira FR -kuidut on tehty liittämällä fosforiorganinen yhdiste polyesterimolekyylisiin. Trevira FR -kuidussa palosuoja-ainetta oli vähemmän, eikä sen paloturvallisuus ollut samaa tasoa kuin Trevira CS:n. Trevira FR -kuitua ei enää valmisteta. Myös muita vastaavia pysyvästi palosuojattuja polyesterikuituja on olemassa, mm. Teijin, Heim ja Fidion.

Palosuojattu polyesteri on vaikeasti syttyvä. Se sulaa kuumuuden vaikutuksesta, mikä on otettava huomioon, jos palosuojattua polyesteriä käyttää verhoilu- tai suojavaatemateriaalina.

Palosuojattu viskoosi

Viskoosista valmistetaan palosuojattuja kuituja modifioimalla selluloosakuitua. Visil on Suomessa kehitetty paloturvalliseksi modifioitu viskoosikuitu. Visilin modifiointi on tehty piihapolla (SiO₂).

Myös muita paloturvalliseksi modifioituja viskoosikuituja on olemassa, mm. Lenzing Viscose FR, Danufil CS ja Tufban.

Polyklaalikuidut (PVC/PVA)

Polyklaalikuitu on vaikeasti syttyvä eikä se sula helposti. Sitä käytetään sisustustekstiileissä. Kauppanimistä mainittakoon Cordelan.

5.1.3 Paloturvallisiksi viimeistellyt tekstiilit

Kaikki jälkikäsitellyineillä tehdyt palosuojakäsittelyt ja palosuojaviimeistykset eivät ole pysyviä, pesuja kestäviä. Palosuojajäkinne voi huuhtoutua pesussa pois tai se voi menettää tehoa käytössä kosteuden tms. vaikutuksesta.

Viimeistysaineilla paloturvallisiksi tehtyjä kankaita pestäessä on ehdottomasti noudatettava hoito-ohjeita, jotta kankaan paloturvallisuus ei heikkene.

Pesunkestävät palosuojaukset tehdään normaalisti kankaan valmistuksen yhteydessä.

Palosuojakemikaalit voivat muuttaa kankaan muita ominaisuuksia (tuntu, värit jne.)

Luonnonkuitujen palosuojauksista ei voi tehdä muulla tavalla kuin viimeistelemällä kangas tai tuote palosuojakemikaaleilla.

Myös tekokuiduista valmistettujen tekstiilien paloturvallisuutta parannetaan viimeistelemällä kangas palosuojajäkinneilla.

Pysyvästi palosuojatuissa tekstiileissä suojaus kestää tuotteen koko käyttöiän. Pesuohjeita on noudatettava, sillä esim. kloorivalkaisu voi heikentää palosuojauksista.

Seuraavaksi kerrotaan lyhyesti erilaisten tekstiilikuitujen palosuojaviimeistykseistä.

Selluloosakuitujen palosuojaus:

Puuvillakankaille ja muille selluloosakuituisille kankaille saadaan vesipesuja kestävä palosuojaus orgaanisilla typpeä ja fosforia sisältävillä yhdisteillä. Nämä yhdisteet ohjaavat selluloosan hajoamista kuumuuden vaikutuksesta niin, ettei palavia hajoamistuotteita synny, vaan muodostuu voimakas hiiltymä.

Erittäin tehokas palosuojaus saadaan Proban-käsittelyllä. Monivaiheisessa tuotantoprosessissa selluloosakuidun sisään ajetaan typpeä ja fosforia sisältävää yhdistettä, joka polymeroidaan kuidun sisälle. Muodostunut polymeeri, Proban, ei reagoi kuidun kanssa. Tämän vuoksi kankaan muut ominaisuudet eivät muutu, ”kangas ei tunnu palosuojatun-

ta”. Pesujen jälkeisessä siliävyydessä on sen sijaan huomattu jonkin verran ongelmia palosuojaamattomaan puuvillakankaaseen verrattuna.

Toinen monivaiheisen prosessin vaativa selluloosakuidun palosuojaus, joka tehdään tyypeä ja fosforia sisältävillä yhdisteillä, on Pyrovatex-käsittely.

Nämä palosuojaukset kestävät kymmeniä pesuja korkeissakin lämpötiloissa – kunhan pesuohjeita noudatetaan.

Villan palosuojaus:

Villaa palosuojataan pysyvästi Zirpro-menetelmällä.

Polyesterin palosuojaus:

Polyesterin palosuojaviimeistysaineita ovat esim. Extar A ja Unfla III.

5.2 Ei-pysyvästi palosuojatut tekstiilit

Tilapäisluonteinen jälkikäsittelynä tehtävä palosuojaus tulee kysymykseen silloin, kun sisuste ei todennäköisesti joudu tekemisiin veden kanssa. Ei-pysyvät palosuojaukset kestävät, kunnes tuote pestään tai se joutuu kosteuden kanssa tekemisiin.

Yleisimmät käyttökohteet ovat messujen ja näyttelyjen sisusteet ja somisteet.

Valmiin kankaan jälkikäsittelypalosuojaukset tehdään ruiskuttamalla tai upottamalla tuote palosuoja-aineeseen. Materiaali kuivataan niin alhaisessa lämpötilassa, ettei palosuoja-aineena käytetty suola hajoa. Käytettävä palosuoja-ainemäärä riippuu tuotteen raaka-aineesta, rakenteesta ja neliömassasta.

Palosuojauksen onnistumiseen vaikuttavat suojattavan materiaalin ja palosuoja-aineen yhteensopivuus, suoja-aineen käyttömäärä sekä suojattavan tuotteen rakenne ja kuivausolot [61].

Huuhtelukäsittelyillä ja ruiskutuksilla tehdyt palosuojaukset perustuvat yleensä epäorgaanisiin suoloihin. Kankaan palosuojauksissa käytetään erilaisia suolakäsittelyjä (esim. ammoniumsuolat, alumiinihydroksidi, halogeeniyhdisteet, booriyhdisteet). Tällainen suojaus lähtee pesussa pois. Lisäksi pystysuoraan pidettävistä kankaista (verhot) palosuoja-suolat voivat aikaa myöten valua alas. Esim. Flovan ja Pyrex ovat pesussa pois-lähteviä, suoloilla tehtäviä palosuojauksien kauppanimiä.

6. Palosuoja-aineet

6.1 Yleistä

Palosuoja-aineet ovat kemikaaleja, joilla pyritään rajoittamaan materiaalien palavuutta. Onnistuneella palosuojauksella voidaan vähentää materiaalin syttymisherkkyttä ja hidastaa palon leviämistä.

Yleensä tekstiilien palosuoja-aineet eivät saa vaikuttaa tuotteen kosketusominaisuuksiin tai laskeutuvuuteen eivätkä aiheuttaa potentiaalisia terveydellisiä vaaroja. Useimmiten palosuojausten täytyy kestää myös toistuvia vesi- tai kemiallisia pesuja.

Tekstiilien palosuoja-aineet edustavat suhteellisen pientä osuutta palosuoja-aineiden markkinoista, esim. Yhdysvalloissa noin 5 % [21]. Suurinta osaa edustavat muovien ja seuraavaksi kumin palosuoja-aineet. Tosin kumin osuudesta valtaosa on maton alustoissa käytettävää alumiinihydroksidia (taulukko 5).

Taulukko 5. Palosuoja-aineiden markkinat Yhdysvalloissa (%) [21].

Muovit	65
Kumi	25 ^a
Tekstiilit	5
Päällysteet/liimat	3
Puu/paperi	2

^a sisältää mattojen alustoissa käytetyn alumiinihydroksidin

Useimmat palosuoja-aineet sisältävät yhtä tai useampia seuraavista alkuaineista: fosfori (P), typpi (N), kloori (Cl), bromi (Br), antimoni (Sb) ja boori (B). Palosuoja-aineissa esiintyy näiden lisäksi myös mm. alumiinia (Al), sinkkiä (Zn) ja rikkiä (S).

Erilaisten paloturvallisten aineiden ja palosuojausten ilmoitetaan kestävän seuraaviin lämpötiloihin asti (maksimilämpötila) [28]:

Keraamit	1100–1200 °C
Aramidit	600–800 °C
Palosuojattu villa ja puuvilla	300–600 °C
Palosuojattu polyesteri, modakryyli	200 °C.

Valtaosa palosuojatuista tekstiileistä on palosuojaviimeistelyjä puuvilloja.

Tekstiilit voidaan palosuojata viimeistelemällä valmis kangas palosuoja-aineilla tai lisäämällä palosuoja-aine tekstiilikuituun kuidun valmistusvaiheessa. Paloturvallinen kangas voidaan tehdä myös valmistamalla kangas alunperin hyvin lämpöä kestävästä kuduista.

Ei-pysyviä palosuoja-aineita ovat fosforia ja typpeä sisältävät monomeeriset tai reaktiiviset aineet, antimoni-halogeenisysteemit tai zirkoniumheksafluoridikompleksit. Aineet lisätään kankaan viimeistelyoperaation aikana. Näin palosuojataan esim. villaa ja puuvillaa.

Ei-pysyvässä jälkikäsittelyssä on käytetty myös ammoniumsuoloja tai booriyhdisteitä. Ammoniumsuoloista käytetään yleisesti mono- ja diammoniumfosfaattia. Booriyhdisteet soveltuvat erityisesti jälkikytemisen ehkäisyyn. Boraatit turpoavat kuumentuessaan vaahtomaiseksi massaksi, josta syntyvä boorioksidisula muodostaa materiaalin pintaan eristävän suojakerroksen [50].

Tekstiilikuidun valmistusvaiheessa kuituun lisättävät palosuoja-aineet ovat yhdisteitä, jotka sisältävät typpeä tai rikkiä, piitä, fosforia tai halogeeneja. Esimerkiksi polyesteriä, viskoosia ja polypropyleenia palosuojataan näin.

6.2 Vaikutusmekanismit

Palosuoja-aineet voivat vaikuttaa kemiallisesti tai fysikaalisesti kiinteässä, neste- tai kaasufaasissa. Ne häiritsevät palamista kuumenemisen, syttymisen tai palon leviämisen aikana. Yleinen käsitys on, että kemiallisen reaktion kautta toimivat palosuoja-aineet ovat tehokkaampia kuin fysikaalisin keinoin toimivat. Suuntauksena on monilla tavoin synergisesti vaikuttavat palosuoja-aineet, jotka ovat tehokkaita pienempinä pitoisuuksina.

6.2.1 Kemiallinen toiminta

a. Reaktiot kiinteässä faasissa

Kiinteässä faasissa voi esiintyä kahta reaktiotyyppiä. Ensimmäinen palosuoja-aine voi kiihdyttää polymeerin hajoamista aiheuttaen polymeerin valumisen ja vetäytymisen pois liekin vaikutusalueelta. Toiseksi palosuoja-aine voi aikaansaada suojaavan hiiltymäkerroksen muodostumisen polymeerin pinnalle. Tämä voi tapahtua esimerkiksi palosuoja-aineen dehydrataatiossa, jossa polymeeriin muodostuu kaksoissidoksia. Tällöin muodostuu hiilipitoinen kerros, joka sisältää renkaita ja ristikkäissidoksia. Lisäksi palosuoja-aineet alentavat palavien haihtuvien aineiden lämpösisältöä, kun hiiltymän määrä lisääntyy ja haihtuvien aineiden määrä vähenee [6, 18].

b. Reaktiot kaasufaasissa

Palosuoja-kemikaalit muodostavat pyrolyytisissä lämpötiloissa inhibiittoreina toimivia vapaita radikaaleja, jotka katkaisevat palamisprosessin radikaalimekanismin kaasufaasissa. Täten eksotermiset (lämpöä tuottavat) reaktiot estyvät, systeemi kylmenee ja palavien kaasujen tuotanto vähenee [17 ja 62].

6.2.2 Fysikaalinen toiminta

a. Jäähdyttämällä

Palosuoja-aineiden käynnistämät endotermiset (lämpöä kuluttavat) prosessit jäähdyttävät materiaalia palamisprosessin ylläpitoon vaadittavan lämpötilan alapuolelle. Esimerkkinä tällaisesta palosuoja-aineesta on alumiinihydroksidi, Al(OH)_3 , joka absorboi lämpöä ja vapauttaa vettä reaktiovyöhykkeelle. Tätä menetelmää käytetään harvoin tekstiileille, koska kemikaalia tarvitaan paljon ja se huonontaa kankaan esteettisiä ominaisuuksia [17 ja 62].

b. Muodostamalla suojaava kerros

Syntyneet palavat hajoamistuotteet eristetään kiinteällä tai kaasumaisella kerroksella. Siten kondensoitunut faasi jäähtyy, kehittyä pienempiä määriä pyrolyysikaasuja ja palamisprosessille välttämätön hapen pääsy estyy, samoin lämmön siirto [17 ja 62].

c. Laimentamalla

Lisätään palosuoja-aineita, joista muodostuu lämpöhajoamisessa inerttejä (reagoimattomia) kaasuja. Inerttien kaasujen muodostuminen aiheuttaa palavien aineiden laimentamisen, ja palaminen estyy [17 ja 62].

6.3 Vaikutus ihmiseen ja ympäristöön

6.3.1 Yleistä

Tulipaloriskiä voidaan vähentää joissakin tapauksissa palosuoja-aineilla. Toisaalta palosuoja-aineiden käyttö itsessään voi herättää epäilyksiä terveysriskeistä, koska kemikaalit voivat olla myrkyllisiä.

Molemmat näkökohdat on esitetty EU:ssa käytäessä keskustelua palosuoja-aineista ja niihin liittyvistä määräyksistä. Englanti vaatii käyttämään vaikeasti syttyviä materiaaleja tai palosuoja-aineita, mutta useat muut maat, esim. Saksa, ovat varovaisempia mahdollisten terveysriskien vuoksi.

Suunniteltaessa tuotteen palosuojausta on merkittävää se, miten paljon kyseisen tuotteen kanssa ollaan kosketuksissa. Kontakti on usein tapahtuvaa ainakin vaatteiden ja sänkyvaatteiden kanssa. Lyhyempiä aikaista tai vähäistä kontaktia voi esiintyä esimerkiksi mattojen, seinäpäällysteiden ja pressujen kanssa etenkin näyttely-, messu- yms. tilaisissa tiloissa.

6.3.2 Palosuoja-aineiden myrkyllisyydestä

Palosuoja-aineiden myrkyllisyystutkimusten tulokset kuvaavat altistumisaikaa, jonka seurauksena minimaaliset myrkyllisyysriskit ilmenevät ihmisen ollessa altistuneena tietyllä palosuoja-aineella käsitellylle tekstiilille.

Fosforia sisältävät palosuoja-aineet

Fosforia sisältäneen palosuoja-aineen Fyrol 76 poisvetämiseen 1970-luvulla johtaneen ns. "Tris" tapauksen lisäksi on fosforipohjaisista palosuoja-aineista ilmestynyt hyvin vähän julkaisuja. Sellaisilla tuotteilla kuten Amgard (nyt Antiblaze P45) ja AKZO'n tuote Fyrol 51 on ilmoitettu esiintyneen käsittelyongelmia mutageenisten epäpuhtauksien vuoksi. Antiblaze P45 on syklisen fosfonaatin dimeeri. Antiblaze CU (tai N/NT Yhdysvalloissa) sisältää epäpuhtautena pieniä määriä dimetyylifosfonaattia. Kankaassa käytettynä tämän epäpuhtauden ei enää pitäisi olla läsnä. Taustapinnoitusten palosuoja-aineeksi suositellun, halogeenivapaan Fyrol 51:n tapauksessa epäpuhtautena on trimeetyylifosfaatti. Kuitenkaan samaan tarkoitukseen suositellulla tuotteella Fyrol 6 (dietyyli-N,N-bis(hydroksietyyli)ammoniummetyylifosfonaatti) ei H&S -tiedostossa raportoida olevan mitään epätavallisia myrkyllisyysongelmia.

Mitään todisteita ei ole havaittu THP-perusteisten kuidun palosuojaukseen (Proban) käytettyjen aineiden syöpävaarallisuudesta [43]. Kun nämä aineet ovat polymerisoituneet selluloosakuitujen sisälle, ne eivät ole vain muuttaneet kemiallista luonnettaan, vaan ovat myös liikkumattomia ja muuttumattomia. Sama pätee myös mille tahansa samalla tavalla reagoivalle tekstiilin palosuojaviimeistelyaineelle, kuten N-metyylidi-metyylifosfonopropionamideille, niiden selluloosan kanssa muodostamien ristikkäissidosten vuoksi. International Agency of Research on Cancer on tutkinut jokaisen palosuoja-aineen kankaassa muodostuvan funktionaalisen monomeerin negatiivisin tuloksin [79]. Kuten edellä on esitetty, käsitellyssä valmiissa kankaassa on nimenomaan palosuoja-aineiden polymeerimuotoja. Edelleen alkuperäisen palosuoja-aineen mahdollisesti sisältämät epäpuhtaudet on pesty pois kankaan viimeistelyosassa ja ne ovat poistuneet kuidun kanssa reagoineesta palosuoja-aineesta [12].

On huomattava, että tutkimuksissa käytetyt annokset saattavat usein olla paljon suurempia kuin ne, joille käytännössä voidaan altistua. Melko tuoreissa tutkimuksissa on saatu seuraavanlaisia tuloksia [12]:

- (i) THP-perusteiset aineet: Proban käsittää kemikaalin (THPC-ureatiiviste) lisäämisen, polymeerin muodostumisen, jota seuraa viimeistys ammoniakilla. Tuloksena on Proban-viimeistely puuvilla. Ensimmäisen vaiheen polymeeri on happamuuden vuoksi ihmisen ihoa syövyttävä. Sen myrkyllisyys on suhteellisen pieni eikä se ole mutageeninen Amesin solutestin perusteella. Proban-käsiteltyjen kankaiden tai niiden uutteiden mutageenisuuskokeet suorassa ihokontaktissa osoittivat negatiivisia tuloksia. Japanissa Japanese Society of Cutaneous Health'n 20 vuotta sitten tekemien testien tulosten perusteella Proban-käsiteltyjä kankaita voidaan käyttää lasten yöpuvuissa ja sänkyvaatteissa, joissa sekä suun kautta saadun altistumisen että ihon altistumisen turvallisuus ovat oleellisen tärkeitä.
- (ii) N-metyloidut dimetyylifosfonopropionamidi: On huomattava, että eri valmistajat voivat käyttää eri valmistusreittejä ja sen seurauksena tuotteet voivat sisältää eri epäpuhtauksia, jotka voivat vaikuttaa myrkyllisyystuloksiin. Sen vuoksi tulos on spesifinen nimenomaiselle tuotteelle. Lisäksi tämän ryhmän valmiissa kankaassa olevat palosuoja-aineet ovat yhteydessä yhteen tai useampaan metyloituun melamiiniin, etyleeniureaan jne. perustuvaan ristikkäissidoksia muodostavaan hartsiin. Pyrovatex CP:n myrkyllisyystulokset ovat 10 vuoden takaisia. Valmistaja on julkaissut uudelle tuotteelle Pyrovatex CP New tuoreempia tuloksia, joiden mukaan kyseiseen viimeistykseen liittyvät vaarat ovat minimaalisia.
- (iii) Sykliset fosfonaattiesterit: Antiblaze CU/CT:n käsittelyssä vaaditaan normaaleja monissa tekstiiliprosesseissa yleisiä työturvallisuusohjeiden mukaisia käytäntöjä suoja-laitteineen ja ilmastointeineen. Ihmishotesteissa on todettu alhainen ihoärsytys. Antiblaze CU/CT:lla ei ole todettu olevan merkittäviä vaikutuksia lukuun ottamatta korkeilla annoksilla, 3000 mg/kg ruumiin massaa kohti, jolloin tapahtuu eräitä muutoksia. Ames ja muut solutestit eivät osoittaneet mutageenistä aktiivisuutta.

Mitään vaikutuksia ei havaittu kokeissa 10 000 ppm:n pitoisuudella, kun taas suuret 50 000 ppm:n pitoisuudet aiheuttavat kuivumista ja ovat hengenvaarallisia. Teratogeeniset tutkimukset tuottivat suoliston toiminnan muutoksia ja joitakin tukirangan muutoksia vain erittäin korkeilla pitoisuuksilla. Ihotesteissä yli 24 tunnin jaksolla ainoastaan 1 % absorboitui. Antiblaze N -käsitellyn polyesterikankaan testeissä ei havaittu mitään vaikutuksia ihoon. Käsitellyn kankaan uutteesta vain 0,1 % imeytyi ihoon. Johtopäätös oli, että Antiblaze CU/CT joko yksinään tai kankaassa on hyväksyttävä palosuojatuissa tekstiileissä ja erityisesti pehmustetuiden huonekalujen kankaassa.

Halogeenipohjaiset palosuoja-aineet

Eräs melko tuore tutkimus [4] on antanut viitteitä siitä, että antimoni III oksidin ja decabromodifenylioksidin (DBDPO) käyttö taustapinnoitteissa voi aiheuttaa myrkyllisyysvaaran vauvoille. Viime vuosikymmenen aikana aiheesta on tehty useita tutkimuksia, mutta tähän päivään mennessä DBDPO:a (päinvastoin kuin polybrominoituja difenyylejä) ei ole kiistattomasti osoitettu syöpävaaralliseksi [44].

Niin sanottuja PDDE-yhdisteitä (polybrominoidut difenyylietterit) käytetään pääosin muoveissa, mutta niitä käytetään myös tekstiileissä, mm. telttakankaissa ja julkisten tilojen sisustustekstiilien suojaukseen. Kokeiden perusteella pidetään mahdollisena, että yhdisteet voivat heikentää kilpirauhasen hormonitoimintaa, vahingoittaa aivojen kehitystä ja aiheuttavan käytöshäiriöitä. Kuitenkaan ei voi päätellä, että vaikutukset olisivat nykyisillä pitoisuuksilla todennäköisiä. Kokeissa annokset ovat olleet milligrammatasoisia, kun ihmisten päivittäinen saanti on paljon vähäisempää, esim. PBDE-yhdisteiden pitoisuudet äidinmaidossa Tukholman alueella ovat muutaman mikrogramman tasolla kilogrammassa rasvaa [39 ja 77].

Antimoni-bromiyhdisteet: Antimoni III oksidin rooli kätkytkuolemista eli vauvojen äkkikuolemista nostettiin esiin Englannin televisiossa 1994. Vaikka se kumottiin ja osoitettiin perusteettomaksi, antimoni- tai bromipitoisten palosuojakäsittelyjen imago on yleensä huono mediassa ja ympäristöpiireissä [13 ja 12].

6.3.3 Viranomaistoimia

"Tris" -kysymys ja kieltö 1977 [29] oli ensimmäisiä tapauksia, jotka nostivat esille palosuojattujen tekstiilien toksikologiset kysymykset. Tris-(2,3-dibromo-1-propyyli)fosfaatti on kielletty, koska se on osoittautunut syöpävaaralliseksi. Tämän jälkeen julkinen huomio ja huoli ovat kiinnittyneet antimoni-bromiyhdistelmiin [13 ja 12].

Polybrominoitujen dioksiinien mahdollinen muodostuminen organobromiyhdisteiden, erityisesti polybrominoitujen difenyylioksidien (PBDPO), palaessa on herättänyt laajaa huolestusta. Vuonna 1991 EU julkaisi muutosehdotuksen EC-direktiiviin, joka kieltäisi kaikkien polybrominoitujen difenyylioksidien tai eetterien käytön 5 vuodessa. 1994 tämä direktiivi vedettiin takaisin, koska myöhempien tutkimusten mukaan aiemmat epäilyt olivat turhia. Kuitenkin 1991 yhdysvaltalainen US Environmental Protection Agency vaati viiden palosuoja-aineen, mm. decabromodifenylioksidin (DBDPO), perusteellista testaamista. Tällä välin oli aloitettu myös OECD-tutkimus näihin aineisiin liittyvistä riskeistä. Vuonna 1994 World Health Organisation julkaisi tutkimuksensa tuloksena, että PBDPO ei aiheuttanut merkittävää vaaraa terveydelle. Julkinen huomio on saanut teollisuuden kiinnittämään huomiota PBDPO-yhdisteiden ympäristöpäästöi-

hin ja puhtauteen ja minimoimaan näiden aineiden ja niiden tyyppisten aineiden käytön sekä korvaamaan vaihtoehtoisilla aineilla kuten heksabromisyklodekaanilla. Maailman terveysjärjestö (the World Health Organisation) [78] on kerännyt yhteen kaikkien palosuoja-aineiden ominaisuuksia ja arvioinut DBDPO:n syöpävaarallisuutta ja julkaissut joukon ympäristökriteereitä tälle aineelle [78].

Toisten bromiyhdisteiden kohdalla oli vuoden 2001 maaliskuussa tilanne se, että EU:n komissio on muodollisesti ehdottanut myynti- ja käyttökieltoa 1.7.2003 lähtien penta-bromidifenyylieettereille (pentaBDE), joita käytetään esim. huonekalujen ja patjojen pehmusteissa käytettävien polyuretaanien tuotannossa. Komissio on tullut siihen tulokseen, että pentaBDE on riski ympäristölle, koska se kerääntyy elimistöön ja sitä on löydetty äidinmaidosta lisääntyviä pitoisuuksia. Ehdotus on tehty komission riskianalyysin perusteella ja perustuu ennakkovarotoimen periaatteelle, vaikka ei tiedetä tarkasti, kuinka pentaBDE on joutunut äidinmaitoon. Kahdelle muulle kaupallisesti saatavilla olevalle eetterille, dekaBDE:lle ja oktaBDE:lle, on tekeillä riskin arviointi. Komission päätös perustuu sääntöön 793/93 olemassa olevien aineiden arvioinnista ja tarkkailusta. Komission lausunto kuuluu: Ehdotus punnitsee haittoja ja hyötyjä talouden, terveyden ja ympäristön kannalta päätyen johtopäätökseen, että terveyden ja ympäristön suojelemisen hyöty painaa enemmän kuin hinta. Sopivia vaihtoehtoisia palosuoja-aineita on saatavilla [26]. Ministerineuvosto ja europarlamentti tekevät asiasta lopullisen päätöksen.

6.3.4 Vaikutus ympäristöön

Kuten edellisessä kappaleessa (6.3.3) on esitetty, 1990-luvulla on käyty paljon keskustelua halogenoituihin, erityisesti brominoituihin palosuoja-aineisiin mahdollisesti liittyvistä riskeistä. Brominoituja palosuoja-aineita käytetään eniten muoveissa ja tekstiileissä. Noin 50 % maailmanlaajuisesta kulutuksesta käytetään sähkö- ja elektroniikkalaitteissa [5]. Niitä käytetään mm. televisioiden ja tietokoneiden muovikuorissa, piirikorttien sekä retkitarvikkeiden ja julkisten tilojen tekstiilien palosuojaukseen. Niitä on myös sähköjohdoissa, katkaisimissa ja kondensaattoreissa.

Näitä yhdisteitä on löydetty mm. Itämeren kaloista, ja Ruotsissa niiden pitoisuudet äidinmaidossa ovat nousussa, kun perinteisten ympäristömyrkkujen DDT:n, PCB:n ja nk. dioksiinien pitoisuudet ovat laskussa. Myös Suomessa on saatu samansuuntaisia tuloksia. Nykyiset bromiyhdisteiden pitoisuudet ovat pieniä verrattuna kokeiden perusteella haitalliseksi havaittuihin pitoisuuksiin. Huolestuttavia eivät olekaan nykyisten bromiyhdisteiden pitoisuudet, vaan niiden kehityssuunnat [39 ja 77].

Tietyt klooriparaffiinit ja antimonioksidit ovat myös olleet esillä, mutta päähuomio on kohdistunut bromiyhdisteisiin: PBB (polybrominoidut bifenyylit) ja PBDE (polybrominoidut difenyylieetterit), joista käytetään myös lyhennettä PBBE). Ne ovat pysyviä,

voivat kerääntyä rasvakudokseen ja johtaa tietyissä olosuhteissa erittäin myrkyllisten PBDD:n (polybrominoitujen dibentsodioksiinien) ja PBDF:n (polybrominoitujen dibentsofuraanien) muodostumiseen [76]. Nämä yhdisteet hajoavat luonnossa erittäin hitaasti. Ne kerääntyvät vesiluontoon ja joutuvat muun muassa kalaravinnosta ihmiseen.

Palosuojattujen tekstiilien ja kuitujen sisältämät halogeeniyhdisteet ovat joutuneet kriittisen huomion kohteeksi yleisen halun vuoksi vähentää halogeenien ja erityisesti bromin käyttöä valmistusprosesseissa ja raportoidun aromaattisten bromiyhdisteiden poltossa muodostuvien dioksiinien muodostumisen vuoksi [76]. Lisäksi, jos dioksiinin ja furaaenin kaltaisia yhdisteitä kehittyy rakennuspalossa, tulee rakennusten puhdistaminen jälkeensä kalliiksi. Halogenoitujen tuotteiden palaessa muodostuu korrodoivaa savua, mikä johtaa elektroniikkakomponenttien ym. vahinkoihin.

Eräs halogenoituihin palosuoja-aineiden markkinoihin vaikuttava tekijä on materiaali- ja tuotejätteiden hävitys. Koska kaatopaikoille sijoittamisen suosio vähenee tilan puutteen vuoksi, jäljellä ovat vaihtoehtoisesti poltto tai kierrätys. Halogenoitujen materiaalien palamistuotteiden luonne vaatii jätteenpolttolaitoksilta hyvää rakennetta ja kunnossapitoa itse polttolaitokselle aiheutuvan vahingon välttämiseksi ja päästöjen aiheuttamien terveysvaarojen välttämiseksi. Kierrätyksen helppoudella tai vaikeudella on myös potentiaalista vaikutusta palosuoja-aineiden käyttöön [18].

Vasta ilmestyneessä laajassa tutkimuksessa [3], jossa on tutkittu kaikkia brominoituja palosuoja-aineita, on tehty seuraavat johtopäätökset:

- Teollisuudessa käytetään 70 erilaista brominoitua palosuoja-ainetta. Niillä on hyvin erilaisia ominaisuuksia, mm. hyvin erilaiset myrkyllisyystasot ja elimistöön kerääntymispotentiaalit.
- Palosuoja-aineita tarvitaan monissa tapauksissa, jos polymeerimateriaalien käyttöä jatketaan modernissa yhteiskunnassa. Palosuoja-aineet säästävät henkiä ehkäisemällä tulipaloja ja hidastamalla palojen leviämistä, mikä on hyvä asia myös ympäristön kannalta.
- Bromi on luonnollinen aine eikä ympäristömyrkky – itse asiassa sitä käytetään sellaisissa tavallisissa tuotteissa kuin yskänlääkkeissä. Joissakin tapauksissa bromi on osana synteettisissä stabiileissa ja elimistöön kerääntyvissä molekyyleissä, joilla voi olla negatiivisia terveys- ja ympäristövaikutuksia.
- Eräillä brominoiduilla palosuoja-aineilla kuten PBB:llä (polybrominoiduilla bifenyyleillä) on osoitettu olevan pitkäaikaisia terveys- ja ympäristövaikutuksia. Muut tyypit, esim. TBBA:n (tetrabromobisfenoli A) johdannaiset ovat suhteellisen harmittomia, erityisesti aineet, jotka ovat reagoineet polymeerimateriaalin sisällä.

Mahdollisia vaihtoehtoisia brominoituja palosuoja-aineita korvaavia aineita on yleensä tutkittu vielä vähemmän. Teollisuudella voi olla painetta korvata kaikki brominoidut palosuoja-aineet, vaikka ne saattavat aiheuttaa pienemmän ympäristökuorman kuin vaihtoehtoiset aineet, esim. fosfaattiestetit. Mikä tahansa stabiili ja rasvaliukoinen kemikaali voi kerääntyä elimistöön ja antaa jossakin vaiheessa aiheutta negatiivisille vaikutuksille. Ympäristönäkökulmasta on vähän perusteita kieltää kaikkien halogenoitujen palosuoja-aineiden käyttö [3].

6.3.5 Elinkaarianalyysit

Ympäristöön liittyvä huomio ympäri maailmaa on johtanut siihen, että tarkastelun kohteena ovat kaikki valmistusprosessit, tuotehuollon vaiheet ja jätteenhävityshistoriat. Näin on ainakin kehittyneissä maissa ja etenkin EU:ssa, jossa asiaan liittyvää lainsäädäntöä ollaan toteuttamassa. Tämän ymmärtämisen pitäisi vuorostaan johtaa ympäristönäkökulmasta huolehtivien yhtiöiden suurempaan markkinaosuuteen. Palosuojattujen tuotteiden elinkaarianalyysien tekemisen päämääränä on ympäristöystävällisten palosuojajärjestelmien käyttö [73].

Horrocksin [27] elinkaarianalyysissä ympäristöindeksi ilmaistaan tuotteen elinkaaren jokaisen vaiheen yksittäisten arvioinnin summana. Arvioinnissa on 18 askelta "kehdestä hautaan". Kunkin askeleen arviointiasteikko on 0–5 suuremman numeron merkitessä suurempaa ympäristövauriota tai vahinkoa.

Analysoiduille 11 palosuojatulle kuidulle saatiin elinkaarianalyysin tuloksena taulukossa 6 esitetyt ympäristöindeksin arvot. Mitä suurempi arvo on, sitä suurempi on palosuojatun kuidun ympäristörasitus.

Taulukko 6. Palosuojattujen kuitujen ympäristöindeksin arvoja [27].

Palosuojattu kuitu	Ympäristöindeksi %
Modakryyli	51
Villa	46
Polyesteri	46
PVC/PVDC	46
Aramidi	46
Puuvilla	44
Oksiakryyli	43
Viskoosi (Sandoflam 5060)	41
Polypropyleeni	39
PBI (polybentsimidatsoli)	39
Novoloidi	32

Arvioitujen 11 kuidun ympäristöindeksit vaihtelivat novoloidin 32 %:sta modakryylin 51 %:iin, minkä tutkimuksen tekijät [27] katsovat tarkoittavan, että kyseiset kuidut ovat suhteellisen hyväksyttäviä ympäristövaikutusten suhteen tehdyn semikvantitatiivisen arvioinnin perusteella.

Kunkin vaiheen keskiarvotavoitetasoksi, jonka ylittämistä tekstiilivalmistajien tulisi pyrkiä välttämään, analyysin tekijät asettivat 2, mistä yhteenlaskettuna seuraa ympäristöindeksin arvo 40 %. Tämän arvon ylittivät kaikki muut paitsi 3 kuitua: novoloidi, PBI (polybentsimi-datsoli) ja polypropeeni [27].

Seuraavassa on esitetty muutaman palosuojatun kuidun elinkaarianalyysiin vaikuttavia erityispiirteitä [27]:

- *Puuvilla:* Tällä kuidulla on huomattavia ympäristövaikutuksia viljelyn aikana (lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käyttö), tekstiilin märkäprosessoinnissa ja palosuojaviimeistelyssä yhdistyneenä jälkihuollossa käytetyn energian, pesuaineiden ja veden ja tuotetun jäteveden määrään.
- *Villa:* Villa on elinkaariarvioinneissa paljolti samankaltainen kuin puuvilla paitsi, että kasvin viljelyn vaikutuksia tulee verrata eläinten kasvatuksen vaikutuksiin. Kuidun tuotannossa merkittävä ero on tarve poistaa luonnollisia öljyisiä, vahamaisia ja satunnaisia epäpuhtauksia intensiivisillä puhdistuskäsittelyillä. Jotain näistä (esim. lanoliinia) on mahdollista käyttää uudelleen, mutta veden käyttö ja jätevesien hävitys ovat yhä ongelmallisia. Vaikka villan palosuojaviimeistys on kemiallisesti erilainen kuin puuvillan, on tekniikka samankaltainen puuvillan prosessoinnin kanssa ja täten niillä voidaan arvioida olevan samansuuruiset ympäristövaikutukset. Villan jälkihuolto aiheuttaa luultavasti vähemmän ympäristövaikutuksia kuin muiden luonnonkuitujen villatekstiilien huonon pestävyyden vuoksi ja suositellun hellävaraisen pesun, alhaisten pesulämpötilojen tai kuivapesun vuoksi.
- *Viskoosi tai rayon:* Viskoosiprosessi on tekokuituteknologioista vanhin ja monimutkaisin ja sillä on ilmeisiä ympäristövaikutuksia sellaisten prosessikemikaalien vuoksi, kuten rikkihiili, natriumhydroksidi, rikkihappo ja sinkkisulfaatti sekä niihin liittyvät reaktiotuotteet. Palosuojajaineet, kuten 2,2-oksibis (5,5-dimetyyli-1,2,3-dioksaforinaani)-2,2-disulfidi (Sandoflam 5060, Sandoz), tekevät analyysistä vielä monimutkaisemman. Länsi-Euroopan päätuottajat ovat kylläkin viimeaikoina tehneet huomattavia investointeja prosessin ympäristöystävällisyyden parantamiseksi. Palosuojatun viskoosin ympäristöindeksin (EI) arvo 41 % taulukossa 6 kuvaa Sandoflam 5060 -palosuojatun viskoosin vaikutusta, mikä on todennäköisesti huomoinpi tilanne kuin polypiihappoa sisältävällä Visil AP -kuidulla olisi [25].

- *Polyesteri*: Tähän kuituun liittyvät ympäristönäkökohdat ovat keskittyneet tuotannon energian tai öljyn käyttöön liittyneenä samanlaisiin haasteisiin hävityksen aikana. Jälkimmäinen on seurausta sen hajoamattomuudesta luonnossa ja sen sulamistippumistaipumuksesta polton aikana, vaikka toisaalta kierrätyksessä on mahdollista hyödyntää hydrolyyttistä hajoamista.
- *Modakryyli*: Riippuvuus energiasta ja öljystä yhdistettynä sen valmistuksessa käytettyjen kahden monomeerin, akryliiniin ja vinylideenikloridin, myrkyllisiin ominaisuuksiin nostavat sen ympäristöindeksin suhteellisen korkeaksi, arvoon 51 %. Polymeerin kemiallisen rakenteen sisältämät funktionaaliset ryhmät, —Cl ja —CN, vaikuttavat myös ympäristöön jätteiden hävityksen aikana.
- *Polypropeeni*: Tämän kuidun ympäristövaikutus ei yleisesti eroa polyesteristä, mutta se on pienempi johtuen pienemmän energian tai öljyn tarpeen vuoksi tuotannossa yhdistettynä ympäristöystävällisempään värjäysmenetelmään. Koska palosuoja-aineet tavallisesti sulaan materiaaliin lisättyinä ovat tinaa tai antimonia ja bromiyhdisteitä, palosuojausvaiheelle on annettu arvo 3. Polypropeenin ympäristöindeksin arvoksi saadaan täten 39 %, mikä on parempi kuin polyesterin 46 %.
- *PVC, PVDC*: Sekä polyvinyylikloridin että polyvinylideenikloridin käyttö on vähäistä tekstiileissä, mutta niiden voidaan katsoa edustavan halogeenisubstituution vaikutusta alifaattiseen, muuten hiilirunkoiseen polymeeriin. Siten niiden pitäisi sijoittua modakryylin (EI = 51 %) ja polypropyleenin (EI = 39 %) väliin. Niiden arvioinnissa saatu indeksi 44 % tukee tätä oletusta. PVC:tä voidaan pitää tehokkaasti kierrätettävänä, koska esim. jättepullo voidaan muuntaa kuiduksi. Sen sijaan kuitumuotoista PVC:tä on vaikeampi kierrättää.

7. Palosuojattujen tekstiilien pesu ja huolto

7.1 Yleistä

Palosuojattujen tuotteiden palosuojaominaisuudet on yleensä testattu tiettyjä käyttötarkoituksia varten sovittujen menetelmien mukaisesti. Jos käyttöolot vaativat pesua, saatava vaatimuksissa olla mainittu, että testaukset suoritetaan tiettyjen pesukertojen jälkeen. Tällöin pesuohjelma ja käytettävät pesuaineet on tarkoin määritelty. Käytännössä pesut eivät yleensä vastaa näitä oloja ja kuivaus, ja jälkikäsittelyt poikkeavat usein huomattavasti niistä.

Koska palosuojattujen tuotteiden pesut tehdään kuitenkin käytännössä pesuloissa yleisesti käytetyillä pesuaineilla ja menetelmillä, on vaarana, että palosuojaominaisuudet menetetään, jos ei toimita oikein. Palosuojaominaisuus on yleensä sellainen, että se ei heikkene hitaasti, vaan tuote joko palaa tai ei pala tai ainakin täyttää normit tai ei täytä.

Tästä syystä olisikin erittäin tärkeätä kiinnittää huomiota palosuojattujen tuotteiden oikeaan käyttöön ja pesutapaan. Oleellista on tiedostaa, että kyseessä on palosuojattu tuote ja ottaa huomioon hoito-ohjeessa mainitut seikat. Tärkeätä on myös tietä, mistä materiaalista on kyse ja millä tuotteilla palosuojaus on aikaansaatu, jotta oikeat huoltotoimet voidaan suorittaa.

Samoin on huomioitava se, mitä luvussa 9 on mainittu mahdollisista lisäaineista huollon yhteydessä.

Varminta on pyytää tuotteen valmistajalta tarkat pesuohjeet sekä mahdolliset muut käyttöön ja huoltoon liittyvät tiedot ja noudattaa niitä mahdollisimman tarkasti.

7.2 Huollossa huomioitavia seikkoja

Saippuapohjaisia pesuaineita ei pitäisi käyttää palosuojattujen tekstiilien pesussa, koska varsinkin kovassa vedessä (yli 45 ppm kalsiumkarbonaattia) tekstiilin pintaan saostuu kalkkisaippuaa, joka voi aiheuttaa palosuojaominaisuuden menettämisen tekstiilissä. Natriumsilikaatti- tai natriummetasilikaattipitoisten pesuaineiden käyttöä kovan veden yhteydessä pitäisi myös välttää muodostuvien kalsium- ja magnesiumsilikaattisaostumien takia, jotka myös heikentävät palosuojausta.

Jos kuitenkin kalkkisaippuasaostumia on väärän pesutavan vuoksi päässyt syntymään, tilanne voidaan korjata pesulassa etikkahappokäsittelyllä ja sitä seuraavalla neutraloinnilla, jos tuote kestää happokäsittelyn. Esimerkiksi Pyrovatex-viimeistys ei sitä kestä.

Pinnan nukkaantuminen käytössä tai pesuissa saattaa aiheuttaa palosuojauksen heikentymistä. Myös muista tuotteista lähtenyt kuitu palosuojatun tuotteen pinnassa saattaa heikentää palosuojausta.

Voimakas likaantuminen huonontaa palosuojausta. Pesu pitäisikin tehdä riittävän usein, jotta likakertymiltä vältyttäisiin.

Etenkin selluloosapohjaisilla tuotteilla, jotka on viimeistely joko Probanilla tai Pyrova-texilla, on taipumus kutistua pesuissa ja varsinkin rumpukuivauksessa, joten tämä seikka on otettava huomioon tuotteita valittaessa ja huollettaessa. Kutistuminen jatkuu yleensä progressiivisena lähes koko tuotteen eliniän, joskin se on alussa suurempi.

Eräät kuidut ovat herkkiä korkeille lämpötiloille, joten tämäkin olisi huomioitava huoltotoimissa.

Joihinkin tuotteisiin saattaa tulla pesuissa jännitysten laukeamisen takia odottamattomia rakenteellisia muutoksia, jotka voidaan todeta vain suorittamalla koepesut kyseisille tuotteille.

Koepesut ovat muutenkin erittäin oleellisia tuotteita valittaessa, ja ne pitäisi pyrkiä tekemään siinä pesulassa, jossa tuote myöhemmin huolletaan. Koepesuista olisi syytä tehdä selvät dokumentit, joihin myös kutistumat ja muut oleelliset seikat merkitään. Huomiota on kiinnitettävä myös tuotteiden käyttäytymiseen pesulassa, jotta hankalasti pestävät tuotteet tai vaadittavat erityistoimet voidaan ennakoita.

Seuraavissa kappaleissa kerrotaan yleisimpien palosuojattujen tekstiilien huollon erityispiirteistä.

7.2.1 Proban-palosuojaus

Kaikkien palosuojattujen materiaalien palosuojakäyttämiseen pesuissa voidaan vaikuttaa huomattavasti väärillä huoltomenetelmillä. Sama koskee Proban-käsiteltyjä tuotteita. Oikeat huoltomenetelmät säilyttävät sen sijaan palosuojauksen koko tuotteen käyttöiän, sillä palosuojaus kestää useita kymmeniä tai jopa satoja pesuja.

Aktiivista klooria sisältäviä valkaisuaineita ei saa käyttää, sillä kloori tuhoaa palosuojaviimeistyksen. Paikalliset tahrannoistot klooripitoisilla tuotteilla sallitaan, jos värit kestävät sen. Jos valkaisua joskus on pakko suorittaa, se on turvallisinta tehdä vetyperoksidiliuoksella.

Pesulämpötila voi olla 85 °C tietyin edellytyksin. Jos kuitenkin käytetään perboraattia sisältäviä pesuaineita yli 75 °C:een pesua pitäisi välttää. Varsinkin yhdessä TAED-aktivaattorin kanssa pesulämpötilaan pitää kiinnittää erityistä huomiota. Normaalina kotipesulämpötilaa, 60 °C, ei pitäisi tällöin ylittää. Suositeltavaa on kuitenkin noudattaa materiaalin valmistajan antamia lämpötiloja, koska myös värit saattavat rajoittaa pesulämpötilaa.

Tuote kestää myös normaalin autoklaavissa tapahtuvan steriloinnin.

Puuvillapolyesterisekoitteiset tuotteet, joissa puuvilla on pääkomponenttina, pitäisi huuhdella pesun jälkeen erittäin huolellisesti, jotta saadaan poistettua ylimääräiset pesuainejäämät.

Tärkkiä ja muita jälkikäsitelyaineita ei pitäisi käyttää, sillä ne saattavat hävittää palosuojaominaisuudet.

Jos käytetään kemiallista pesua, on muistettava, että kaikkia tahroja ei välttämättä saada poistettua. Tästä syystä olisikin syytä ajoittain suorittaa vesipesu, jotta saadaan poistettua kemiallisessa pesussa jääneet likasaostumat, jotka heikentävät palosuojausta. Myös puhtaan liuottimen käyttöä viimeisessä huuhtelussa suositellaan.

7.2.2 Pyrovatex-palosuojaus

Eräs huomioitava seikka on Pyrovatex-palosuojakäsiteltyjen tuotteiden varastoinnin kestävyys. Parin vuoden säilytys saattaa tuhota palosuojaominaisuudet varastoinnin aikana tapahtuvan hydrolyysin vuoksi. Tällöin pesun jälkeen suuri osa palosuojaineesta peseytyy pois aiheuttaen ominaisuuksien heikentymisen. Ilmiötä voidaan estää säilyttämällä tuote kuivassa, viileässä paikassa ja suorittamalla vesipesu ajoittain varastoinnin aikana. Normaalissa käytössä ilmiöllä ei liene suurta merkitystä säännöllisten pesujen takia. Jos tuote on kuitenkin ollut pitkään varastoituna, on varmintä pestä se ja tutkia sen jälkeen, riittääkö palosuojaus vielä.

Yleisiä palosuojattujen tuotteiden pesulle päteviä ohjeita on noudatettava. Pesussa ei saa käyttää aktiivista klooria, sillä se tuhoaa viimeistyksen. Erittäin tärkeätä on huolehtia siitä, että tuote jää pesun jälkeen alkaliseksi, sillä se hidastaa palosuojaineen hydrolyysiä. Missään vaiheessa tuotteita ei saa happokäsitellä, sillä hapotus tuhoaa viimeistyksen. Höyrytystä tulisi välttää silityksessä ja prässäyksessä.

Koska Pyrovatexillä käsitellyillä tuotteilla on voimakas taipumus kutistua pesussa ja varsinkin rumpukuivauksessa, on vältettävä ylikuivausta ja käytettävä kuivaa ilmaa ja alhaista kuivauslämpötilaa.

Viimeistys kestää keittopesun, mutta valmistajan ohjeita on tässäkin syytä noudattaa, sillä muut tuotteen ominaisuudet eivät välttämättä kestä niin korkeaa lämpötilaa. Oikein suoritettuna viimeistys kestää useita kymmeniä, jopa satoja pesuja.

Kemiallinen pesu on mahdollinen, ja siinä pätevät samat ohjeet kuin edellä Proban-käsitellyille tuotteille on esitetty.

7.2.3 Trevira CS

Trevira CS on polyesteriä, johon on saatu palosuojaus lisäämällä palosuoja-aine materiaaliin ennen kehruvaihetta. Palosuoja-aine on kuidussa kiinni (osa kuitua) eikä vain kuidun pinnalla kuten edellä käsitellyillä tuotteilla. Tästä johtuu, että palosuojaus on pysyvä, eikä sitä voi kuidusta hävittää. Tietysti on otettava huomioon ne seikat, jotka ulkopuolelta tulleina voivat aiheuttaa tuotteen ominaisuuksien muuttumisen.

Vesipesussa tuotteet on pestävä erillään puuvillatuotteista, koska pintaan tarttuva nukka voi heikentää palosuojaominaisuuksia.

Vesipesussa suositella käytettäväksi ionitonta pesuainetta. Pesulämpötila on normaalisti 30–40 °C tai mahdollisesti 60 °C. Palosuojaus kestää myös keittopesun, mutta muut ominaisuudet saattavat rajoittaa lämpötilaa.

Lämpökemiallinen desinfektio on mahdollinen ja kestää myös desinfiointin aktiivisella kloorilla.

Koska kyseessä on polyesterituote, jäähdytys on tehtävä lämpösokin välttämiseksi erittäin varovasti aina 30 °C:seen, jotta vältetään rypyt. Viimeiseen huuhteluun ei yleensä saa lisätä huuhtelu- tai viimeistysainetta, sillä palosuojaominaisuudet saattavat tällöin heiketä. Jos on pakko lisätä jotakin, pitää selvittää valmistajan kanssa, mikä tuote on mahdollinen ja minkä pitoisena.

Pesun jälkeisen linkouksen pitää olla mahdollisimman kevyt, jotta tuotteeseen jää kosteutta. Tuote kuivataan riippuvana tai mahdollisesti rumpukuivauksessa vain kolmasosalla normaalista täytöstä. Kuivaus suoritetaan poistoilman lämpötilaan 80 °C, ja tuotetta pyöritetään rummussa, kunnes se on täysin jäähtynyt.

Mankelia vaativat tuotteet pannaan mankeliin suoraan kevyen linkouksen jälkeen. Mankelin nopeus on nostettava niin suureksi, että kuivan tuotteen lämpötila ei ylitä 120 °C:ta tai mankelin lämpötilaa on mahdollisesti laskettava. Kokemus on osoittanut, että saattaa olla vaikeata löytää mankeliin oikeita olosuhteita.

Kemiallinen pesu on mahdollinen perkloretyleenillä, mutta ilman pesutehostimia ja muita apuaineita.

7.2.4 Pesua kestävä palosuojaus

Osa palosuojatuista tuotteista on suojattu vesipesua kestävästi. Niitä ei siis tule pestä vedellä, koska palosuoja-aineet liukenevat veteen ja palosuojaus menetetään. On kuitenkin mahdollista lisätä tuotteeseen palosuoja-ainetta viimeisen käsittelyn yhteydessä tai erikseen uutena käsittelynä. Tällöin on kuitenkin varmistettava, että käytetään sopivia aineita ja oikeita menetelmiä ja että oikea palosuojauksen taso saavutetaan. Onkin syytä kääntyä erikoisliikkeen puoleen, jolla on kokemusta ja ammattitaitoa kyseisistä käsittelyistä.

Pesua kestävässä palosuojatuissa tuotteissa on sellaisia, jotka kestävät kemiallisen pesun esimerkiksi vedettömällä perkloretyleenillä ilman, että palosuoja-aine liukenee tuotteesta.

7.2.5 Aramidit

Aramidikuituja ovat mm. Nomex, Kevlar ja Twaron, jotka ovat kemiallisen luonteensa mukaan vaikeasti palavia ilman erityisiä käsittelyjä. Niitä käytetään mm. palomiesten haalareissa ja muissa erityiskohteissa. Kuitu kestää varsin hyvin kemikaaleja ja sen palonkesto on pysyvä, jos pidetään huolta tuotteiden puhtaudesta ja oikeasta huollosta. Varsinkin palopuvuilta vaaditaan veden hylkivyyttä, joka pesuissa heikkenee yleensä. Lisättäessä tuotteeseen tällaisia veden hylkivyyttä lisääviä aineita on huolehdittava siitä, että ne eivät aiheuta palosuojaominaisuuksien menettämistä.

7.2.6 Villa

Villalla sinänsä on kohtalaiset palosuoja-ominaisuudet. Jos se on lisäksi käynyt läpi esimerkiksi Zipro-käsittelyn, se soveltuu varsin hyvin vaativiinkin kohteisiin. Koska villatuotteiden vesipesu on hiukan ongelmallista, niitä käytetäänkin pääasiassa kohteissa, jotka harvemmin tarvitsevat vesipesua. Tällöin noudatetaan normaaleja villan pesuohjeita.

7.2.7 Palosuojattu viskoosi

Palosuojattujen viskoosien tavallisin palosuoja-aine on Sandoflam, joka kehruvaiheessa lisätään kuituun. Palosuojaus on varsin pysyvä ja kestää normaalin viskoosin pesuolot.

Säterin valmistama piihappogeeliä sisältävä Visil saa palosuojaominaisuutensa jo kehrumassaan lisätyn piihapon vaikutuksesta, joten palosuoja ei ole kuidun pinnalla, vaan kauttaaltaan kuidussa. Palosuojaominaisuus on vesipesun kestävä ainakin kotipesua vastaavissa olosuhteissa. Yleensä on noudatettava viskoosin pesuohjeita eikä missään tapauksessa pitäisi ylittää arvoja pH 9,5 ja lämpötila 80 °C.

7.2.8 Modakryyli

Normaalista polyakryylista poikkeava modifioitu rakenne tekee kuidusta vaikeasti syttyvän ja usein itsestään sammuvan. Normaaleja käyttökohteita ovat verhot, huovat, teko-turkikset, täytevanut, jne. Modakryyli kestää hyvin vesipesun, joskin pesuolujen on oltava samaa luokkaa kuin polyakryylillä.

7.2.9 Klorokuidut

Klorokuidut, joita aikaisemmin kutsuttiin PVC-kuiduiksi, sisältävät runsaasti klooria ja ovat sen vuoksi vaikeasti syttyviä ja itsestään sammuvia. Ne kestävätkä hyvin kemikaaleja ja myös pesua. Ongelmia syntyy usein korkean pesulämpötilan ja kuivauksen yhteydessä, sillä kuiduilla on taipumus kutistua runsaasti lämmön vaikutuksesta, mikä huonontaa huollettavuutta.

7.2.10 Polyklaalikuidut

Polyklaalikuidut ovat PVC:n ja polyvinylialkoholin seoksia. Tyypillisin kaupp nimi on Cordelan. Kuitu on vaikeasti syttyvä ja itsestään sammuva sekä kestää hyvin pesua. Kuiduista tehtyjä tuotteita käytetään pääasiassa verhoina ja huonekalukankaina.

8. Palosuoja-aineiden vaikutus muihin ominaisuuksiin

Ne tekstiilituotteet, joiden palosuojaus on jo tehty kuidun kehruuvaiheessa tai joiden molekyyli rakenne tekee ne vaikeasti palaviksi, tuntuvat varsin miellyttäviltä. Esimerkiksi Trevira CS ja modakryyli vastaavat ominaisuuksiltaan pitkälti palosuojaamattomia tuotteita.

Toisin on asia esimerkiksi Pyrovatex-viimeistelyissä tuotteissa. Tuntu on yleensä huomattavasti kovempi kuin viimeistelemättömällä tuotteella. Kova, jäykkä tuntu selittyy sillä, että viimeistelyssä lisätään materiaaliin erittäin paljon palosuoja-aineita. Siliävyyttä ei ole yhtä hyvä kuin esimerkiksi siliäväksi käsitellyllä puuvillatuotteella. Pesukutistumat saattavat olla erittäin suuret. Joissakin tuotteissa formaldehydipitoisuudet ovat korkeahkot. Pesussa saattaa syntyä erilaisia pesuryppyjä ja kulumia.

Oleellista Pyrovatex-palosuojatuille tuotteille on suuri lujuuden alenema. Sekä murto-kuormitus että repäisylujuus saattavat heikentää viimeistelyn takia 30–50 %, mikä on niin suuri, että se rajoittaa tämän viimeistelyksen käyttöä suurta lujuutta vaativissa tuotteissa. Proban-käsiteltyjen tuotteiden lujuuden alenemat ovat oleellisesti pienemmät. Huomatava on myös, että varsinkin ne tuotteet, jotka on mekaanisesti pyritty kutistamaan paremman pesukutistumisen saamiseksi, saattavat esimerkiksi verhoikäytössä venyä muutamia prosentteja. Tällöin liian pitkiksi ommellut tuotteet saattavat ottaa kiinni lattiaan ja aiheuttaa lyhentämistarpeita. Mahdollinen pesukutistuma pitäisi huomioida mitoitusessa.

9. Muiden viimeistysaineiden vaikutus palosuojaukseen

Palosuojattuun tuotteeseen ei pitäisi yleensä lisätä muita kemikaaleja valmistajan tuotteeseen lisäämien aineiden lisäksi. Huollon yhteydessä tuote pitäisi myös huuhdella niin hyvin, että varsinkin pinta-aktiiviset aineet poistuisivat täysin, koska niiden kertyminen tuotteisiin saattaa heikentää palosuojausta. Sama koskee jo aiemmin mainittua saippuan käyttöä. Pitäisi välttää myös huuhtelu- ja muiden viimeistysaineiden käyttämistä.

Joskus saattaa olla tarvetta lisätä tuotteisiin esimerkiksi veden hylkivyyttä parantavia ominaisuuksia. Periaatteessa niidenkin lisäämistä pitäisi välttää. Käytännössä niitä joudutaan kuitenkin joskus käyttämään. Tällöin on ehdottomasti varmistauduttava siitä, että lisäaine ei huononna palosuojaominaisuuksia. Tällaisessa tapauksessa olisi syytä neuvotella kuidun tai viimeistysaineen valmistajan sekä lisättäväksi ajatellun tuotteen valmistajan kanssa.

10. Savun ja myrkyllisten kaasujen tuotto

10.1 Palamistuotteiden synty palamisen eri vaiheissa

Tekstiilit ovat pääosaltaan muodostuneet polymeereistä. Polymeerit ovat muodostuneet molekyyleistä, monomeereistä. Palamissyklin ensimmäisessä vaiheessa polymeeri pilkkoutuu (*pyrolysoituu*²) kuumuuden vaikutuksesta ja muodostuu lämpöhajoamistuotteita. Polymeerien lämpöhajoaminen etenee useimmiten radikaalireaktioissa, jotka saavat alkunsa termisesti heikoimpien sidosten katkeamisella [17]. Lämpöhajoamistuotteissa on palamiskelpoisia yhdisteitä, jotka voivat muodostaa ilmassa olevan hapen kanssa palamiskykyisen seoksen ja syttyä palamaan liekillä. Liekissä syntyvä lämpö siirtyy säteilemällä ja johtumalla ympäristöön ja tekstiiliin, joka jatkaa palamista, jos lämpöä syntyy tarpeeksi (ks. kappale 3.1).

Kyteminen ja *hehkuminen* tapahtuvat polymeerin pinnalla tai pinnan alla. *Kyteminen* määritellään seuraavasti: ilman näkyvää liekkiä tapahtuva materiaalin hidas palaminen, jossa kehittyy savua ja esiintyy lämpötilan nousua [74]. Kytemisessä voi syntyä ilmaan leviävä kiinteiden partikkeleiden, nestepisaroiden ja kaasujen seos. Kytemistä voi seurata nopea palon leviäminen, jos syntyneet hajoamistuotteet syttyvät. Huonekalujen ja pehmusteiden siirtyminen kytemisestä liekehtimiseen tapahtuu hitaasti. Kokemusten perusteella siirtymäaika on yli puoli tuntia; polyuretaanipatjassa ja puuvillaisissa sänkyvaatteissa on havaittu siirtyminen kytevästä palosta liekehtivään yli 2 tunnin kuluttua. [80]. *Hehkuvaa* palamista esiintyy sen sijaan tyypillisesti hiiltyvässä materiaalissa liekehtivän palamisen jälkeen. Määritelmän mukaan hehkuminen on kiinteässä faasissa tapahtuvaa materiaalin liekitöntä palamista, jossa palovyöhykkeeltä säteilee valoa [69].

10.2 Palamistuotteet

Savu on epätäydellisen palamisen tulosta. Standardi ISO 13943 [31] määrittelee savun ulos virtaavien palamistuotteiden näkyväksi osaksi. Sen sijaan ASTM:n määritelmän mukaan savuun kuuluu näkyvän osan lisäksi myös palamiskaasut.

² Materiaalin kemiallista hajoamista lämmön vaikutuksesta ilman hapettumista kutsutaan pyrolyysiksi.

10.2.1 Tiivistyneet palamistuotteet

Palamisprosessit tuottavat ilmakehään suuria määriä hiukkasia. Palamisessa muodostuneet hiukkaset sijoittuvat karkeasti kahteen luokkaan. Ensimmäiseen luokkaan, *tuhka*, sisältyvät palamattomista komponenteista peräisin olevat hiukkaset. Toiseen luokkaan, *hiiltymä* ja *noki*, kuuluvat pyrolyysissä muodostuneet hiilipitoiset hiukkaset.

Tuhka muodostuu palamattomasta materiaalista.

Hiiltymä on hiilipitoinen jäännös, joka jää jäljelle kun hiili palaa hitaasti pintareaktioina.

Noki koostuu hiilipitoisista hiukkasista, jotka ovat muodostuneet, kun kaasumaisten, nestemäisten tai kiinteiden polttoaineiden höyrystyneet komponentit ovat palaneet. *Nokea* muodostuu liekissä tapahtumaketjun tuloksena. Pyrolyysissä ja sitä seuraavassa liekehtivässä palossa materiaali hajoaa pieniksi molekyyleiksi, joiden välillä tapahtuu kemiallisia reaktioita ja muodostuu isompia molekyylejä, hyvin pieniä partikkeleita. Partikkelit jatkavat kasvamistaan pinnallaan tapahtuvien kemiallisten reaktioiden kautta saavuttaen halkaisijamitan 0,01–0,5 mm. Tämän kokoisina ne alkavat koaguloitua muodostaen ketjumaisia kasaumia. Nokipartikkelit voivat palaa hapessa korkeissa lämpötiloissa. Nokihiukkaset eivät ole puhdasta hiiltä [17 ja 19].

Noen muodostustaipumus riippuu lämpötilasta ja palavasta materiaalista. Lämpötilan noustessa hapettumisnopeus kasvaa nopeammin kuin pyrolyysinopeus ja noen muodostus vähenee [17 ja 19].

Kun yksittäisen nokihiukkasen alkupiste on muodostunut, se kasvaa nopeasti pintareaktioiden kautta. Lopulta valtaosa nokihiukkasesta on alkuperäisen keskipisteen pinnalle kondensoitunutta tai pinnalla reagoitunutta materiaalia [17 ja 19].

10.2.2 Kaasumaiset tuotteet

Pääosa kuolemista ja vakavista vahingoittumisista tulipaloissa johtuu savusta ja myrkyllisistä kaasuista [18]. Merkittävimmät myrkylliset kaasut jakaantuvat yleensä kahteen ryhmään: tukahduttaviin ja ärsyttäviin kaasuihin.

Merkittävimpiä tukahduttavia kaasuja ovat hiilimonoksidi (CO) ja syaanivety (HCN). Kumpaan on mitattu tulipalon uhrien verestä sekä kuolleilta että hengissä säilyneiltä. Kaksi tunnettua ärsyttävää yhdistettä ovat kloorivety (HCl) ja akroleiini ("sipulikaasu"). Ne aiheuttavat pakenemiskyvyttömyyttä pääasiassa ärsyttämällä ja vahingoittamalla silmiä ja ylempiä hengitysteitä.

Tukahduttavista kaasuista hiilimonoksidi (häkä) on tärkein. Kaikki orgaaniset yhdisteet, mm. tekstiilit, muodostavat hiilimonoksidia epätäydellisessä palamisessa. Syaaniivetyä ja typen oksideja muodostuu yleensä tyypeä sisältävien polymeerien, kuten sisustuksesakkin käytettävien polyuretaanien, akryylitekstiilin (polyakrylonitriilin), modakryylin, villan ja vähäisemmin polyamidin palaessa. Kloorivetyä muodostuu useimmiten PVC:stä, jota käytetään mm. lattianpäällysteenä, kaapeleissa ja putkissa. Sitä voi syntyä myös modakryylistä. Puhtaan PVC:n lämpöhajoaminen tuottaa noin 50 % kloorivetyä PVC:n massasta suhteellisen alhaisissa lämpötiloissa [66].

Palavat hajoamistuotteet reagoivat ilman hapen kanssa muodostaen oksideja. Palavista orgaanisista yhdisteistä muodostuu epäorgaanisia hapettumistuotteita. Taulukossa 7 on esitetty syntyviä hapettumistuotteita ja tärkeitä sivutuotteita, kun polymeerin hiiliketjuun (-C-C-C-) on kiinnittynyt muitakin atomeja kuin vetyä (H). Useimmiten kaasu- tai aerosolimuotoiset palamistuotteet (esim. fosforipentoksidi, joka liuetessaan vesipisaroihin muodostaa fosforihappoa) siirtyvät savukaasupilven mukana.

Taulukko 7. Heteroatomisten hiilivetyjen palaessa syntyviä epäorgaanisia hapettumistuotteita ja sivutuotteita [2].

Alkuaine hiilivetyketjussa	Hapettumistuote	Epätäydellisessä palamisessa syntyviä sivutuotteita ja reaktiotuotteita
C	CO ₂	CO
H	H ₂ O	
O	H ₂ O, CO ₂	
N	N ₂	NO _x , NH ₃ , NH ₂ R
S	SO ₂	SO ₃ (H ₂ SO ₄), H ₂ S, HSR
P	P ₄ O ₁₀ (H ₃ PO ₄)	PH ₃
Cl		HCl, Cl ₂
Br		HBr
F		HF
C, N		HCN
C, O, Cl		COCl ₂

Merkkien selitykset:

C hiili, H vety, O happi, N typi, S rikki, P fosfori, Cl kloori, Br bromi, F fluori

CO₂ hiilidioksidi, CO hiilimonoksidi (häkä)

NO_x typen oksidit, NH₃ ammoniakki, NH₂R amiinit

SO₂ rikkidioksidi, SO₃ rikkitrioksidi, H₂SO₄ rikkihappo, H₂S rikkivety, HSR merkaptaanit

P₄O₁₀ fosforipentoksidi, H₃PO₄ fosforihappo, PH₃ fosfiini

HCl kloorivety (suolahappo vesiliuoksessa), Cl₂ kloori

HBr bromivety, HF fluorivety, HCN syaanivety (sinihappo)

COCl₂ fosgeeni

Taulukoiden 8 ja 9 perusteella voidaan päätellä, että lähes kaikissa paloissa noen muodostuksen yhteydessä syntyy myös PAH -yhdisteitä (polyaromaattisia hiilivetyjä), ja että halogeenipitoisten yhdisteiden palo voi johtaa kloorattujen aromaattisten yhdisteiden muodostumiseen ja epäsuotuisissa palo-olosuhteissa PCDD/PCDF -yhdisteiden muodostumiseen. Tyypeä sisältävistä yhdisteistä voi muodostua syaanivetyä (HCN). Rikkiä ja fosforia sisältävistä yhdisteistä muodostuvat savukaasut rikkidioksidi (SO₂) ja fosforipentoksidi (P₂O₅) ovat ärsyttäviä kaasuja.

Taulukko 8. Polymeereistä mahdollisesti syntyviä palamiskaasuja ja kaasumaisia palamistuotteita [2].

Palava materiaali ja siihen sisältyvä heteroatomi tai yhdiste	Alkupalo	Täysi palo
CH:a sisältävä polymeeri (esim. polyetyleni, polypropyleeni)*	CO ₂ , CO, H ₂ O, HV	CO ₂ , CO, H ₂ O, NO, aromaattit, PAH, tyydyttyneet ja tyydyttymättömät HV, alkoholit, aldehydit, karboksyylihapot
aromaattia sisältävä polymeeri (esim. polystyreeni)	CO ₂ , CO, H ₂ O, aromaattit, PAH	CO ₂ , CO, H ₂ O, aromaattit, PAH, alkeenit, aldehydit
tyypeä (N) sisältävä polymeeri (esim. polyamidi, polyakryliini, modakryyli, polyuretaani, villa)	CO ₂ , CO, H ₂ O, NO _x , amiinit	CO ₂ , CO, H ₂ O, HCN, NO ammoniakki, aromaattit, PAH, amiinit, HV, aldehydit, karboksyylihapot, isosyanaatit
halogeenia (Cl, Br tai F) sisältävä polymeeri (esim. polyvinyylikloridi, modakryyli)	CO ₂ , CO, H ₂ O, HCl, KHV	CO ₂ , CO, H ₂ O, HCl, COCl ₂ , KHV, Klooriaromaattit, PCDD/DF, aromaattit, tyydyttyneet ja tyydyttymättömät HV PBrDD/DF

Merkkien selitykset:

H₂O: vesi

HV: hiilivedyt

KHV: kloorihiilivedyt

PAH: polyaromaattiset hiilivedyt

aromaattit: aromaattiset hiilivedyt

PCDD/DF: polyklooratut dibentso-para-dioksiinit ja dibentsofuraanit

PBrDD/PBrDF: polybromatut dibentso-para-dioksiinit ja dibentsofuraanit

* suluissa olevat esimerkkimateriaalit kirjoittajan lisäämiä

Taulukko 9. Luonnontuotteista, rikki- ja fosforiyhdisteistä syntyviä palamiskaasuja ja kaasumaisia palamistuotteita [2].

Palava materiaali	Alkupalo	Täysi palo
Selluloosa (puuvilla, puu, paperi)*	CO ₂ , CO, H ₂ O	CO ₂ , CO, H ₂ O aldehydit, aromaattit, PAH, alkoholit, etikkahappo, HV
Valkuaisainetta sis. Tuotteet (villa, karvat, höyhenet)	CO ₂ , CO, H ₂ O, HCN SO ₂	CO ₂ , CO, H ₂ O, HCN, H ₂ S, SO ₂ , amiinit aromaattit, PAH, HV
Orgaaniset rikkiyhdisteet (kumi)	CO ₂ , CO, SO ₂ mer- kaptaanit	CO ₂ , CO, SO ₂ , H ₂ S aromaattit, PAH, HV
Orgaaniset fosforiyhdisteet (FR puuvilla)	CO ₂ , CO, H ₂ O P ₄ O ₁₀	CO ₂ , CO, H ₂ O P ₄ O ₁₀ aromaattit, PAH

Merkkien selitykset:

HV: hiilivedyt
 KHV: kloorihiilivedyt
 PAH: polyaromaattiset hiilivedyt
 aromaattit: aromaattiset hiilivedyt
 SO₂: rikkidioksidi
 H₂S: rikkivety
 P₄O₁₀: fosforipentoksidi

*: suluissa olevat esimerkkimateriaalit pääosin kirjoittajan lisäämiä

10.3 Palotestimenetelmistä

Savun mittausmenetelmiä on kaksi päätyyppiä: dynaamiset ja staattiset tai kumulatiiviset menetelmät. Dynaamiset mittaukset tehdään läpivirtaussysteemissä. Esimerkiksi ASTM E 1354 [8], ISO 5660 [35] ja ISO 9705 [36] ovat dynaamisia menetelmiä. Staattisissa ja kumulatiivisissa menetelmissä savu ja kaasut kerääntyvät suljettuun tilaan, esim. ASTM E 662 [9], ISO 5659-2 [34] ja IMO FTPC Annex 1 Part 2 [20].

Kaasumaisten palamistuotteiden kemiallisen analyysin tai myrkyllisyyden tai molempien määrittämiseen on käytetty seuraavia laboratoriomittakaavaisia koemenetelmiä: NES 713 (sotalaivojen ja armeijan materiaaleille), Purser-putkiuuni (IEC testi sähkö- ja kaapelimateriaaleille), ranskalainen putkiuuni (NFX 70 100, NFF 716-101 Rautatiemääräykset, NFC 20 454 Sähkötekniinen alue), prEN2824 (lentokoneiden sisusteille), IMO

FTPC Annex 1 Part 2 (laivojen sisäpintojen materiaalit), ISO 5660 (kartiokalorimetri), NBS-kuppiuuni, UPITT-uuni (ns. Pittsburg -uuni), DIN 53436 -putkiuuni, US-säteilijä sekä japanilaiset kartiouunit BRI, RIPT ja JMC.

Kansainvälisen merenkulkujärjestön testi IMO FTPC, Annex 1, Part 2 tehdään standardin ISO 5659:1994 Part 2:n mukaan lisättynä savun myrkyllisyyden mittauksella. Savun myrkyllisyys arvioidaan mittaamalla muutamien kaasujen (CO, HCl, HF, HBr, HCN, NO_x ja SO_x) pitoisuutta savussa. Kyseiseen IMO FTPC -testimenetelmään liittyvät myös vaatimukset laivan sisustukseen kuuluvien eri tuoteryhmien savun muodostukselle ja mitattujen myrkyllisen kaasujen pitoisuudelle.

Useimmat kaasuanalyysimenetelmät antavat ainoastaan kaasujen kokonaismäärän tai mittaavat yksittäisten kaasujen pitoisuuksia. FTIR (Fourier Transform InfraRed) -tekniikalla voidaan mitata käytännöllisesti katsoen jatkuvasti (tihein väliajoin) ja yhtä aikaa useita kaasumaisia yhdisteitä [46].

10.4 Optisesti tiheän ja ärsyttävän savun vaikutuksen arviointi

Optisesti tiheä savu vaikuttaa asukkaiden ulospääsytien löytämiskykyyn ja liikkumisnopeuteen. Savumuuri voidaan kokea läpipääsemättömäksi. Nämä vaikutukset riippuvat savun pitoisuudesta (optisesta tiheydestä) sekä silmiin ja hengitysalueeseen kohdistuvasta ärsytyksestä. Savu vähentää näkyvyyttä huonontaen pakenemiskykyä. Savun optinen ominaistiheys mittaa savun aiheuttamaa valon intensiteetin vaimenemista:

$$OD = 1/L \cdot \log_{10}(I_0/I) \quad (1)$$

OD on savun optinen ominaistiheys (m⁻¹)

L on valonsäteen matka savun läpi (m)

I₀ valon säteen intensiteetti savuttomassa tilassa

I on valonsäteen intensiteetti savun läpi.

Optinen tiheys ilmaistaan 10-järjestelmän logaritmin terminä. Toinen tapa ilmaista himmenemistä on vaimennuskerroin (k), joka on sama suhde ilmaistuna luonnollisen logaritmin termein

$$k = OD * 2,303 \quad (2)$$

Standardilaboratoriotesteissä ISO 5659 [34], IMO FTPC Annex 1 Part 2 [20] ja ASTM E-662 [9] määritetään optinen ominaistiheys D_s, joka määritellään seuraavasti [23]:

$$D_s = \frac{OD \cdot V}{A} , \quad (3)$$

missä V on kammion tilavuus ja A on koekappaleen lämpösäteilylle avoin alue.

Kokeellisten tutkimusten tulokset osoittavat, että katsottaessa kohdetta esim. ovea diffuusissa valossa näkyvyys metreinä on suunnilleen optisen tiheyden käänteisarvo. Siten optisen tiheyden arvoa 0,5 ($k = 1,15$) vastaa noin 2 m:n näkyvyys [69].

Kokeissa on havaittu etenemisnopeuden laskevan sekä savun aiheuttaman näkyvyyden pienenemisen että ärsyttävän savun aiheuttamien silmä- ja hengitystieoireiden vuoksi. Yleensä ihmiset kääntyivät kokonaan takaisin näkyvyyden ollessa alentunut noin 3 metriin, kotioiloissa noin 2 metriin [69].

10.5 Palamiskaasujen ja kaasumaisten palamistuotteiden myrkyllisyyden arviointimenetelmistä

10.5.1 Malleja

Savun ja palokaasujen myrkyllisyyden arvioinnissa käytetään kahta menettelytapaa:

- biologiset määritysmenetelmät täydennettynä tiettyjen palokaasujen kemiallisilla analyysillä
- ennustavat mallit, jotka käyttävät vain palokaasukoostumuksen analyysituloksia. Nämä mallit on tehty saatavissa olevien myrkyllisyystietojen perusteella.

Tuloksena esitetään usein lamaantumisindeksi IC_{50} , tilastollisesti laskettu pitoisuus, jolloin 50 %:a populaatiosta todennäköisesti lamaantuu ja on tällöin pakenemiskyvytön. Usein esitetään myös vastaavaa kuolleisuusindeksiä LC_{50} . Vaikutus riippuu myös altistusajasta. Savukaasun pitoisuuden (C) ja altistusajan (t) suhde ilmaistaan

$$Ct = k , \quad (4)$$

missä k on tutkittavalle altistusaineelle (-aineille) ominainen vakio. Tämä suhde, *Haberin sääntö* on yleistys, joka pitää paikkansa vain rajoitetuissa olosuhteissa. Myrkyllisyysindeksi voidaan ilmaista myös ECT_{50} -arvona, joka on altistusajan ja pitoisuuden tulo, joka tilastollisesti laskettuna aiheuttaa vasteen (lamaantumisen tai kuoleman 50 %:lle). Tämä arvo on hyödyllinen verrattaessa eri pituisilla altistusajoilla raportoituja tuloksia [38].

Aistien ja ylempien hengitysteiden ärsytyksen arviointi perustuu hengitysilmanvaihdon laskuun. Määritetään pitoisuus-vastesuhde, josta lasketaan RD₅₀ arvo. RD₅₀ on pitoisuus (tai materiaalin määrä), joka aiheuttaa 50 %:n laskun hengitysilmanvaihdossa.

Vaikka useita suureita on olemassa, savukaasujen myrkyllisyyden arviointia koskevat standardit ja määräykset perustuvat LC₅₀ -arvoille. Nykyisin ollaan sitä mieltä, että sopivampi perusta olisi lamaantumista kuvaavat IC₅₀ -arvot. Arviointeihin voidaan käyttää myös LC₅₀ :n kolmasosaa, jossa toksikologien mukaan ilmenee reaktioiden häiriöitä [52] tai kymmenesosaa, joka katsotaan olevan turvallinen.

Standardin ISO 13344:1996(E) [30] mukaan voidaan toimia kahdessa vaiheessa: Ensin materiaalista palokokeessa muodostuneista savukaasuista analysoidaan merkittävimmiksi ja yleisimmiksi katsotut yhdisteet (hiilimonoksidi CO, hiilidioksidi CO₂, syaanivety HCN, kloorivety HCl, jne.) ja lasketaan ennustava LC₅₀ -arvo. Laskenta perustuu puhtaiden kaasujen tunnetuille LC₅₀ -arvoille. Jos katsotaan tarpeelliseksi, voidaan tämän jälkeen suuntaa antava LC₅₀ varmistaa myrkyllisyyskokeella.

Seuraavien standardissa ISO 13344:1996 (E) esitettyjen myrkyllisten kaasujen mallien avulla voidaan materiaalin palokokeen yhteydessä tehtyjen kemiallisten analyysitulosten perusteella arvioida palamiskaasujen ja kaasumaisten palamistuotteiden myrkyllisyyttä.

Tukahduttavien kaasujen vaikutusten mallinnuksessa yleisperiaate on:

$$FED = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(C \cdot t)_i} dt \quad , \quad (5)$$

missä

C_i on myrkyllisen komponentin i pitoisuus, ilmaistuna tilavuuden miljoonasosina (ppm)

(C·t)_i kaasun i pitoisuus-aika tulo, joka on saatu integroimalla kaasun i pitoisuusajaka käyrä (ppm·min).

Useissa koemenetelmissä 30 minuutin aika-arvot supistuvat numeerisesti, FED on yksinkertaisesti kunkin kaasun pitoisuuden keskiarvon ja sen samanpituiselle altistusajalle määritetyn LC₅₀ -arvon suhde. FED:n arvolla 1, kaasumaisten myrkyllisten yhdisteiden seoksen odotetaan olevan tappava 50 %:lle populaatiosta.

Kun altistusajat ovat 30 minuutin pituisia, voidaan FED laskea ns. NIST:n kokeellisella kaavalla:

$$FED = \frac{m[CO]}{[CO_2] - b} + \frac{21 - [O_2]}{(21 - 5,4)\%} + \frac{[HCN]}{150} + \frac{[HCl]}{3700} + \frac{[HBr]}{3000} , \quad (6)$$

missä

m ja b ovat CO- ja CO₂-käyrien kaltevuus ja leikkauspiste.

Kun CO₂ < 5 %: m = -18 ja b = 122 000

Kun CO₂ > 5 %: m = 23 ja b = -38 600

[CO] hiilimonoksidin pitoisuus [ppm]

[CO₂] hiilidioksidin pitoisuus [ppm]

[O₂] happipitoisuus [%]

[HCl] kloorivedyn pitoisuus [ppm]

[HBr] bromivedyn pitoisuus [ppm]

Edellä esitettyjen yhtälöiden (5) ja (6) täydellinen ratkaisu edellyttää kaikkien tärkeiden ärsyttävien aineiden kuten epäorgaanisten happamien kaasujen (esim. kloorivedyn HCl, bromivedyn HBr, rikkidioksidin SO₂, typen oksidien NO_x) ja orgaanisten ärsyttävien kaasumaisten yhdisteiden (esim. aldehydien) mukaan ottamista. Orgaanisten ärsyttävien yhdisteiden odotetaan olevan tärkeimmässä roolissa liekittömässä hapettumisessa ja huonosti ilmastoidussa (vähän happea) liekehtivässä palamisessa. Näissä olosuhteissa olisi aiheellista varmistaa ennustettu LC₅₀-arvo myrkyllisyyskokeella.

Testattavan materiaalin ennustava 30-min LC₅₀ lasketaan yhtälön (7) mukaan:

$$LC_{50} = \frac{m}{FED \cdot V} , \quad (7)$$

missä

m on koekappaleen massa tai massan muutos [g]

V on kokonaisilmamäärä [m³]

10.5.2 Palamiskaasujen myrkyllisyyteen liittyviä käsitteitä

Tukahduttava aine: Lamaantumista aiheuttava myrkyllinen aine, joka voi vaikuttaa keskushermostoon ja johtaa tajuttomuuteen sekä ääritapauksissa kuolemaan.

Pitoisuus-aikakäyrä: Ajan funktiona esitetty myrkyllisen kaasun tai kaasumaisen palamistuotteen pitoisuus.

Tulo Ct: Myrkyllisen kaasun tai kaasumaisen palamistuotteen pitoisuuden ja ajan tulo, joka on saatu integroimalla pitoisuus-aikakäyrä.

Altistuksen annos: Myrkyllisen kaasun tai kaasumaisen palamistuotteen *Ct* -tulo ts. pitoisuus-aikakäyrän alle jäävä pinta-ala.

Kaasumainen palamistuote: Kaikki palamisessa tai pyrolyysin kautta syntyvät kaasumaiset aineet, hiukkaset tai aerosolit.

Vaikuttava pitoisuussuhde (FEC): Ärsyttävän kaasun pitoisuuden ja altistetulle kohteelle tietyn vasteen aiheuttavan kaasun pitoisuuden osamäärä. *FEC* -arvo voi tarkoittaa myös kaikkien palamistuotteissa olevien ärsyttävien kaasujen yhteenlaskettua *FEC* -arvoa.

Vaikuttava annossuhde (FED): Tukahduttavan kaasun *Ct*-tulo ja altistetulle kohteelle tietyn vasteen aiheuttavan kaasun *Ct*-arvon osamäärä. *FED* -arvo voi tarkoittaa myös kaikkien palamistuotteissa olevien tukahduttavien kaasujen yhteenlaskettua *FED* -arvoa.

Lamaantuminen: Fyysinen kyvyttömyys suoriutua tietyistä tehtävistä, esim. poistumisesta turvallisesti palosta.

Aistien ja ylempien hengitysteiden ärsytys: Silmien, nenän, suun, kurkun ja hengitystiehyeiden hermoreseptoreiden stimulaatio, joka aiheuttaa eriasteisia vaivoja ja kipua sekä psykologisten puolustusreaktioiden käynnistymistä.

LC₅₀: Tappavan myrkyllisyyspotentiaalimitta. *LC₅₀* -arvo on myrkyllisen kaasun tai kaasumaisten palamistuotteiden pitoisuus, joka on tilastollisesti laskettu pitoisuusvaste-tiedoista siten, että se aiheuttaa 50 % kuolleisuuden tietyn altistuksen ja sitä seuraavan jakson aikana. *LC₅₀* arvo voi tarkoittaa myös tilavuusyksikköä kohti sitä materiaalimäärää, josta syntyvät palamiskaasut tai kaasumaiset palamistuotteet aiheuttavat saman vaikutuksen.

LCt₅₀: Tappavan myrkyllisyyspotentiaalimitta. *LCt₅₀* -arvo on myrkyllisen pitoisuuden ja kaasumaisen palamistuotteen pitoisuuden ja altistusajan tulo, joka aiheuttaa 50 % kuolleisuuden.

Myrkyllisyysvaara: Myrkyllisille palamistuotteille altistumisen aiheuttama vaara.

10.6 Tekstiilien savunmuodostuksesta

Savuntuotto riippuu paitsi palavan materiaalin laadusta myös palo-olosuhteista. Siksi eri palokoemenetelmät voivat antaa erilaisia savunmuototuloksia ja materiaalit joutua erilaiseen paremmuusjärjestykseen. Esim. selluloosapohjaiset materiaalit tuottavat suhteellisesti paljon vähemmän savua hyvin ilmastoiduissa palo-olosuhteissa läpivirtaussysteemissä (esim. kartiokalorimetri ISO 5660) kuin stationäärisissä suljettuun kammioon keräävissä olosuhteissa (esim. IMO FTPC Annex 1 Part 2, NBS savukammio ASTM E-662). Palosuoja-aineiden vaikutus savunmuottoon vaihtelee palosuoja-aineen ja palo-olosuhteen mukaan. Vaikka palosuojaus vähentäisi savunmuodostusta lievässä lämpörasituksessa, jossa palosuojaus toimii syttymistä ja palonleviämistä ehkäisevästi, saattaa se ankarassa lämpörasituksessa lisätä savunmuodostusta verrattuna palosuojaamattomaan tuotteeseen palonehkäisyvaikutuksen pettäessä.

Taulukko 10 esittää polyamidinukkamatton savunmuodostusta NBS-savukaapissa. Tulokset osoittavat, että palosuojakäsittelyt vaikuttavat savunmuodostukseen. Halogeenia sisältävät palosuoja-aineet lisäävät savunmuodostumisen määrää ja nopeutta. Bromia sisältävä palosuoja-aine aiheutti suuremman savunmuotannon lisäyksen kuin klooria sisältävä. Sen sijaan alumiinihydroksidilla on suotuisa vaikutus mattojen savunmuotantoon sekä yksin että yhdessä muiden tehokkaampien palosuoja-aineiden kanssa käytettynä. Sekä palosuojaamattomilla että palosuojuilla silmukanukkaisilla matoilla savunmuotto oli yleensä hieman runsaampaa kuin leikattunukkaisilla.

Taulukko 10. Eri tavalla palosuojattujen polyamidimattojen savun tiheys, optisen ominaistiheyden maksimiarvo ($D_{s,max}$) NBS savukaapissa [67].

Palosuoja-aine	Kytevä palo	Liekehtivä palo
	Optinen ominaistiheyden maksimi $D_{s,max}$	Optinen ominaistiheyden maksimi $D_{s,max}$
Palosuojaamaton	172	155
Al(OH) ₃	112	125
Klooria (Cl) sisältävä ps	199	189
Cl/Sb ₂ O ₃ 2:1	242	176
Bromia (Br) sisältävä ps	466	338
Klooria sisältävä ps + Al(OH) ₃	192	159
Bromia sisältävä ps + Al(OH) ₃	387	299

Merkkien selitykset:

Al(OH)₃ = alumiinihydroksidi,

ps = palosuoja-aine

Cl/Sb₂O₃ 2:1 = klooria ja antimonioksidia sisältävä ps, aineiden suhde 2:1

Täyden mittakaavan ISO-huonepalokokeessa [69] oli tutkittavana pehmustettuja tuoleja, joilla oli sama pehmuste, mutta jotka oli päällystetty eri kankailla (puuvillalla, palosuo-
jatulla puuvillalla, polyesterillä, palosuojatulla polyesterillä, taustapinnoitetulla akryyli-
nukkakankaalla, villalla ja nahalla). Tuoleissa käytetty vaahto oli HR (high resilience) -
polyuretaanivaahtoa, jolla on paremmat palo-ominaisuudet kuin standardivaahdolla.
Tulokset osoittivat, että palokokeissa eri kankailla oli merkittävämpiä vaikutuksia läm-
möntuottoon kuin savuntuottoon. Kuitenkin eräitä vaikutuksia myös savuntuottoon oli
havaittavissa. Palosuojatulla puuvillakankaalla päällystetyn tuolin savuntuotto on suu-
rempi kuin palosuojaamattomalla puuvillalla päällystetyn tuolin. Polyesterikankaan
käytetyllä palosuojauksella ei ollut nähtävissä samaa vaikutusta. Villapäällysteinen tuoli
tuotti vähiten savua

ISO 9705 [36]-palokokeen noin 9 m²:n huoneessa on avonainen oviaukko, josta tapah-
tuu ilmanvaihtoa kuumien kaasujen virratessa ulos yläosasta ja josta ilman sisäänvirtaus
tapahtuu alaosasta savun sekä palokaasujen kerääntyessä huoneen yläosaan. Kokeet
osoittivat, että hyvin pian sen jälkeen, kun huonekalu on tulessa, savu pimentää täysin
huoneen yläosan, näkyvyyden ollessa vähemmän kuin 0,1 m ja 1,8 m korkeudella sijait-
sevassa mittauspisteessä.

Hyvin suuressa suljetussa huoneessa savukaasut saattavat olla kerrostumatta ja sekoit-
tavat melkein täydellisesti. Huonekalukalorimetritulosten perusteella pehmustetuille
tuoleille ja patjalle on laskettu savun aiheuttaman näkyvyyden huononemisen, tukahdut-
tavien ja ärsyttävien kaasujen sietoajat silloin, kun tapahtuu täydellinen sekoittuminen
1000 m³:n huoneessa. Tulosten mukaan sietokynnys ylittyy sohvuolin, työtuolin tai
patjan palaessa suuressa huoneessa savun ja ärsyttävien kaasujen vaikutuksesta 2,5–8
minuutissa. Tämä tapahtuu useimmissa tapauksissa nopeasti lämmöntuottohuippukoh-
dan jälkeen. Tukahduttavien kaasujen sietokynnys ylittyi myöhemmin [69].

10.7 Palokaasujen pääasialliset myrkylliset komponentit

10.7.1 Tukahduttavat aineet

Tukahduttavat aineet ovat akuutteja myrkkijä, jotka voivat aiheuttaa lamaantumisen.
Ne vähentävät hapen saatavuutta soluissa (hypoksia). Hermojärjestelmä on hyvin herk-
kä hypoksialle, joka laajana johtaa keskushermostojärjestelmän lamaantumiseen, tajun-
nan menetykseen ja pahimmassa tapauksessa lopulta kuolemaan.

a. Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidi (CO) on tärkein myrkyllinen aine ja suurin uhkatekijä tulipaloissa. CO
on vähemmän myrkyllinen kuin eräät muut kaasut, mutta sitä kehittyy aina runsaasti. Se

yhtyy tiukasti hemoglobiiniin veren punasoluissa muodostaen karboksihemoglobiinia (COHb). CO:n kiinnittyminen hemoglobiiniin on noin 240 kertaa voimakkaampi kuin hapen kiinnittyminen, joten CO syrjäyttää tehokkaasti hapen kuljetuksen ja hyväksikäytön verenkierrossa. Jo hyvin pieni osa COHb:ta hemoglobiinissä vaikuttaa veren hapenkuljetuskykyyn ja -saatavuuteen kudoksissa.

b. Syaanivety

Syaanivedyn (HCN) tappava annos on noin 20 kertaa pienempi kuin CO:n. Syaanidi häiritsee entsyymitoimintaa, joka johtaa nopeasti solutoimintojen vähenemiseen. Keskushermoston häiriintyneen toiminnan aiheuttama hengityksen pysähtyminen on yleensä syaanidin aiheuttaman kuoleman syy.

c. Alentuneet happipitoisuudet

Palaminen kuluttaa happea ja sen puute aiheuttaa tukehtumisvaaran. 10–13 %:n tasolle alentunut happipitoisuus aiheuttaa lamaantumisen ja alle 5 %:n taso kuoleman viidessä minuutissa [37].

d. Hiilidioksidi

CO₂ :n kohonneet pitoisuudet lisäävät hengityksen nopeutta ja syvyyttä lisäten tulipaloissa keuhkojen kautta hengitettyjen myrkyllisten aineiden määrää.

10.7.2 Ärsyttävät aineet

Silmät ja hengityselimet ovat alttiina ärsyttävälle aineille tulipalossa. Ärsytys voi haitata näkökykyä kivun ja kyynelesten valumisen vuoksi. Hengityselimet reagoivat hengitysnopeuden vähenemisellä sekä nenän, suun ja kurkun polttelulla. Suuret pitoisuudet voivat aiheuttaa tulehdusta ja turvotusta ylemmissä hengitysteissä, kouristuksia ja keuhkoputkien supistumistaipumusta. Voi esiintyä myös keuhkojen verenvuotoa ja silmävaurioita. Ärsyttävät aineet voivat alentaa pakenemiskykyä tulipalossa. Joskus niistä on hyötyäkin, sillä pistävä haju varoittaa vaarasta jo alhaisilla pitoisuuksilla. Tunnettuja ärsyttäviä palamistuotteita ovat esim. kloorivety (HCl), rikkidioksidi (SO₂), typen oksidit (NO_x) ja lyhytketjuiset aldehydit (formaldehydi, asetaldehydi, akroleiini ym.).

10.7.3 Yhdisteet, joiden myrkyllisyyttä ei tunneta ja tunnistamattomat yhdisteet

Edellä mainitut tukahduttavat ja ärsyttävät aineet ovat normaalisti merkittävimmät myrkylliset palamistuotteet. Jos palavassa aineessa tai ympäristössä on epätavallisia kemiallisia rakenteita, voi olla vaara erityisen myrkyllisten kaasujen esiintymisestä. Lisäk-

si olosuhteet voivat olla sellaiset, että muodostuu epätavallisia palamistuotteita. Sellaisen vaaran arviointia varten tarvitaan tavallisesti biologisia testejä. Esimerkki sellaisesta tapauksesta oli äärimmäisen myrkyllisten yhdisteiden tuotanto reaktiivisella fosfaatti palosuoja-aineella käsitellystä trimetylolipropaaniperusteisesta jäykästä polyuretaanivaahdosta.

10.8 Tekstiilien palamisen myrkyllisyydestä

Kuten savunmuodostus myös myrkyllisten palamistuotteiden muodostus riippuu materiaaliominaisuuksien lisäksi merkittävästi palo-olosuhteista. Siksi eri palokokeissa saadut tulokset voivat olla hyvin erilaisia. Esim. selluloosapohjaiset materiaalit palavat liekehtivässä palossa runsaassa ilmavirrassa puhtaammin ja tuottavat vähemmän näkyvää savua ja hiilimonoksidia kuin kytevässä tai liekehtivässä ilmarajoitteisessa palossa.

Taulukossa 11 on esimerkki standardin DIN 53 436 -mukaisella putkiuunilla tehdyistä myrkyllisyyskokeista lämpötilassa 600 °C koe-eläinten altistusajan ollessa 30 min. Tämän standardin mukaisessa kokeessa määritettiin materiaalille ns. LC_{50}^{3*} -luku, joka kuvaa sen myrkyllisyyttä palossa. Materiaalien myrkyllisyys palossa on sitä suurempi mitä pienempi on sen LC_{50} .

Toksikologien yleisen käsityksen mukaan huomattavaa reaktioiden häiriintymistä esiintyy jo noin kolmasosassa LC_{50} arvon pitoisuudesta. Nämä laskennalliset EC_{50} -arvot on myös esitetty taulukossa 11 [52].

Tulosten perusteella pienempi määrä palosuojattua kuin palosuojaamatonta puuvillaa riittää aiheuttamaan myrkylliset olosuhteet. Tosin tulipalotilanteessa saattaa pienempi määrä palosuojattua laatua osallistua paloon mahdollisen hitaamman palonleviämisen vuoksi.

³ LC_{50} = aineen konsentraatio (määrä tilavuusyksikköä kohden), jossa puolet koe-eläimistä kuolee.

Taulukko 11. Eräiden materiaalien myrkyllisyysarvoja standardin DIN 53 436 ($T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 30\text{ min}$) mukaisissa kokeissa [52].

Materiaali	LC ₅₀ (gm ⁻³)	EC ₅₀ (gm ⁻³)
Modarkryyli	6	2
Villa	8	2,7
Puuvilla	30	10
Palosuojattu puuvilla	9,6	3,2
PVC	17	5,7
PU vaaho	≥17	≥5,7
PC	66	22
ABS	17	5,7
Polyamidi	6,7	2,2
Mänty	≥18	≥6

Taulukko 12. LC₅₀:n ja EC₅₀:n mukaiset myrkylliset olosuhteet rautatievaunussa ($V = 150\text{ m}^3$) aiheuttavat palavan materiaalin määrät (ΔG).

Materiaali	ΔG (kg) (LC ₅₀)				ΔG (kg) (EC ₅₀)			
	30 min	10 min	4 min	90 s	30 min	10 min	4 min	90 s
Modakryyli	1,0	3,1	7,8	20,8	0,4	1,0	2,6	6,9
Villa	1,2	3,6	8,0	24,0	0,4	1,2	2,7	8,0
Puuvilla	4,5	13,5	33,8	90,0	1,5	3,5	11,3	30,0
Palosuojattu puuvilla	1,4	4,3	10,8	28,8	0,5	1,4	3,6	9,6
PVC	2,6	7,7	19,1	51,0	0,9	2,6	8,4	17,0

Taulukon 12 arvot kuvaavat materiaalmääriä, joiden täytyy olla palossa osallisena 30 min, 10 min, 4 min ja 90 s ennen kuin LC₅₀ parametria tai potentiaalista häiriintymistä (EC₅₀) vastaava vaara uhkaa rautatievaunussa ($V = 150\text{ m}^3$). Nämä laskelmat perustuvat oletukselle, että palokaasuseos on homogeenisesti sekoittunut, mutta niin ei ole aina asian laita.

Tulosten mukaan puuvillan palosuojaus lisää myrkyllisyyttä. Palosuojattua puuvillaa myrkyllisemmiksi osoittautuivat villa ja modakryyli.

Toisessa DIN 53436 menetelmällä tehdyssä tutkimuksessa [18] havaittiin puuvillan palosuojauksen (Proban ja Pyrovatex CP) lisäävän savukaasujen myrkyllisyyttä korkeammassa lämpötilassa (700 °C), mutta vähentävän sitä matalammassa lämpötilassa (500 °C). Mainituista palosuojatuista laaduista muodostui korkeammassa lämpötilassa koeoloissa hengenvaarallinen pitoisuus hiilimonoksidia. Proban ja Pyrovatex CP nostivat kokeissa myös veren hiilimonoksidihemoglobiinipitoisuuden korkealle tai melko korkealle tasolle. Kummastakin laadusta muodostui myös syaanivetyä, joka ei ollut yksinään hengenvaarallista, mutta todennäköisesti lisäsi ja nopeutti myrkyllisyysvaikutusta etenkin Proban-viimeistellyllä laadulla. Modakryylin ja palosuojatun polyesterivanun myrkyllisyyden aiheutti todennäköisesti syaanivedyn ja hiilimonoksidin yhteisvaikutus. Näistä materiaaleista syntyi kloorivetyä, jolla oli myös vaikutusta. Myös villalla myrkyllisyys aiheutui korkeasta syaanivetyypitoisuudesta korkeammassa lämpötilassa.

11. Paloturvallisuusvaatimukset

Julkisten tilojen sisusteiden paloturvallisuudella on useissa maissa jonkin tasoisia ohjeita, määräyksiä tai vaatimuksia, koska huoneistopalot alkavat usein sisusteista.

Kuumuudelta ja tulelta suojaavien työvaatteiden on täytettävä niin Suomessa kuin muuallakin Euroopan unionin alueella henkilösuojaindirektiivin 89/686/EEC vaatimukset.

Liikennevälineiden sisusteille on omat paloturvallisuusvaatimukset. Laivojen sisustusmateriaalien paloturvallisuutta säätelee laivavarustedirektiivi 96/98/EY ja muutos 98/85/EY. Linja-autojen sisustusmateriaalien paloturvallisuudesta on linja-autodirektiivi 95/28/EY. Junien sisusteiden paloturvallisuusvaatimukset liittyvät Suomessa liikkuvan kaluston määräyksiin ja ohjeisiin (LIMO). Lentokoneiden sisustusmateriaaleille on omat määräykset, jotka perustuvat USA:n Federal Aviation Administrationin (FAA) ohjeisiin.

Leluja koskeva leludirektiivi, 88/378/ETY ja muutos 93/68/ETY, oli ensimmäinen eurooppalainen direktiivi, jossa on myös paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia.

Kuluttajavaatteet, teltat ja makuupussit voidaan luokitella TSL:n ohjeen [72] mukaisesti syttyvyysluokkiin, mutta paloturvallisuusvaatimuksia niille ei Suomessa ole.

Seuraavissa kappaleissa on lyhyesti esitetty sisusteita, suojavaatteita ja leluja koskevat paloturvallisuusvaatimukset sekä kuluttajavaatteita ja retkeilyvarusteita koskevat syttyvyysluokitukset. Erillisessä kappaleessa on käsitelty liikennevälineiden sisusteilta vaadittavia paloturvallisuusominaisuuksia.

Kunkin kappaleen lopussa on kerrottu, minkälaisia pesuja kyseessä oleva menetelmä tai luokitus vaatii palosuoja-aineiden käyttöä ajatellen.

11.1 Sisustustekstiilit

Suomessa Sisäasiainministeriö (SM) on antanut ohjeet julkisten tilojen sisusteiden paloturvallisuudesta [48]. Ohje koskee julkisten tilojen verhoja, pehmustettuja istuinhuonekaluja, patjoja, vuodevaatteita ja irtomattoja.

Kuluttajille myytävien patjojen ja pehmustettujen istuinhuonekalujen paloturvallisuusvaatimukset on esitetty Kauppa- ja teollisuusministeriön antamissa asetuksissa [6 ja 7]. Asetukset on annettu tuoteturvallisuuslain nojalla. Muille kodin sisusteille ei ole paloturvallisuusvaatimuksia.

Kotien ja julkisten tilojen sisusteiden paloturvallisuusvaatimukset perustuvat syttyvyysluokkiin ja luokan määrääviin koemenetelmiin.

Sisäasiainministeriön ohjeen mukaisesti sisusteet voidaan luokitella kolmeen syttyvyysluokkaan; SL 1 (*vaikeasti syttyvä*), SL 2 (*tavanomaisesti syttyvä*) ja SL 3 (*herkästi syttyvä*).

Palokoemenetelmät, joiden tulosten perusteella tuotteen syttyvyysluokka määräytyy, on pyritty tekemään sellaisiksi, että ne antaisivat mahdollisimman luotettavan kuvan tuotteen syttyvyydestä käytännön tilanteessa. Siksi verhoille, pehmustetuille istuinhuonekaluille, patjoille ja vuodevaatteille on omat palokoemenetelmänsä, joiden tulosten perusteella tuotteen syttyvyysluokka määräytyy.

Sisusteiden paloturvallisuusvaatimukset liittyvät syttymisherkkyyteen pienten sytytyslähteiden vaikutuksesta. Huomattavaa on, että *vaikeasti syttyväksi* (SL 1) luokiteltu sisustekin yleensä syttyy kun siihen kohdistuu palokoemenetelmää ankarampi sytytyslähte. Tällöin on merkitystä sisusteen muilla palo-ominaisuuksilla eli, kuinka nopeasti sisuste palaa sekä kuinka paljon siitä vapautuu lämpöä, savua ja myrkyllisiä kaasuja.

11.1.1 Pehmustetut istuinhuonekalut

Pehmustetun istuinhuonekalun paloturvallisuus ja syttyvyysluokka määritellään seuraavilla koemenetelmillä:

SFS-EN 1021-1: 1994 *Huonekalut. Pehmustettujen istuinhuonekalujen syttyvyys. Osa 1: Sytytyslähteenä kytevä savuke.*

SFS-EN 1021-2: 1994 *Furniture - Assessment of the ignitability of upholstered furniture - Part 2: Ignition source: Match flame equivalent (ISO 8191-2:1988 modified)*

Syttyvyysluokassa 1 (SL 1) tuote ei saa syttyä kytevästä savukkeesta standardin SFS-EN 1021-1 mukaisessa kokeessa eikä tulitikun liekkiä vastaavasta liekistä standardin SFS-EN 1021-2 mukaisessa kokeessa.

Syttyvyysluokassa 2 (SL 2) tuote ei saa syttyä kytevästä savukkeesta standardin SFS-EN 1021-1 mukaisessa kokeessa.

Syttyvyysluokassa 3 (SL 3) tuote syttyy kytevästä savukkeesta standardin SFS-EN 1021-1 mukaisessa kokeessa.

Sisäasiainministeriön ohjeen mukaan julkisissa tiloissa pehmustettujen istuinhuonekalujen tulisi olla *vaikeasti syttyviä* (SL 1), ellei tilassa ole palovaroitinjärjestelmää yhdistettynä henkilövalvontaan.

Kuluttajakäyttöön myytävät pehmustetut istuinhuonekalut eivät saa asetuksen mukaan syttyä savukkeesta eli niiden on oltava vähintään *tavanomaisesti syttyviä* (SL 2).

PESUT: Kaikille päällysmateriaaleille tehdään standardin SFS-EN 1021 -mukaisissa kokeissa 30 min:n vesiliotus ja kuivaus ennen ilmastointia ja syttyvyyskokeita.

Tässä käsittelyssä huuhtoutuvat pois palosuojaukset, jotka on tehty jälkikäsittelemällä päällysmateriaali vesiliukoisilla palosuoja-aineilla.

11.1.2 Patjat

Patjojen paloturvallisuutta ja syttyvyysluokkaa määriteltäessä käytetään kolmea palokoe menetelmää:

IMO FTPC Part 9 (IMO Resolution MSC.61(67) Annex 1 Part 9)

Fire test procedures for ignitability of bedding components. Test procedure IMO Resolution A.688(17)

SFS-EN 597-1: 1995 *Huonekalut. Patjojen ja runkopatjojen syttyvyys. Osa 1: Sytytyslähteenä kytevä savuke.*

SFS-EN 597-2: 1995 *Furniture - Assessment of the ignitability of mattresses and upholstered bed bases - Part 2: Ignition source: Match flame equivalent.*

Syttyvyysluokassa 1 (SL 1) patja ei saa syttyä kytevästä savukkeesta eikä tulitikun liekkiä vastaavasta liekistä. Savukekoe tehdään menetelmän IMO FTPC Part 9 mukaan, koska se on huomattavasti ankarampi kuin SFS-EN 597-1 mukainen savukekoe. Liekkikoe tehdään standardin SFS-EN 597-2 mukaisesti.

Syttyvyysluokassa 2 (SL 2) patja ei saa syttyä kytevästä savukkeesta standardin SFS-EN 597-1 mukaisessa kokeessa.

Syttyvyysluokassa 3 (SL 3) patja syttyy kytevästä savukkeesta standardin SFS-EN 597-1 mukaisessa kokeessa.

Sisäasiainministeriön ohjeen mukaan patjojen tulisi olla *vaikeasti syttyviä* (SL 1) majoitustiloissa ja hoitolaitoksissa eli ne eivät saisi syttyä savukkeesta tai tulitikun liekkiä vastaavasta liekistä ankarissakaan olosuhteissa.

Kuluttajakäyttöön myytävät patjat eivät saa asetuksen [6] mukaan syttyä savukkeesta eli niiden on oltava vähintään *tavanomaisesti syttyviä* (SL 2).

PESUT: Menetelmän IMO FTPC Part 9 mukaisissa kokeissa palosuojatut* sijauspatjat ja palosuojatut irrotettavat patjanpäälliset testataan kolmen hoito-ohjeen mukaisen pesun jälkeen.

Pesuissa huuhtoutuvat pois palosuojaukset, jotka on tehty jälkikäsittelemällä päällysmateriaali vesiliukoisilla palosuoja-aineilla.

* sold as flame retardant

11.1.3 Vuodevaatteet

Vuodevaatteiden paloturvallisuus ja syttyvyysluokka määritetään Suomessa käyttäen neliosaista eurooppalaista standardia:

SFS-EN ISO 12952-1, -2, -3, -4:1999 *Tekstiilit. Vuodevaatteiden palo-ominaisuudet.*

Osa 1. Syttyvyyden yleiset testausmenetelmät, sytytyslähteenä kytevä savuke.

Osa 2. Syttyvyyden testauksen erityismenetelmät, sytytyslähteenä kytevä savuke.

Osa 3. Syttyvyyden yleiset testausmenetelmät, sytytyslähteenä pieni avoliekki.

Osa 4. Syttyvyyden testauksen erityismenetelmät, sytytyslähteenä pieni avoliekki.

Koekappale on näissä kokeissa vaakasuorassa asennossa. Sytytyslähteen paikka sen sijaan riippuu testattavasta tuotteesta.

Syttyvyysluokassa 1 (SL 1) vuodevaate ei saa syttyä kytevästä savukkeesta eikä tulitukun liekkiä vastaavasta liekistä standardin SFS-EN ISO 12952 mukaisissa kokeissa.

Syttyvyysluokassa 2 (SL 2) tuote ei saa syttyä kytevästä savukkeesta standardin SFS-EN ISO 12952 mukaisissa kokeissa.

Syttyvyysluokan 3 (SL 3) tuote syttyy kytevästä savukkeesta.

Sisäasiainministeriön ohjeen mukaan kaikkien muiden vuodevaatteiden paitsi lakanoiden tulisi majoitustiloissa ja hoitolaitoksissa olla *vaikeasti syttyviä* (SL 1) eli ne eivät saisi syttyä savukkeesta eivätkä tulitukunliekkiä vastaavasta liekistä. Lakanat voivat olla *tavanomaisesti syttyviä* (SL 2).

Kuluttajakäyttöön myytävillä vuodevaatteilla ei ole paloturvallisuusvaatimuksia.

Ennen edellä mainitun neliosaisen standardin valmistumista vuodevarusteiden syttymis-herkkyys määriteltiin SM:n ohjeen mukaan käyttäen seuraavia palokoemenetelmiä:

IMO FTPC Part 9 (IMO Resolution MSC.61(67) Annex 1 Part 9)

Fire test procedures for ignitability of bedding components.

Test procedure IMO Resolution A.688(17)

SFS-EN ISO 6941:1995:*Tekstiilit. Palo-ominaisuudet. Liekin leviämiso-minaisuuk-sien mittaaminen pystysuorilla näytteillä. Pintasytytys 10 s.*

SFS-EN 597-1:1995 *Huonekalut. Patjojen ja runkopatjojen syttyvyys. Osa 1: syty-tyslähteenä kytevä savuke.*

Yksikerroksisten vuodevaatteiden, kuten huopien, peitteiden ja lakanoiden, liekkikoe tehtiin standardin SFS-EN ISO 6941 mukaisesti koekappale pystysuorassa. Monikerrok-sisten vuodevaatteiden, kuten tyynyjen ja täkkien, liekkikoe tehtiin IMO FTPC Part 9:n mukaisesti.

Vuodevaatteiden savuketestit tehtiin samalla tavalla sekä yksikerroksisille että moniker-roksisille tuotteille eli syttyvyysluokassa 1 savuketesti tehtiin IMO FTPC Part 9 mukai-sesti ja syttyvyysluokassa 2 riitti, ettei tuote syttynyt SFS-EN 597-1:1995 mukaisessa savuketestissä.

Vuodevaatteiden eurooppalaisten palokoestandardien käyttöönoton vaikutuksista tehtiin VTT:ssa vuonna 2000 tutkimus. Se osoitti, ettei oleellisia muutoksia tapahdu eri sytty-vyysluokkiin kuuluvissa tuoteryhmissä.

PESUT: SFS-EN ISO 12952 mukaisissa kokeissa kaikki vuodevaatteet testataan vii-den hoito-ohjeen mukaisen pesun jälkeen.

Menetelmän IMO FTPC Part 9 mukaisissa kokeissa palosuojatut* huovat, peitot, tä-akit, päiväpeitot, tyynyt, sijauspatjat ja irrotettavat patjanpäälliset testataan kolmen hoito-ohjeen mukaisen pesun jälkeen. Samoin tehtiin käytettäessä SFS-EN 597-1 ja SFS-EN ISO 6941 standardia vuodevaatteiden testauksessa.

Pesuissa huuhtoutuvat pois palosuojaukset, jotka on tehty jälkikäsittelemällä päällyys-materiaali vesiliukoisilla palosuoja-aineilla.

* sold as flame retardant

Tulevaisuus:

Vuodevaatteiden eurooppalainen luokitusstandardiluonnos (1st draft) *Classification scheme for bedding items* on saatu valmiiksi työryhmässä CEN TC248 SC1 WG2 vuonna 2000. Luokitusstandardi perustuu edellä mainittuihin vuodevaatestandardeihin, EN ISO 12952-1,2,3 ja 4. Luonnoksessa on kolme luokkaa:

- A. ei syty savuke- eikä liekkikokeessa
- B. ei syty savukekokeessa
- C. syttyy savukekokeessa

Luokitusstandardi ei tällaisena tule muuttamaan merkittävästi vuodevaatteiden paloturvallisuustasoa Suomessa.

11.1.4 Verhot

Verhojen paloturvallisuutta ja syttyvyysluokkaa määriteltäessä käytetään seuraavia palokoemenetelmiä:

IMO FTPC, Part 7 (IMO Resolution MSC.61(67) Annex 1 Part 7)

Test for vertically supported textiles and films.

Test procedure IMO Resolution A.471(XII), as amended by Resolution A.563(12).

SFS-EN 1102:1996 *Tekstiilit ja tekstiilituotteet. Palo-ominaisuudet. Verhot. Erityis-*
menettely määritettäessä liekin leviämistä pystysuorilla näytteillä.

Syttyvyysluokassa 1 (SL 1) verhon on täytettävä IMO FTPC, Part 7:ssä esitetyt vaatimukset.

Syttyvyysluokassa 2 (SL 2) verhon palamisajan on oltava yli 15 s 520 mm:n matkalla SFS-EN 1102 mukaisessa kokeessa eikä siitä saa tippua palavaa ainesta.

Syttyvyysluokan 3 (SL 3) verho ei täytä SL 1:n ja SL 2:n vaatimuksia.

PESUT: Menetelmän IMO FTPC Part 7 mukaisissa kokeissa palosuojaviimeistetyt* tuotteet testataan uusina ja käsiteltyinä käyttöä vastaavasti. Vesipestävät ja kemiallisesti pestävät tuotteet pestään 10 kertaa hoito-ohjeen mukaan. Huuhdeltaville tuotteille tehdään 72 tunnin vesiliotus.

SFS-EN 1102 -mukaisissa kokeissa kaikki tuotteet pestään kerran hoito-ohjeen mukaan.

Vain pesuja kestävät palosuojaviimeistykset tulevat kysymykseen. Pesuohjeita on noudatettava tarkoin.

* fabrics which are not inherently flame-resistant

Tulevaisuus:

Edellä mainitun liekkien leviämistä verhoissa mittaavan menetelmän SFS-EN 1102 lisäksi on eurooppalainen verhojen syttyvyyttä mittaava menetelmä:

SFS-EN 1101:1996 *Tekstiilit ja tekstiilituotteet. Palo-ominaisuudet. Verhot. Erityis-
menettely määritettäessä pystysuorien näytteiden syttyvyyttä (pieni liekki).*

Standardisointiryhmässä CEN TC248 SC1 WG1 on saatu lisäksi valmiiksi menetelmä vaikeasti syttyville verhoille:

prEN 13772:2000 *Textiles and textile products. Burning behaviour. Curtains and
drapes. Measurement of flame spread of vertically oriented specimens with large ig-
nition source*

ja verhojen eurooppalainen luokitusstandardi:

prEN 13773:2000 *Textiles and textile products. Curtains and drapes. Burning beha-
viour. Classification scheme.*

PrEN 13773 mukaisessa syttyvyysluokituksessa käytetään koemenetelminä standardeja EN 1101, EN 1102 ja prEN 13772. Luokitus aloitetaan tekemällä syttyvyyskokeet standardin EN 1101 mukaan. Jos koekappale syttyy, jatketaan kokeita standardin EN 1102 mukaan. Jos koekappale ei syty, jatketaan kokeita standardin prEN 13772 mukaisesti. Taulukossa 13 on esitetty luokitusehdotus vaatimuksineen.

Taulukko 13. Verhojen eurooppalainen luokitusehdotus prEN 13773:2000.

Luokka	Syttyvyys	Liekin leviäminen
1	Ei syty EN 1101 kokeessa	1. lanka ei katkea eikä tipu palavaa prEN 13772 kokeessa
2	Ei syty EN 1101 kokeessa	3. lanka ei katkea eikä tipu palavaa prEN 13772 kokeessa
3	Ei syty EN 1101 kokeessa	3. lanka katkeaa tai tippuu palavaa prEN 13772 kokeessa
4	Syttyy EN 1101 kokeessa	3. lanka ei katkea ja ei tipu palavaa EN 1102 kokeessa
5	Syttyy EN 1101 kokeessa	3. lanka katkeaa tai tippuu palavaa EN 1102 kokeessa

Yhteisiä eurooppalaisia vaatimuksia (direktiiviä) verhojen paloturvallisuudesta ei ole tulossa, mutta yleisesti toivotaan, että komissio antaisi jonkintasoisen ohjeen tai suosituksen edellä mainittujen verhojen EN-palokoemenetelmien käyttöönotosta Euroopan kaikissa maissa. Jokainen maa voisi itse määritellä luokan, jota kyseisessä maassa vaaditaan. Tämä helpottaisi huomattavasti verhojen paloturvallisuuden testausta sillä nyt lähes kaikilla Euroopan mailla on omat verhojen paloturvallisuutta mittaavat menetelmät.

11.1.5 Irtomatot ja lattianpäällysteet

Irtomatot ovat sisusteita. Julkisissa tiloissa olevien irtomattojen paloturvallisuutta koskee sisäasiainministeriön ohje [48].

Lattianpäällysteet ovat osa rakennusta, lattioiden pintakerroksia. Siksi lattianpäällysteiden paloturvallisuutta koskee ympäristöministeriön määräys [71].

Irtomattojen syttyvyysluokka määritellään sisäasiainministeriön ohjeen mukaan seuraavilla palokoemenetelmillä:

NT FIRE 007 (1985) *Floorings. Flame spread and smoke generation.* (vastaa standardia SFS 4195:E)

SFS 3187:1983 *Tekstiilimatot. Syttyvyyden määrittäminen. Tablettikoe.*

Syttyvyysluokassa 1 irtomaton on täytettävä samat vaatimukset kuin ympäristöministeriön määräyksen mukaisen L-luokan lattianpäällysteen. Palokoemenetelmänä on NT FIRE 007. Hyväksymisperusteet luokan L lattianpäällysteille on esitetty ympäristöministeriön oppaassa [56]. L-luokan vaatimukset liittyvät maton vaurioitumiseen palokoekessa ja savun muodostukseen näkyvyyttä alentavana tekijänä. Sytytyslähde L-luokassa on 40 g painava palava puuritilä. Se on huomattavasti ankarampi kuin sytytyslähde muissa sisustustekstiilien palokokeissa.

Syttyvyysluokassa 2 koemenetelmänä on SFS 3187, jossa sytytyslähteenä on tulitikun liekkiä vastaava liekki. Liekit eivät saa levitä kuin yhdessä koekappaleessa kahdeksasta, jotta matto menisi SL 2 -luokkaan.

Syttyvyysluokan 3 matto ei täytä SL 2:n vaatimuksia.

Tulevaisuus:

Lattianpäällysteiden testausmenetelmä korvataan niin Suomessa kuin muuallakin Euroopan unionissa eurooppalaisilla palokoemenetelmillä

prEN ISO 9239-1:1999 *Reaction to fire tests for floorcoverings - Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source (ISO/FDIS 9239-1:1999)*

prEN ISO 11925-2:1999 *Reaction to fire tests for building products - Part 2: Ignitability when subjected to direct impingement of flame (ISO/FDIS 11925-2:1998).*

Lattianpäällysteiden paloluokitus vaatimuksineen on esitetty eurooppalaisessa luokitusstandardiehdotuksessa

Final draft **prEN 1351-1:2000** *"Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests".*

Luokitus sisältää neljä koemenetelmää ja seitsemän luokkaa (A_{fl}, A2_{fl}, B_{fl}, C_{fl}, D_{fl}, E_{fl}, F_{fl}). Luokiteltaessa tekstiilipintaisia lattianpäällysteitä kysymykseen tulevat mainitut kaksi menetelmää ja viisi viimeistä (alinta) luokkaa.

Luokissa B_{fl}, C_{fl} ja D_{fl} lattianpäällyste on testattava molemmilla menetelmillä. Luokassa E_{fl} riittää menetelmän prEN 11925-2 mukaiset kokeet ja siihen liittyvien vaatimusten täytyminen. Luokassa F_{fl} ei ole mitään vaatimuksia.

Menetelmässä prEN ISO 9239-1 koekappaleeseen kohdistuu lämpösäteilyä, jonka intensiteetti vaihtelee koekappaleen eri osissa. Luokituksen kannalta tärkeimpiä mitattavia asioita ovat kriittinen lämpösäteily ja savuntuotto.

Menetelmässä prEN ISO 11925-2 sytytyslähteenä on pieni kaasuliekki, pituus 20 mm. Kokeessa mitataan liekkien leviämistä koekappaleessa.

PESUT: Menetelmät, joilla mitataan irtomattojen ja lattianpäällysteiden pal ominaisuuksia, eivät sisällä pesu- tai huuhtelukäsittelyjä.

Palotestien läpäisyn kannalta vesiliukoisetkin palosuoja-aineet käyvät.

11.2 Vaatetustekstiilit

11.2.1 Suojavaatteet – henkilösuojaindirektiivi

Euroopan markkinoilla olevien suojainten ja suojavaatteiden on täytettävä henkilösuojaindirektiivin 89/686/EEC vaatimukset (Suomessa Vnp 1406/93).

Direktiivissä on esitetty kaikkia suojaimia koskevat olennaiset vaatimukset. Suojainten tekniset yksityiskohdat, vaatimukset ja testausmenetelmät on esitetty eurooppalaisissa tuote- ja testausmenetelmästandardeissa.

Tulelta ja kuumuudelta suojaavien vaatteiden tärkeimpiä mitattavia palo-ominaisuuksia ovat seuraavassa luettelossa esitetyt. Ominaisuuden perässä mainitaan kyseistä ominaisuutta mittaava eurooppalainen testausmenetelmästandardi.

- liekkien leviäminen materiaalissa – EN 532 (EN ISO 15025)
- suojaavuus lämpösäteilyä vastaan – EN 366 (EN ISO 6942)
- suojaavuus liekkikontaktia vastaan – EN 367 (ISO 9151)
- suojaavuus kontaktikuumuutta vastaan – EN 702
- suojaavuus hitsauskipinöitä vastaan – EN 348 (uusi menetelmä kehitteillä)
- suojaavuus sulan metallin roiskeilta – EN 373.

Tulelta tai kuumuudelta suojaaville vaatteille on useita tuotestandardeja, koska erilaisissa töissä tarvitaan suojaavuutta erilaisia kuumuusrasituksia vastaan. Hitsaajan suojavaatteen on suojattava työntekijää ennen kaikkea kuumilta hitsauskipinöiltä, mutta palomies tarvitsee rakennuspalon sammutuksessa suojaan hyvin voimakasta kuumuutta vastaan – niin liekkejä kuin voimakasta lämpösäteilyäkin vastaan.

Taulukossa 14 on lueteltu tavallisimpien tulelta ja kuumuudelta suojaavien suojavaatteiden tuotestandardit ja menetelmästandardit, joilla suojavaatteen paloturvallisuusominaisuuksia mitataan.

Taulukko 14. Tulelta ja kuumuudelta suojaavien vaatteiden tuote- ja menetelmästandardeja.

Menetelmä →	EN 532	EN 366	EN 367	EN 702	EN 348	EN 373
Tuotestandardi ↓						
EN 469 – palopuku	X	X	X			
EN 659 – palokäsine		X	X	X		
EN 531 (prEN ISO 11612) - kuuma teoll.työ/ puku	X	X	X			X
EN 407 – kuuma kuuma teoll.työ/ käsine		X	X	X		X
EN 470-1 (prEN ISO 11611) – hitsauspuku	X	X			X	
prEN 12477 – hitsauskäsineet			X	X	X	
EN 533 – suojaus/ pieni liekki	X					

PESUT: Tuotestandardit vaativat materiaalien pesua ennen paloturvallisuuteen liittyviä kokeita.

Vain pysyvästi palosuojatut materiaalit tai luonnostaan paloturvalliset materiaalit ovat mahdollisia.

11.2.2 Kuluttajavaatteet

Kuluttajavaatteille ei ole Suomessa paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia, mutta vanhassa standardisoimisliiton yleiskaavassa TSL 23-05⁴ *Tekstiilien palotekniset ominaisuudet. Luokitus* [72] oli ohjeet siitä, miten vaatteiden ja vaatetusmateriaalien palo-ominaisuudet voidaan testata ja luokitella.

Yleiskaavassa on esitetty käytettävät palokoemenetelmät ja luokitusperusteet.

⁴ Tätä yleiskaavaa ei enää ole SFS:n tavaraselosteluettelossa, mutta sitä voidaan edelleen käyttää luokiteluun ja paloturvallisuuden arviointiin.

Koetulosten perusteella vaatetusmateriaalit luokitellaan *vaikeasti syttyviksi* (SL1A, SL1B, SL1C tai SL1D), *tavanomaisesti syttyviksi* (SL2) tai *herkästi syttyviksi* (SL3).

Luokituksessa käytetään seuraavia palokoemenetelmiä:

SFS-EN-ISO 6941: 1995 *Tekstiilit. Palo-ominaisuudet. Liekin leviämisoiminaisuuksien mittaaminen pystysuorilla näytteillä*

SFS 5464: 1989 *Tekstiilit. Palo-ominaisuudet. Syttyminen ja liekin leviäminen.*

Syttyvyysluokissa SL 1A, SL 1B ja SL 1C palokoemenetelmänä on SFS-EN ISO 6941.

Standardissa SFS 5464 esitettyä menetelmää käyttäen määritetään syttyvyysluokat SL 1D, SL 2 ja SL 3.

Vaikeasti syttyvien vaatetusmateriaalien vaatimukset liittyvät jälkipalamisaikaan, jälkihehku aikaan, reiän muodostukseen, vaurion suuruuteen ja palavan aineen tippumiseen. Näitä luokkia on aikaisemmin käytetty työ- ja suojavaatteita luokiteltaessa. Tämän vuoksi *vaikeasti syttyvät* vaatetusmateriaalit jakaantuvat vielä neljään syttyvyysluokkaan. Nykyään työ- ja suojavaatteille on omat menetelmä- ja luokitusstandardit, joista kerrotaan tarkemmin kappaleessa 11.2.1.

Tavanomaisesti syttyvät vaatetusmateriaalit saavat palaa, mutta vaatimukset on asetettu syttymisherkkyydelle.

Materiaalit, joista kuluttajavaatteet valmistetaan, ovat TSL 23-05 -luokituksen mukaan testattaessa ja luokiteltaessa lähinnä *tavanomaisesti syttyviä* tai *herkästi syttyviä*. VTT:ssa vuonna 1998 tehdyssä tutkimuksessa [60] tutkitut vaatetusmateriaalit jakautuivat TSL 23-05 luokkiin seuraavasti:

SL 1 - <i>vaikeasti syttyvä</i> :	0 kappaletta
SL 2 - <i>tavanomaisesti syttyvä</i> :	42 kappaletta
SL 3 - <i>herkästi syttyvä</i> :	15 kappaletta

Tutkimuksen tulos tarkoittaa sitä, että käytännössä kaikki kuluttajavaatteet syttyvät pienen, tulitikun liekkiä vastaavan liekin kosketuksesta. Vaatetusmateriaalien paloturvallisuudessa on kuitenkin suuria eroja, sillä syttymisen jälkeen palamisnopeudessa on eroja ja jotkut kankaat voivat sammua itsestään.

PESUT: TSL 23-05 mukaan syttyvyysluokissa SL 1A...SL 1D palosuoja- ja imeistetyt tuotteet testataan 10 hoito-ohjeen mukaisen pesun jälkeen.

Standardin SFS-EN 1103 mukaisissa kokeissa kaikki tuotteet pestään kerran hoito-ohjeen mukaan. Pesun tarkoitus on tehdä kankaasta kuluneempi*. Palosuoja-aineiden pysyvyyden toteamiseksi sitä ei ole ajateltu. Vesiliukoiset palosuoja-aineet huuhtoutuvat käsittelyssä pois.

* Nukkapintaiset puuvillakankaat menettävät usein pesussa nukan ilmavuutta, minkä vuoksi taipumus leimahduksenomaiseen nukkapalloon voi kadota. Nukkapintaiset puuvillakankaat, kuten frotee, puuvilla, fleece ja huopakangas, on syytä testata ilman pesuja.

Tulevaisuus:

Vaatetusmateriaalien testaamiseksi on eurooppalainen standardi

SFS-EN 1103:1996 *Tekstiilit ja tekstiilituotteet. Palo-ominaisuudet. Vaatetuska-
kaat. Erityismenettely määrittäessä vaatetuskankaiden palo-ominaisuuksia.*

Tämä on muunnelma standardista SFS-EN ISO 6941.

Muutamissa Euroopan maissa on kuluttajavaatteiden paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia. Norjassa [58] vaatimus koskee lastenvaatteita, Englannissa lasten yövaatteita [45], Hollannissa yövaatteita [1] ja Ruotsissa [23] vain tietyn tyyppisiä eli hyvin ohuita tai nukkapintaisia selluloosakuituisia vaatetuskankaita (koska tällaiset kankaat syttyvät erittäin helposti ja palavat nopeasti).

Muutamit Euroopan maat ovat halunneet puuttua yövaatteiden paloturvallisuuteen. Hollannin aloitteesta kommissio antoi vuonna 1998 Euroopan standardisointijärjestölle, CEN:lle, toimeksiannon, joka koski yövaatteiden (myös kylpy- ja aamutakkien) paloturvallisuuden selvitystä. Työtä tekemään perustettiin työryhmä CEN TC248 SC1 WG5 *Mandate for a feasibility study on possible standardization on fire resistance of nightwear.*

Varsinainen työ tehtiin kahdessa alatyöryhmässä. Toinen ryhmä selvitti paloturvallisuuden liittyviä kysymyksiä ja toinen ryhmä keskittyi palosuoja-aineiden myrkyllisyyteen: miten vaatteessa olevat palosuoja-aineet vaikuttavat käyttäjään ja mikä on palosuoja-aineiden ympäristövaikutus. Ryhmä esitti loppuraportissaan [12] seuraavanlaisia johtopäätöksiä ja suosituksia:

- Yövaatteiden paloturvallisuuden määrittämisessä tulisi käyttää standardin SFS-EN 1103 mukaista menetelmää, jota on muutettu pintaleiskahduksen mittaamisen suhteen.

- Luokitusta varten tulisi olla oma standardi.
- Paloturvallisuudesta kertovien merkintöjen laittamista yövaatteeseen tulee harkita tarkoin sillä merkintä voi aiheuttaa vääränlaisen mielikuvan paloturvallisuudesta.
- Tarvitaan menettelytapa, joka mahdollistaa palosuojattujen tekstiilien myrkyllisyyden toteamisen ihokontaktissa.

Hyväksyttävät minimitasot määritetään kehitettävän riski-mallin (a full risk-benefit model) avulla myrkyllisyydelle. Ympäristömyrkyllisyyden riskimalli kehitetään nykyisen tiedon pohjalta Malli määrittää hyväksyttävät rajat jokaiselle palosuoja-aineelle, joka kankaaseen pannaan.

11.3 Retkeilyvarusteet: teltat, makuupussit

Paloturvallisuusvaatimuksia teltoille ja makuupusseille ei ole, mutta standardisoimisliiton yleiskaavassa TSL 23-05⁵ *Tekstiilien palotekniset ominaisuudet. Luokitus* [72] on ohjeet siitä, miten telttojen ja makuupussien palo-ominaisuudet voidaan testata ja luokitella.

Yleiskaavassa on esitetty käytettävät palokoemenetelmät ja luokitusperusteet.

Teltoilla on viisi syttyvyysluokkaa:

SL 1	<i>Vaikeasti syttyvä</i>
SL 2	<i>Tavanomaisesti syttyvä</i>
SL 3A	<i>Herkästi syttyvä, palaa nopeasti</i>
SL 3B	<i>Herkästi syttyvä, sulapisaroita tippuu</i>
SL 3C	<i>Herkästi syttyvä, palaa rajusti.</i>

⁵ Tätä yleiskaavaa ei enää ole SFS:n tavaraselosteluettelossa, mutta sitä voidaan edelleen käyttää luokiteluun ja paloturvallisuuden arviointiin.

Luokituksessa käytetään seuraavia palokoemenetelmiä:

IMO Resolution A.471(XII) *Recommendation on test method for determining the resistance to flame of vertically supported textiles and films. 1981.*

SFS-EN-ISO 6941: 1995 *Tekstiilit. Palo-ominaisuudet. Liekin leviämisoimaisuuksien mittaaminen pystysuorilla näytteillä.*

Syttyvyysluokassa SL 1 telttamateriaalien palokoemenetelmänä on IMO Resolution A.471(XII). Tärkeimmät luokitusperusteet syttyvyysluokassa SL 1 ovat jälkipalamisaika, vaurion suuruus ja palavan aineen tippuminen.

Teltojen muut syttyvyysluokat määräytyvät SFS-EN ISO 6941 koetulosten perusteella. Tavanomaisesti syttyvät ja herkästi syttyvät telttamateriaalit saavat palaa, mutta vaatimuksia on asetettu palamisnopeudelle ja sulan, palavan aineen tippumiselle.

PESUT: TSL 23-05 mukaan syttyvyysluokissa SL 1 telttamateriaalille tehdään IMO Resolution A.471(XII) mukainen 72 tunnin vesiliotus ennen palokokeita.

Vesiliukoiset palosuoja-aineet huuhtoutuvat liotuksessa pois.

Makuupusseilla on neljä syttyvyysluokkaa:

- SL 1 *Vaikeasti syttyvä*
- SL 2A *Tavanomaisesti syttyvä, hitaasti läpipalava*
- SL 2B *Tavanomaisesti syttyvä*
- SL 3 *Herkästi syttyvä.*

Luokituksessa käytetään seuraavaa palokoemenetelmää:

SFS 5431: 1988 *Monikerrostekstiilit. Palo-ominaisuudet. Tablettitesti.*

Tärkeimmät luokitusperusteet ovat pinnan suuntainen palamisnopeus ja läpi palamisaika.

PESUT: Jos makuupussi on palosuojaviimeistetty, se testataan kolmen hoito-ohjeen mukaisen pesun jälkeen.

Vesiliukoiset palosuojaviimeistykset huuhtoutuvat pesuissa pois.

11.4 Liikennevälineiden sisustustekstiilit

11.4.1 Laivat

Euroopan unionin jäsenvaltioiden lipun alla purjehtivissa laivoissa on tuotteiden täytettävä laivavarustedirektiivissä (MED = Maritime Equipment Directive) asetetut vaatimukset. Laivavarustedirektiivin edellyttämät muutokset tulivat Suomessa voimaan vuoden 1999 aikana.

Laivavarustedirektiivi edellyttää tuotteen testausta ja valmistuksen laadun arviointia.

Laivavarustedirektiivi koskee kaikkia tekstiilejä, joille on SOLAS-sopimuksessa esitetty paloturvallisuusvaatimuksia. SOLAS on kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä (International Convention for the Safety of Life at Sea). SOLAS-sopimukset tehdään YK:n merenkulkualan erikoisjärjestössä IMO:ssa (International Maritime Organization).

Jos sisustustekstiili on laivassa pintamateriaalina – seinässä, katossa, lattiassa – sen on aina täytettävä paloturvallisuusvaatimukset. Muiden sisustustekstiilien ja kalusteiden paloturvallisuusvaatimukset riippuvat ympäröivän tilan paloneristyksestä.

Nykyään laivat rakennetaan yleensä niin, ettei SOLAS-sopimuksen paloturvallisuusvaatimuksia tarvitse ottaa huomioon sisustustekstiilejä ja kalusteita valittaessa. Vanhojen laivojen sisusteita uusittaessa on paloturvallisuusvaatimukset usein otettava huomioon.

Tilaajat haluavat usein myös uusiin laivoihin paloturvallisuusvaatimukset täyttävät sisustustekstiilit ja kalusteet, vaikka SOLAS-sopimus ei sitä vaatisikaan.

Pintamateriaalit:

Pintamateriaalien paloturvallisuusvaatimukset koskevat liekinleviämistä ja savunmuodostusta. Kokeet tehdään seuraavien menetelmien mukaisesti:

IMO FTPC, Part 5 (IMO Resolution MSC.61(67) Annex 1 Part 5)

Test for surface flammability

Test procedure IMO Resolution A.653(16)

IMO FTPC, Part 2 (IMO Resolution MSC.61(67) Annex 1 Part 2)

Smoke and toxicity test.

Test procedure ISO 5659:1994 Part 2.

Liekinleviämistestissä mitataan pinnan syttymis- ja sammumisaikaa, liekkien leviämistä ja lämmönvapautumista. Savunmuodostuskokeessa mitataan savun tuotto ja savun myrkyllisyys. Savun myrkyllisyys määritetään mittaamalla muutamien kaasujen (CO, HCl, HF, HBr, HCN, NO_x ja SO_x) pitoisuutta savussa.

PESUT: Pintamateriaalien palokokeet eivät sisällä pesu- tai huuhtelukäsittelyjä, joissa palosuojaviimeisteet voisivat huuhtoutua pois.

Vuodevarusteet ja pehmustetut istuinhuonekalut:

Vuodevarusteiden (patjat, tyynyt, täkit, peitteet) ja pehmustettujen istuinhuonekalujen paloturvallisuus määritetään mittaamalla syttyvyyttä pienen liekin ja savukkeen vaikutuksesta. Vuodevarusteiden syttyvyyttä määriteltäessä käytetään palokoemenetelmää

IMO FTPC Part 9 (IMO Resolution MSC.61(67) Annex 1 Part 9)

Fire test procedures for ignitability of bedding components.

Test procedure: IMO Resolution A.688(17)

Pehmustettujen istuinhuonekalujen paloturvallisuus määritetään seuraavan menetelmän mukaisesti:

IMO FTPC Part 8 (IMO Resolution MSC.61(67) Annex 1 Part 8)

Test for upholstered furniture

Test procedure IMO Resolution A.652(16)

PESUT: Vuodevarusteet (IMO FTPC Part 9): Palosuojatut* huovat, peitot, täkit, päiväpeitot, tyynyt, sijauspatjat ja irrotettavat patjanpäälliset testataan kolmen hoito-ohjeen mukaisen pesun jälkeen. Vesiliukoiset palosuojaviimeistykset huuhtoutuvat pesuissa pois.

Pehmustetut istuinhuonekalut (IMO FTPC Part 8): Materiaaleille ei tehdä pesuja tai huuhteluja, vaikka ne olisi käsitelty pois huuhtoutuvilla palosuojaj-aineilla.

* sold as flame retardant

Verhot ja muut riippuvat tekstiilit:

Verhojen paloturvallisuusvaatimukset liittyvät syttymisherkkyyteen pienen liekin vaikutuksesta. Palokoemenetelmänä on sama menetelmä, jota Suomessa käytetään selvitetessä, onko verho *vaikeasti syttyvä* eli SL1 -luokan verho.

IMO FTPC, Part 7 (IMO Resolution MSC.61(67) Annex 1 Part 7)

Test for vertically supported textiles and films.

Test procedure IMO Resolution A.471(XII), as amended by Resolution A.563(14).

Menetelmässä mitataan mm. jälkipalamisaikaa, vauriota ja palavan aineen tippumista.

PESUT: Menetelmän IMO FTPC Part 7 mukaisissa kokeissa palosuojaviimeistetyt* tuotteet testataan uusina ja käsiteltyinä käyttöä vastaavasti. Vesipestävät ja kemiallisesti pestävät tuotteet pestään 10 kertaa hoito-ohjeen mukaan. Huuhdeltaville tuotteille tehdään 72 tunnin vesiliotus.

Vain pesuja kestävät palosuojaviimeistykset tulevat kysymykseen, jos tuote muuten kestää pesuja ja on tarkoitettu pestäväksi. Pesuohjeita on noudatettava tarkoin.

* fabrics which are not inherently flame-resistant

11.4.2 Linja-autot

Linja-autojen sisustusmateriaalien paloturvallisuudesta on direktiivi 95/28/EY. Direktiivi koskee 1. päivänä lokakuuta 1999 tai sen jälkeen käyttöön otettuja tiettyjen M₂ ja M₃ luokkien linja-autoja.

Suomessa ETY-tyyppihyväksynnän linja-autojen sisustusmateriaalien paloturvallisuuden suhteen myöntää Ajoneuvohallintokeskus (AKE). Hyväksynnän edellyttämiä palotestejä tekevä ilmoitettu testauslaitos Suomessa on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

Direktiivin paloturvallisuusvaatimukset koskevat kaikkia linja-auton sisustusmateriaaleja, niin tekstiilejä kuin muitakin materiaaleja. Linja-autodirektiivissä on kolme palokoemennettä, joiden tulosten perusteella paloturvallisuusvaatimusten täyttyminen todetaan:

Direktiivi 95/28/EY. Liite IV:

Koe materiaalien vaakasuoran palamisnopeuden määrittämiseksi

Direktiivi 95/28/EY. Liite V:

Koe materiaalien sulamisominaisuuksien määrittämiseksi

Direktiivi 95/28/EY. Liite VI:

Koe materiaalien pystysuoran palamisnopeuden määrittämiseksi

Käytettävä palokoemenetelmä riippuu ennen kaikkea siitä, missä kyseinen materiaali sijaitsee linja-autossa. Jos materiaali on katossa tai tavaratelineissä, käytetään liitteiden IV ja V mukaisia menetelmiä. Jos taas materiaalia on käytetty vain seinien, istuinten ja lattioiden verhoilussa, riittää liitteen IV mukainen koe. Riippuvat materiaalit, kuten verhot, testataan vain liitteen VI mukaan.

Linja-autodirektiivin paloturvallisuusvaatimukset täyttävä sisustusmateriaali saa palaa, kunhan palamisnopeus ei ylitä 100 mm/min direktiivin 95/28/EY liitteiden IV ja VI mukaisissa kokeissa. Lisäksi katossa tai tavaratelineissä olevista materiaaleista ei saa pudota palavia pisaroita, jotka liitteen V mukaisessa kokeessa sytyttävät puuvillavanun.

PESUT: Materiaaleja ei pestä ennen kokeita.

11.4.3 Junat

Junien sisustusmateriaalien paloturvallisuusvaatimukset sisältyvät Suomessa liikkuvan kaluston määräyksiin ja ohjeisiin (LIMO). Vaatimukset koskevat seinien, kattojen ja lattioiden sisäpäällysteitä, istuimia, patjoja, verhoja, liinoja, pyyhkeitä ja lakanoita.

Palokoemenetelminä käytetään, joko UIC⁶ Code 564-2 OR:n [75] tai sisäasiainministeriön ohjeen [48] mukaisia menetelmiä. UIC Code 564-2 OR sisältää 15 liitettä (Appendix), joissa on kussakin esitetty tietynlaisen tuotteen tai materiaalin koemenetelmä ja vaatimukset. Taulukossa 15 on esitetty junien sisustusmateriaalien palokoemenetelmä ja siihen liittyvä vaadittava paloluokka.

⁶ UIC = International Union of Railways

Taulukko 15. Liikkuvan kaluston määräysten ja ohjeiden mukaiset koemenetelmät ja junan sisusteita koskeva paloluokitus.

Sisuste	Koemenetelmä ja paloluokka
Lattianpäällysteet	UIC 564-2 Appendix 12 – luokka A <i>tai</i> NT FIRE 007 – luokka L (SL 1)
Verhot	UIC 564-2 Appendix 5 – luokka A <i>tai</i> IMO FTPC Part 7 – luokka SL 1
Lakanat, liinat yms.	UIC 564-2 Appendix 5 – luokka B <i>tai</i> SFS-EN 1102 – luokka SL 2
Kokonainen istuin	UIC 564-2 Appendix 13
Pehmusteet/ istuin tai patja*	UIC 564-2 Appendix 8 – luokka A
Istuinverhoilutekstiili*	UIC 564-2 Appendix 5 – luokka A

* Jos testataan kokonainen istuin ei materiaalien erillistestejä tarvita.

Tulevaisuus:

Yhteisiä eurooppalaisia junien paloturvallisuusvaatimuksia koemenetelmiseen on valmisteltu pitkään CEN/TC 256:ssä. Standardiluonnoksessa draft prEN 45545 *Railway applications – Fire protection on railway vehicles* on seitsemän osaa. Kun standardi koemenetelmiseen ja vaatimusrajoineen aikanaan valmistuu, se otetaan käyttöön Suomessa.

11.4.4 Lentokoneet

Lentokoneisiin liittyvät ohjeet perustuvat useissa maissa täysin tai osittain Yhdysvaltain Federal Aviation Administration (FAA) ohjeisiin, Federal Aviation Regulations (FAR).

Miehistö- ja matkustajatilojen sisustusmateriaalien palokoemenetelmät ja vaatimukset on esitetty kohdassa FAR 25.853. Eurooppalainen JAR 25.853 on tämän kanssa täysin identtinen.

Kaikkien sisustusteiden, kuten verhojen, lattianpäällysteiden, istuinverhoilujen ja pehmusteiden, seinä- ja kattopaneelien, väliseiniä, hyllyjen ja säilytyslokerojen ulkopintojen, on oltava itsestään sammuvia testattaessa pystysuoralla palokoemenetelmällä, FAR 25.853b. Kokeessa sytytyslähteenä on pieni kaasuliekki, jonka korkeus on 38 mm ja vaikutusaika 12 s.

Kun lentokoneen matkustuskapasiteetti on yli 20 matkustajaa, on isojen seinä- ja katto-paneelien sekä väliseinien täytettävä myös lämmönvapautumiseen ja savun optiseen tiheyteen liittyvät vaatimukset. Lämmönvapautuminen mitataan Ohio State Universityn (OSU) kehittämän menetelmän mukaan ja savut standardin ASTM F 814-83 mukaan.

Kokonaiselle istuimelle tehdään lisäksi testi voimakkaalla, isolla puhallusliekillä. Koeksessa mitataan tuolin massahäviötä.

11.5 Lelut

Ensimmäinen eurooppalainen direktiivi, jossa on myös paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia, on leلودirektiivi. Direktiivi otettiin asetuksena Suomen lainsäädäntöön vuonna 1990. Direktiivin vaatimustenmukaisuus paloturvallisuuden osalta voidaan osoittaa standardissa *SFS-EN 71-2 Lelujen turvallisuus, syttyvyys* esitetyillä palokoemenetelmillä ja niihin liittyvillä vaatimuksilla.

Standardissa SFS-EN 71-2 on esitetty koemenetelmät ja paloturvallisuusvaatimukset leikkiteltoille ja pehmoleluille sekä lasten käyttämille roolivaatteille, naamareille, peruukkeille, parroille sekä pehmoleluille.

Vaatimusten tarkoituksena on karsia lelut, jotka syttyvyysominaisuuksiensa vuoksi voisivat aiheuttaa vaaraa lapselle. Vaatimukset liittyvät syttymisherkkyyteen, jälkipalamisaikaan ja palamisnopeuteen, ja ne koskevat leluja “joiden sisällä tai lähellä” lapsi voi olla.

Leikkiteltat, roolivaatteet ja pehmolelut saavat palaa, mutta palamisnopeudelle on asetettu vaatimus. Päässä pidettävien lelujen, eli naamarien, peruukkien ja partojen, on oltava itsestään sammuvia.

PESUT: Roolivaatteet ja leikkiteltat pestään kerran hoito-ohjeen mukaan ennen kokeita. Jos hoito-ohjetta tai pesukieltoa ei ole, tehdään tuotteelle kolme vesihuuhtelua kuivauksineen ennen kokeita.

12. Paloturvallisuuden parantaminen ja optimointi

Paloturvallisuuden optimointi on tärkeää. Optimi paloturvallisuustaso ei tarkoita mahdollisimman korkeaa paloturvallisuustasoa, vaan riittävän hyvää paloturvallisuutta kyseessä olevan työn tai tilan kannalta.

Työntekijän suojaaminen tarpeettoman korkean paloturvallisuustason omaavalla vaateuksella lisää turhaan fyysistä kuormittavuutta ja voi aiheuttaa muita vaaratekijöitä.

Tilaan on turha valita vaikeasti syttyviä sisustusmateriaaleja, jos syttymisriski tilassa on olematon. Sisusteen paloturvallisuustason valintaan vaikuttaa myös se, missä sisuste on. Ikkunan yläreunassa olevan kappaverhon syttyminen on huomattavasti epätodennäköisempää kuin ikkunan alareunaan tai lattiaan asti ulottuvan verhon syttyminen.

Paloturvallisuustason optimointi on hyvä aloittaa riskien kartoituksella, riskianalyysillä. Suojavaatteita valittaessa on selvitettävä työpaikalla esiintyvät riskitekijät ja valittava suojaimet esiintyvien riskien mukaan. Riskianalyysit ovat suojainten standardoinnissa uusi asia, mutta ne ovat tulossa osaksi tuotestandardia. Vuonna 2001 lausunnoilla olevissa tuote- tai vaatimusstandardeissa, palopukua koskevassa (prEN 469) ja kuumen teollisuustyön vaatetusta koskevassa (prEN ISO 11612), on informatiivinen liite riskianalyysistä. PrEN 469:ssa oleva liite (*Annex A Risk assessment guidelines*) on tehty sitä varten perustetussa työryhmässä. Siinä otetaan huomioon riskin laatu (Origin and Type), todennäköisyys (Likelihood) ja vaarallisuus (Severity). Riskin laatu on jaettu kuuteen pääotsikkoon, joista yksi on tuleen ja kuumuuteen liittyvät vaarat (Thermal Hazards).

12.1 Sisustustekstiilit

Tulipalojen sytymissyitä tutkittaessa on sisustustekstiilien rooli ollut usein merkittävä. Sisusteet syttyvät herkemmin kuin seinä- ja lattiapinnat, ja sisusteiden välityksellä palo voi levitä nopeasti. Tilan paloturvallisuus paranee merkittävästi, kun valitaan paloturvallisia sisustustekstiilejä ja/tai minimoidaan sisustustekstiilien määrää.

Sisustustekstiilien paloturvallisuustaso on syytä valita sen mukaan, minkälaiseen tilaan sisuste tulee, eli sen mukaan, kuinka paljon tilassa on yhtä aikaa ihmisiä, minkä kuntoisia ihmisiä, yövytäänkö tilassa, kuinka nopeasti sieltä on mahdollista poistua tai onko tilassa automaattista sammutuslaitteistoa ja/tai jatkuvaa valvontaa.

Sisäasiainministeriö on antanut sisusteiden käyttösuosituksen, joka on ohjeellinen minimisuositus [48] ja koskee julkisia tiloja. Erityisesti on huomattava, että syttyvyysluokkaa SL 3 eli herkästi syttyviä sisusteita ei tulisi käyttää missään yleisötiloissa.

Sisustuksen paloturvallisuutta voidaan optimoida paitsi valitsemalla paloturvallisia, vaikeasti syttyviä tuotteita, myös vähentämällä sisustusta tai suunnittelemalla sisustus niin että sen syttyminen on epätodennäköistä.

Sisustustekstiilien paloturvallisuus riippuu ennen kaikkea siitä, miten helposti sisustustekstiili syttyy ja kuinka nopeasti syttynyt tekstiili palaa. Nämä sisustustekstiilien pal ominaisuudet vaikuttavat siihen, syttyykö tulipalo. Kun tulipalo on syttynyt, on merkitystä myös muilla tekstiilin palo-ominaisuuksilla eli sillä, kuinka paljon ja kuinka nopeasti tekstiilistä muodostuu lämpöä, savua ja myrkyllisiä kaasuja.

Sisustustekstiilien paloturvallisuustaso määritellään määräysten ja ohjeiden mukaisesti palokoemenetelmillä, joissa sytytyslähteet ovat pieniä – tulitikunliekkiä vastaava kaasuliekki tai kytevä savuke. Palokoemenetelmissä mitataan siis ainoastaan syttymisherkkyyttä. Sisusteen paloturvallisuuteen liittyy kuitenkin muitakin palo-ominaisuuksia kuin syttymisherkkyys. Syttymisen tapahduttua on merkitystä sillä, kuinka nopeasti sisuste palaa ja kuinka paljon vapautuu lämpöä, savua ja myrkyllisiä kaasuja. Toisaalta juuri sisusteen syttymisherkkyys määrää usein sen, syttyykö tulipalo. On kuitenkin hyvä ymmärtää, että *vaikeasti syttyväksi* luokiteltu sisustekin yleensä syttyy, kun siihen kohdistuu palokoemenetelmää ankarampi sytytyslähde.

Sisustuksen paloturvallisuuden optimointi on tärkeää käyttäjälle, mutta myös suunnittelijoille ja valmistajille. Suunnittelijat ja valmistajat tarvitsevat tietoa esim. siitä, läpäisekö tuote vaatimukset sellaisenaan vai pitääkö se palosuojata, kuinka paljon palosuoja-aineita tarvitaan, minkälaiset palosuoja-aineet ovat sopivia kyseessä olevalle tuotteelle ja kyseessä olevassa käytössä. Tilapäisissä näyttelyissä ja messuilla sisusteiden, koristeiden ja somisteiden palosuoja-aineiden pesunkeston tai ympäristövaikutuksiin ei tarvitse kiinnittää sellaista huomiota kuin esim. majoitustiloissa ja hoitolaitoksissa, joissa ollaan pitkiä aikoja, tai kun tekstiilejä pestään tai kun useimmat tekstiilit ovat ihokosketuksessa ihmiseen.

12.1.1 Pehmustetut istuinhuonekalut

Pehmustettujen istuinhuonekalujen suurin paloturvallisuusriski tilastojen mukaan on se, että tupakoitsija nukahtaa siihen kytevä savuke kädessään. Palokuolemista on melkein joka toisessa tapauksessa syttymissyynä huolimaton tupakointi, ja syttymisen kohde on pehmustettu istuinhuonekalu tai vuodevarusteet [55]. Uhri on näissä tapauksissa hyvin usein yksin elävä, humalainen mies.

Vaikka tilastot osoittavat, että pehmustettujen istuinhuonekalujen paloturvallisuusriski koskee lähinnä hyvin pientä ”erikoisryhmää”, on istuinhuonekalujen paloturvallisuus tärkeää useimmissa julkisissa tiloissa ja tiloissa, joissa on huonosti liikkuvia ihmisiä, kuten vanhuksia, sairaita, invalideja tai lapsia.

Savuke voi aiheuttaa pehmustetussa huonekalussa kytevän palon, joka edetessään pehmusteissa voi kehittää runsaasti palamiskykyisiä kaasuja, jotka leimahtavat lopulta liekkeihin. Liekki (esim. tulitikku) aiheuttaa huonekalussa liekehtivän palon, joka voi muuttua kyteväksi.

Pehmustettujen istuinhuonekalujen paloturvallisuutta parannetaan ennen kaikkea materiaalivalinnoilla. Myös pehmustetun istuinhuonekalun malli voi vaikuttaa syttymisherkyyteen. Istuinhuonekalu, jossa istuinosan lisäksi selkänoja tai käsinojat tai molemmat on pehmustettu, ja istuinosan pehmusteet yhtyvät selkä- ja tai käsinojan tai molempien pehmusteisiin, syttyy herkemmin kuin pehmustettu istuinhuonekalu, jossa tällaista yhtymäkohtaa ei ole. Varsinkin kytevä savuke sytyttää huonekalun helpommin, jos se joutuu istuinosan ja selkänojan pehmustettuun yhtymäkohtaan kuin jos se koskettaa vain istuinosan pehmusteita. Yhtymäkohdassa savukkeen lämpö siirtyy tehokkaammin pehmustemateriaaleihin, jolloin syttyminen on todennäköisempää.

Pehmustetun istuinhuonekalun paloturvallisuuteen vaikuttavat sekä päällinen että pehmustemateriaalit eli materiaaliyhdistelmä, josta huonekalu on valmistettu. Mutta jo pintakankaan oikealla valinnalla voidaan estää huonekalun syttyminen, varsinkin jos syttyslähde on pieni liekki tai savuke. Pintakankaan pitäisi silloin olla vaikeasti syttyvää materiaalia, esim. palosuojattua villaa, palosuojattua puuvillaa tai palosuojattua viskooisia, palosuojattua nahkaa, kloro-, polyklaali- tai modakryylikuuituja.

Huom! Palosuojatut selluloosakuidut, esim. puuvilla ja viskoosi, kestävät hyvin syttymättä liekkikosketusta, mutta syttyvät usein kytevään paloon savukkeen vaikutuksesta – varsinkin jos alla on kytemiseen taipuvaista pehmustemateriaalia kuten palosuojaamatonta polyuretaanivaahtomuovia tai puuvillavanua.

Palosuojattu polyesterikangas ei syty pienestä liekestä eikä savukkeesta, mutta se sulaa, jolloin pehmusteet voivat syttyä elleivät ole vaikeasti syttyviä laatuja. Palosuojatun polyesterin on siten oltava riittävän paksua, jos pehmusteet eivät ole palosuojattuja laatuja, jotta sulavan palosuojatun polyesterin alla olevat pehmusteet eivät ehtisi syttyä lyhyen liekkikosketuksen aikana (palokoemenetelmissä liekin vaikutusaika on 15 s tai 20 s).

Myös pehmusteiden ja välikerrosten raaka-aineilla, tiheydellä ja palosuojauksilla vaikutetaan huonekalun paloturvallisuuteen.

12.1.2 Vuodevarusteet

Vaikka tilastojen mukaan vuodevaatteiden sytyttäjä on useimmiten keski-ikäinen, yksin asuva, palavan savukkeen kanssa vuoteeseen nukahtanut humalainen mies, on vuoteen paloturvallisuus tärkeää ennen kaikkea sairaaloissa, palvelutaloissa, hoitolaitoksissa ja ylipäättänsä paikoissa, joissa asuu vaikeasti liikkuvia ihmisiä – etenkin jos he tupakoivat. Myös yksin asuvan tupakoivan vanhuksen vuoteen paloturvallisuuteen olisi hyvä kiinnittää huomiota.

Vuode on paloturvallisuuden suhteen ongelmallinen, koska se koostuu erilaisista tuotteista (patja, sijauspatja, peitto, tyyny, lakanat), jotka kaikki ovat yleensä helposti syttyviä niin savukkeen kuin pienen liekin vaikutuksesta.

Paloturvallisuuden kannalta turvallisin vuode on sellainen, jossa kaikki vuodetekstiilit ovat vaikeasti syttyviä eli eivät syty pienen liekin tai kyteväen savukkeen vaikutuksesta.

Patjan, sijauspatjan ja tyynyn verhoilukankaana voisi olla esim. palosuojattu puuvillakangas tai palosuojattu polyesterikangas ja pehmusteina palosuojattu polyesterivanu tai palosuojattu polyuretaanivaahdonmuovi tai molemmat.

Paloturvallinen peite on villasta, modakryylistä tai palosuojatusta polyesteristä valmistettu huopa. Täkki, jonka päällyskangas on palosuojattua polyesteriä tai palosuojattua puuvillaa ja täyte palosuojattua tai paloturvallista polyesterivanua, on myös paloturvallinen. Myös untuvatäyte on paloturvallista.

Ohuina tuotteina lakanat, niin puuvillaiset kuin puuvilla-polyesteristä valmistetut, sytyvät muutaman sekunnin liekkikosketuksesta. Paloturvallisia, vaikeasti syttyviä (SL 1) lakanoita valmistetaan palosuojatusta puuvillasta ja palosuojatusta polyesteristä.

Koska todennäköisin vuoteen sytyttäjä on kytevä savuke, voidaan vuoteen paloturvallisuuden vaikuttaa merkittävästi valitsemalla materiaaleja, jotka eivät syty niin helposti kytevään paloon savukkeen vaikutuksesta. Kytevä savuke sytyttää vain tiettyjä materiaaleja ja niistäkin useita vain suotuisissa oloissa. Sulavat ja lämpölähteistä pois päin vetäytyvät materiaalit (esim. polyesteri) eivät syty kytevään paloon.

Puuvillavanu- ja polyuretaanivaahdonmuovipehmusteilla, joita käytetään patjojen, sijauspatjojen, tyynyjen ja täkkien pehmusteina, on taipumus syttyä kytevään paloon savukkeen vaikutuksesta. Puuvillavanu syttyy kytevästä savukkeesta yksinäänkin, mutta polyuretaanivaahdonmuovissa käynnistyy kytevä palo vain, jos sen päällä on paksuhko (vähintään noin 300 g/m²) selluloosakuituinen päällysmateriaali, esim. puuvillakangas. Polyesterivanu selluloosakuituisen pintakankaan ja polyuretaanivaahdon välissä estää yleensä syttymisen savukkeesta.

12.1.3 Verhot

Paloturvallisten tai palosuojattujen verhokankaiden käyttö on yksi tapa parantaa paloturvallisuutta. Toinen tapa on käyttää verhoja, jotka eivät ulotu mahdollisten sytytysläheteiden vaikutuspiiriin.

Ikkunalasien väliin asennettu sälekaihdin on erittäin paloturvallinen ratkaisu, vaikka-kaan ei yksinään kovin viihtyisä. Ikkunan välittömään läheisyyteen vedettävä rullaverho on myös paloturvallisuuden kannalta hyvä ratkaisu. Kun varsinainen ikkunan pimennys hoidetaan sälekaihtimella tai rullaverholla, voidaan kodikkuutta ja viihtyisyyttä luova verho kiinnittää ikkunan sivuille niin, ettei sitä voi vetää ikkunan eteen, jolloin ikkunaudalla mahdollisesti oleva kynttilä ei voi sitä sytyttää.

Pystyn asennon ja ilmavuuden vuoksi palo voi levitä verhossa erittäin nopeasti. Akryylikuituiset ja ohuet selluloosakuituiset (puuvilla, viskoosi, pellava) verhot syttyvät parin sekunnin liekkikosketuksesta ja palavat lattiasta kattoon jopa puolessa minuutissa. Tällaiset verhokankaat luokituvat sisäasiainministeriön ohjeen [48] mukaan *herkästi syttyviin* (SL3).

Raskaammat ja tiiviit selluloosakuituiset verhokankaat vaativat syttyäkseen pidemmän liekkikosketuksen ja palavat hitaammin. Paloturvallisuus siis paranee syttymisherkkyyden osalta, kun valitaan verhoiksi ohuiden selluloosakuituisten kankaiden sijaan painavampia selluloosakuituisia kankaita. Tosin painavammista verhoista vapautuu palaessa enemmän lämpöä ja savua, ja ne voivat siten helpommin sytyttää verhojen lähellä olevan materiaalin – esim. maton, lattianpäällysteen tai huonekalun.

Pinta-alamassaltaan yli 150 g/m² painavat verhokankaat luokitellaan sisäasiainministeriön ohjeen mukaan pääasiallisesti *tavanomaisesti syttyviin* (SL2) palamisnopeuden perusteella. Palamisajan on tällöin oltava kokeessa yli 15 sekuntia 520 mm:n matkalla.

Polyamidi- ja polyesteriverhot sulavat ja palavia jäännöksiä voi pudota alas ja sytyttää esim. alla olevan maton. Ohuet polyamidi- ja polyesterikankaat voivat vetäytyä pois liekin vaikutuspiiristä syttymättä palamaan. Polyamidi- ja polyesterikankaat luokitellaan pääasiallisesti *tavanomaisesti syttyviin* (SL2), tai jos kankaasta tippuu palavaa ainesta kokeen aikana se luokitellaan *herkästi syttyväksi* (SL3).

Vaikeasti syttyviä verhokankaita (SL1) ovat esim. palosuojattu puuvilla (Proban, Pyrovatex), palosuojattu polyesteri (esim. Trevira CS), palosuojattu villa, modakryyli, palosuojattu viskoosi.

12.2 Materiaalit suojavaatteisiin

Työ- ja suojavaatteiden tulee olla mukavia, helppohoitoisia ja myös kivan näköisiä, mutta ennen kaikkea niiden on suojattava työntekijää riittävän hyvin häneen kohdistuvalla vaaralla aiheuttamatta turhaa lisäkuormitusta.

Paloturvallisuustaso valitaan työssä esiintyvien kuumuusriskien mukaan. Rakennuspaloa sammuttava palomies tarvitsee aivan erilaista suojavaatetta kuin esim. autokorjaimolla työskentelevä hitsaaja.

Tulelta ja kuumuudelta suojaava työvaate ei saa syttyä liekkikosketuksessa ja sillä on oltava riittävän hyvä lämmöneristyskyky, jottei ihon lämpötilä pääse nousemaan tasolle, jossa alkaa muodostua palovammoja.

Lämpö siirtyy vaatetuksen läpi ympäristöstä iholle kolmella eri lämmönsiirtymismekanismilla: lämpösäteilynä, konvektiolla eli kuljettumalla ja konduktiolla eli johtumalla.

Lähes kaikissa tilanteissa suurin osa suojavaatetukseen kohdistuvasta kuumuusrasituksesta on lämpösäteilyä. Liekehtivienkin palojen yhteydessä, esim. tulipaloissa, on säteilyn osuuden todettu olevan yli 80 % kokonaislämpövirrasta.

Lämpösäteily pääsee helposti huokoisen ja solumaisen rakenteen, kuten kankaan, läpi. Osa lämpösäteilyn lämpöenergiasta absorboituu kuitenkin kankaaseen ja etenee siinä johtumalla.

Johtumisessa eli konduktiossa lämpöenergia siirtyy kiinteässä aineessa tai kiinteästä aineesta toiseen kiinteään aineeseen niiden koskettaessa toisiaan. Konduktiokuumuudelta vaatetus suojaa sitä paremmin mitä huonommin se johtaa lämpöä.

Konvektiossa eli kuljettumisessa lämpöenergia siirtyy kuumina kaasuvirtauksina. Myös konvektiokuumus pääsee helposti huokoisen kankaan läpi.

12.2.1 Päälysmateriaalit

Kun vaatteen on suojattava tulelta, on ainakin päälysmateriaalien oltava vaikeasti syttyvistä kuiduista valmistettu.

Suojaavaatteita on yleensä pestävä eli niitä ei voi palosuojata aineilla, jotka eivät kestä pesuja tai käsittelyä on uusittava pesujen yhteydessä. Palosuojaviimeistyksen teho voi käytössä alentua myös kulumisen tai erilaisten ympäristövaikutusten vuoksi.

Vaatteet ovat useimmiten ihokosketuksessa. Senkään vuoksi kaikkien palosuojaviimeistysaineiden käyttö ole järkevää.

Tulelta ja kuumuudelta suojaavien vaatteiden päällysmateriaaleina on parasta käyttää joko paloturvallisista kuiduista tai pysyvästi paloturvalliseksi käsitellyistä kuiduista valmistettuja materiaaleja.

Lämpösäteilyltä suojaavat parhaiten heijastavat materiaalit, jolloin suurin osa lämpösäteilystä heijastuu pois. Tavallisesta – ei heijastavasta – suojavaatekankaasta heijastuu lämpösäteilystä vain pieni osa.

Tiivisrakenteinen päällysmateriaali vaikeuttaa lämpösäteilyn ja kuumien virtausten menoa kankaan läpi.

12.2.2 Alus- ja välikerrokset

Alempien kerrosten tehtävänä on toimia lämmöneristeinä. Kun vaatetukseen kohdistuva kuumuusrasitus ei ole kovin suuri (alle 8 kW/m^2), ei alus- ja välikerrosten kuitusisällöllä ole juuri merkitystä. Tämä johtuu siitä, ettei erilaisten tekstiilikuitujen lämmönjohtavuudessa ole suuria eroja niin kauan, kun materiaalin rakenne säilyy.

Koska kaikki tekstiilikuidut johtavat lämpöä huomattavasti paremmin kuin ilma, on suojavaatteen lämmöneristyskyvyllä oleellista alhaisilla kuumuusrasituksilla ilman määrä alus- ja välikerroksissa. Lämmöneristyskyky riippuu silloin lähinnä materiaalin rakenteesta eli pinta-alamassasta, paksuudesta ja tiheydestä.

Altistuessaan kovemmalle kuumuudelle kuidut kuitenkin käyttäytyvät eri tavoin ja silloin vaatetusmateriaalin kuitusisällöllä on merkitystä lämmöneristyskyvyllä. Kuitu voi syttyä, toiset kuidut sulaa ja toiset hiiltyä tai kuitu voi kutistua. Materiaalit, jotka eivät sula ja kutistu, vaan hiiltävät ja säilyttävät rakenteensa kuumuusrasituksessa mahdollisimman pitkään, eristävät hyvin. Sulavasta materiaalista muodostuva rakenne ei säily kuumuusrasituksessa ja eristyskyky laskee sulamisessa huomattavasti. Toisaalta sulaminen sitoo lämpöenergiaa.

Kuumuudelta suojaavissa asuissa käytetään eristävinä välivaatekerroksina paljon neuloksia. Neulottu kangas sisältää enemmän ilmaa kuin kudottu. Neuloksessa olevan ilman määrään eli käytännössä lämmöneristyskykyyn voidaan vaikuttaa muuttamalla lankojen läpimittaa ja rakennetta, neulostiheyttä ja neuloksen rakennetta. Erilaisilla neulosrakenteilla saadaan sopivia välikerrosratkaisuja eritasoisiin kuumuusrasituksiin. Interlock- ja resorisidoksisilla neuleilla saadaan paksuja, ilmavia ja kuohkeutensa säilyttäviä rakenteita. Sileäneulos ja vuorineulos ovat ohuempia neulosrakenteita ja hyviä silloin, kun suojaustason ei

tarvitse olla korkea. Neuloksen nukkaus parantaa sen lämmöneristyskykyä, mutta nukkaus menettää kuohkeuttaan käytössä.

VTT Rakennustekniikassa tehtiin 1995 Työsuojelurahaston rahoituksella tutkimus, jossa tutkittiin erilaisten neulosrakenteiden ja kuidun vaikutusta kuumuudelta suojauduttaessa. Neuloksia valmistettiin aramidista ja palosuojatusta viskoosista. Kun neulos oli välikerroksena tiiviin päällyskankaan alla, suojauskyky riippui lähinnä neuloksen tiheydestä ja paksuudesta. Mitä pienempi oli neuloksen tiheys, sitä parempi oli suojauskyky. Kun neulos oli ilman päällyskangasta, tärkein suojaavuuteen vaikuttava tekijä oli neuloksen pinta-alamassa. Neuloksen pinta-alamassan kasvaessa suojauskyky parani.

Vaikka lämmön siirtyminen vaatetuksen läpi on alhaisilla lämpösäteilytasoilla (alle 8 kW/m²) lähes riippumaton kankaan kuitusisällöstä, on kuitenkin kuituominaisuuksia, joilla on vaikutusta lämmöneristyskykyyn. Kiharista ja karkeista kuiduista tulee aina ilmavampia ja siksi eristävämpiä rakenteita kuin suorista ja sileistä kuiduista, jotka pakkautuvat tiiviimmin toisiaan vasten.

Palosuojaviimeistyksillä on vaikutusta materiaalin syttyvyyteen, mutta niillä ei ole todettu olevan vaikutusta lämmöneristävytyteen, kun on tutkittu palosuojattujen puuvilla- ja villakankaiden suojaavuutta matalilla lämpösäteilytasoilla, jolloin kankaisiin ei vielä tule näkyviä muutoksia [51].

Kun tarvitaan suojausta pitkäkestoista kuumuusrasitusta vastaan, vaatetuksen paksuus ja tiheys ovat tärkeimpiä tekijöitä. Paksusta kankaasta valmistettu suojavaate on kankea käyttää. Miellyttävämpi asu saadaan tekemällä puku useasta kerroksesta – myös suojauskyky paranee, sillä suojauskyky paranee kerroslukumäärän kasvaessa. Monikerroksisen vaatteen suojauskyky ei ole yksittäisten kerrosten suojauskyvyn summa, vaan enemmän, sillä kerrosten välissä on aina ilmaa.

Suojauduttaessa lyhytkestoista, voimakasta kuumuusrasitusta vastaan on oleellista, kuinka paljon lämpöä vaatetusmateriaalit pystyvät *sitomaan*. Vaatetusmateriaalin lämmönsitomiskyky riippuu ennen kaikkea massasta – mitä painavampi materiaali sitä enemmän se pystyy sitomaan lämpöä.

12.3 Kuluttajan vaatustekstiilit

Kuluttaja pitää vaatteidensa tärkeimpinä ominaisuuksina useimmiten ulkonäköä, mukavuutta ja helppohoitoisuutta. Mutta on tilanteita, joissa kuluttajavaatteiden paloturvallisuuteenkin on hyvä kiinnittää huomiota. Terve aikuinen saa harvoin kuolemaan johtavia palovammoja palavan vaatetuksen vuoksi, koska hän pystyy sammuttamaan palon tai

riisumaan palavan vaateen riittävän nopeasti. Lapset, vanhukset ja vammaiset kuuluvat riskiryhmiin, jotka eivät osaa tai kykene toimimaan riittävän nopeasti. Näiden ryhmien vaatetukseen voi olla jossain tilanteissa syytä kiinnittää huomiota.

Lähes kaikki tavalliset vaatetusmateriaalit syttyvät palamaan pienen liekin vaikutuksesta. Eroja on kuitenkin syttymisherkkyudessa ja varsinkin palamisnopeudessa.

VTT Rakennustekniikassa tehdyissä tutkimuksissa [59 ja 60] mitattiin vähittäismyyntiliikkeistä ostettujen vaatetusmateriaalien syttymisherkkyyttä ja palamisnopeutta. Tutkimuksissa oli mukana yhteensä 86 erilaisesta materiaalista tehtyä vaatetta. Kaikki materiaalit syttyivät pienen liekin vaikutuksesta. Suomen Standardisoimisliiton yleiskaavan TSL 23-05 mukaan luokiteltaessa suurin osa oli *tavanomaisesti syttyviä (SL 2)*. *Herkästi syttyviä (SL 3)* oli noin neljäsosa tutkituista. *Vaikeasti syttyviä (SL1)* ei ollut yhtään.

Ohuet selluloosakuituiset (esim. puuvilla, pellava, viskoosi) kankaat, samoin kuin nukkapintaiset selluloosakuituiset kankaat, voivat syttyä jo pienestä liekin hipaisusta. Nukkapintaisessa puuvillakankaassa saattaa pienikin kipinä aiheuttaa nopean, leimahtavan nukkapinnassa etenevän palon. Myös pohjamateriaali voi syttyä nukkapalon seurauksena, mutta pohjamateriaali ei pala nopeasti leimahtaen.

Paksut tiiviit selluloosakuituiset kankaat, esimerkiksi puuvillainen farmarikangas, tarvitsevat usean sekunnin liekkikosketuksen syttyäkseen.

Polyamidi- ja polyesterikankaiden syttymisherkkyyksissä ja palamisnopeuksissa on suuria eroja eivätkä palo-ominaisuudet ole samalla tavalla ennustettavissa painon tai rakenteen perusteella niin kuin selluloosakuituisilla kankailla. Paloturvallisuuden suhteen suurin ongelma näissä kuiduissa on sulaminen kuumuuden vaikutuksesta.

Silkkikangas voi syttyä helposti, mutta se palaa harvoin muutamaa sekuntia kauemmin eikä palo leviä pitkälle sytytyspisteestä.

Vaatteen mallilla voidaan myös vaikuttaa paloturvallisuuteen. Vartaloa myötäilevät mallit ovat paloturvallisempia koska ne eivät niin helposti osu esim. kynttilän liekkiin tai kuumaan sähköhellan levyyn. Vartalon myötäisissä vaatteissa palo ei myöskään etene yhtä nopeasti kuin väljässä mallissa.

Palosuoja-aineiden käyttö kuluttajavaatteissa ei ole ongelmatonta eikä ilmeisesti – onnettomuuksien valossa – myöskään tarpeellista. Vaatetusmateriaalien on kestävä pesua. Siksi vain pesuja kestävä palosuojaimeistykset tai paloturvalliset kuidut tulisivat kyseeseen.

Lähdeluettelo

1. Agreement about fire safety of night wears. The Hague, Holland, 1997, 5 March.
2. Anon. vfdb-Richtlinie 10/01: Bewertung von Schadstoffkonzentrationen im Feuerwehreinsatz. 1997, vol. 3, s. 99–112.
3. Anon. Brominated flame retardants. A global status report. [Lyhennelmä Joachim Haggströmin et al. tutkimuksesta.] Fire and Flammability Bulletin, 2001, Febr. s. 3–4.
4. Anon. Expert Group to Investigate Cot Death Theories: Toxic Gas Hypothesis. Department of Health. Ann. Chem. Brit. 1998, vol 34, nro 7, s. 8.
5. Anon. Flame retarding chemical ban. Fire International, 2001, March, s.7.
6. Asetus patjojen paloturvallisuusvaatimuksista. Nro 57/91, muutos: 1360/96.
7. Asetus pehmustettujen istuinhuonekalujen paloturvallisuudesta. Nro 743/90, muutos 479/96.
8. ASTM E 1354. Standard test method for heat and visible smoke release rates for materials and products using an oxygen consumption calorimeter. American Society for Testing and Materials, 1990.
9. ASTM E 662. Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials. American Society for Testing and Materials, 1983.
10. Babrauskas, V. The results of a major upholstered furniture fire study. NFPA Journal, 1996. Jan.–Febr., s. 84–88.
11. Bajaj, P. & Sengupta, A. K. Protective clothing. Textile Progress, vol. 22, nro 2/3/4. The Textile Institute, UK. 1992. ISBN 1 870812 44 1. 117 s.
12. CEN TC248 SC1 WG5 N9 r2. Feasibility study. Fire resistance of nightwear. Burning behaviour. 1999.
13. CEN/TC 248/SC 1/WG 5 N. 4. Report of CEN/TC 248/SC 1/WG 5/TG 2, A Study of the toxicology of flame retardants nightwear. 1999, Febr. 12 p.
14. Clarke, F. II & Ottoson, J. Fire death scenario and firesafety planning. Fire Journal, 1976, vol. 70, nro 3, s. 20–22 ja 117–118.
15. Consumer safety research. Clothing flammability accidents study. Consumer Safety Unit, Department of Trade and Industry, United Kingdom. 1997, March.

16. Drysdale, D. An introduction to fire dynamics. John Wiley [vai Wiley?]& Sons, 1985. s 272–273. ISBN 0 471 90613 1
17. Elomaa, M., Sarvaranta, L., Mikkola, E., Kallonen, R., Zitting, A., Zevenhoven. A. P. & Hupa, M. Combustion of polymeric materials. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 1997, vol. 27 nro 3, s. 137–197.
18. Fardell, P., Murrell, J. & Lunt, M. Chemical analysis of fire gases. *Chem. Br.*, 1987, 23, s. 226.
19. Flagan, R. C. & Seinfeld, J. H. *Fundamentals of air pollution engineering*. New Jersey: Prentice Hall, 1988. 542 s.
20. FTP Code. International code for application of fire test procedures. Annex 1, Part 2 Smoke and toxicity test. International Maritime Organization. 1998.
21. Green, J. An overview of the fire retardant chemicals industry, past-present-future. *Fire and Materials*, 1995, vol. 19, s. 197–204.
22. Gross, D, Loftus, J. & Robertson, A. ASTM STP 422. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1967.
23. Guidelines for fire properties of apparel textiles. KOVFS 1985:5, The National Swedish Board for Consumer Policies, 5.7.1985. 7 s.
24. Harju, J. Tulipalon uhri on useimmiten keski-ikäinen humalainen mies. *Helsingin Sanomat* 14.11.1998.
25. Heidari, S. & Kallonen, R. Hybrid fibers in fire protection. *Fire and Materials*, 1993, vol. 17, s. 21.
26. Holme, I. Flammability: the environment and the eco movement. In: *Flammability '93*. London, 1–2 Dec, 1993, 10 s.
27. Horrocks, A. Richard. Environmental consequences of using flame-retardant textiles. A simple life cycle analytical model. *Fire and Materials* 1997, vol. 21 s. 229–234.
28. Horrocks, A. Richard. Research and developments review of flame retardant textiles. *Flammability '93*. London, 1993.
29. Horrocks, A. R. *Reviews in progress in colouration*. 1986, vol. 16, s. 62.
30. ISO 13344 (E). Determination of the lethal toxic potency of fire effluents. International Organization for standardization, 1996. 12 s.

31. ISO 13943: (E/F). Fire safety. Vocabulary. International Organization for Standardization. 2000. 45 s.
32. ISO 1716. (SFS 4814) Building materials. Determination of calorimetric potential. 1973. 4 s.
33. ISO 4589-2. Plastics. Determination of burning behaviour by oxygen index. Part 2: Ambient-temperature test. 1996. 21 s.
34. ISO 5659 - 2. Plastics. Smoke generation. Part 2. Determination of optical density by a single-chamber test. International Organization for Standardization, 1990. 29 s.
35. ISO 5660. Fire tests. Reaction to Fire. Rate of heat release from products (Cone calorimeter method). International Organization for Standardization, 1993. 31 s.
36. ISO 9705. Fire tests. Full scale room test for surface products. International Organization for standardization, 1994. 31 s.
37. ISO/TR 9122-1 (E). Toxicity testing of fire effluents - Part 1: General. 1989. 18 s.
38. ISO/TR 9122-2 (E). Toxicity testing of fire effluents. Part 2: Guidelines for biological assays to determine the acute inhalation toxicity of fire effluents (basic principles, criteria and methodology). 1990. 11 s.
39. Järventaus, K. Sähkölaitteiden ja tekstiilien suojakemikaalit päätyvät äidinmaitoon. Helsingin Sanomat 29.8.1998.
40. Kallonen, R., von Wright, A., Tikkanen, L. & Kaustia, K. The toxicity of fire effluents from textiles and upholstery materials, *Journal of Fire Sciences*, 1985, vol 3, s. 145–159.
41. Lauren, P. Tuli polttaa. *Kuluttaja*, 1998, vol 32, nro 5, s. 4–5.
42. Mustonen, S. & Mäkinen, H. Sähkömiesten valokaaritapaturmat ja suojavaatetus. *Työ ja ihminen*, 2000, vol. 15, nro 1, s. 27–34.
43. National Toxicology Program Technical Report Series. Toxicology and carcinogenesis studies of tetrakis(hydroxymethyl)phosphonium sulphate (THPS) and tetrakis(hydroxymethyl)phosphonium chloride (THPC) in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage studies). Report 296. 1987.
44. National Toxicology Program Technical Report Series Toxicology and carcinogenesis studies of decabromo diphenyl oxide in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage studies). Report 309. 1986.

45. Nightwear and fire. A guide to nightwear (safety) regulations. Department of Trade and Industry (UK). 1997, Febr.
46. NT FIRE 047. Combustible products: Smoke gas concentrations, continuous FTIR analysis. Nordtest, 1993. 4 s.+ liitt. 8 s.
47. Ogle, R. A. Fire Technology, 1998, vol. 34, nro. 3, s. 247–265.
48. Ohje sisusteiden paloturvallisuudesta. Sisäasiainministeriön pelastusosaston julkaisu, Sarja A:56. 1998. ISBN 951-37-2516-2.
49. Pakkala, L. Pukinemateriaalien paloturvallisuus. Kokeita monikerrostekstiileillä. VTT Palotekniikan laboratorio, Tiedonanto 24,1980. 144 s.
50. Pakkala, L. Tekstiilien palosuojaus. Katsaus tilanteeseen vuonna 1973. Valtion teknillinen tutkimuskeskus,. Materiaali- ja prosessitekniikan tutkimusosasto, Julkaisu 2. Helsinki 1974. 64 s.
51. Perkins, R. M. Insulative values of single-layer fabrics for thermal protective clothing. Textile Research Journal, 1979,. vol.49, nro 4, s. 202–212.
52. Prager, F. H. & Cabos, H.-P. Fire-gas hazards in rail traffic, Fire and Materials, 1994, vol. 18, s. 131–149.
53. Rahikainen, J. & Keski-Rahkonen, O. Palokuoleman uhri Suomessa, osa 1. Palontorjuntatekniikka, 1998, nro 4, s. 10–13.
54. Rahikainen, J. & Keski-Rahkonen, O. Palokuolemat Suomessa 1988-97, osa 2. Palokuoleman olosuhteet. Palontorjuntatekniikka, 1999, nro 2, s. 10–12.
55. Rahikainen, J. & Keski-Rahkonen, O. Palokuolemat Suomessa 1988-97, osa 3. Asuinrakennuksissa suurin palokuoleman riski, Palontorjuntatekniikka, 1999, nro 4 s. 22–25.
56. Rakennustuotteiden palotekninen hyväksyntä. Ympäristöministeriön ympäristöopas 35, 1998.
57. Rappe, C. Polychlorinated dioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs). Occurrence, environmental levels and formation of thermal processes. University of Umeå, 1986. 35 s.
58. Regulations concerning prohibition of highly flammable textiles. Ministry of Children and Family Affairs. Norja. 1984. 29 s.

59. Ryytänen, T. Fire hazard of clothing fabrics. TemaNord 1999:603. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 1999. ISBN 92-893-0405-7. 48 s. + liitt.
60. Ryytänen, T. Vaatetuksen paloturvallisuus. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Monisteita 11/1998. 45 s + liitt.
61. Rämö, J. & Ylä-Sulkava, T. Sisusteiden paloturvallisuus. VTT Tiedotteita 1964. Espoo 1999. ISBN 951-38-5450-7. 30 s + liitt.2 s.
62. Sarvaranta, L. Fire retardant wood, polymer and textile materials. VTT Tiedotteita 1730. 1996. 38 s.
63. SFS 5464. Tekstiilit. Syttyminen ja liekin leviäminen. 1989. 4 s.
64. SFS-EN 1103. Tekstiilit ja tekstiilituotteet. Palo-ominaisuudet. Vaatetuskankaat. Eri-tyismenettely määrittäessä vaatetuskankaiden palo-ominaisuuksia. 1996.
65. SFS-EN ISO 6940. Tekstiilit. Palo-ominaisuudet. Syttymisherkkyuden määrittäminen pystysuorilla näytteillä. 1995
66. Simmons, R. F., Metcalfe, E. Chem. Brit. 1987, vol. 23, s. 230.
67. Smissaert, L. & van Hoeyland, P. The influence of flame retardants on the smoke emission of polyamide carpets, Journal of Fire Sciences, 1986, vol. 4, s. 192–203.
68. Sundquist, J. Tekstiiliraaka-aineet 2. Tekokuitujen valmistus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Opintomoniste 72. Tampere 1981. 311 s.
69. Sundström, B. CBUF, Fire safety of upholstered furniture. The final report on the CBUF research programme. Final report. European Commission Measurements and testing report EUR 16477 EN, 395 s.
70. Suokas, E. Puuvillakankaiden palosuojaus. Kirjallisuustutkimus Drno 387/401/93. VTT Kemiantekniikka, Polymeeri- ja kuitutekniikka. 12.1.1996. 28 s. + liitt.
71. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E 1. Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet 1997.
72. Tekstiilien palotekniset ominaisuudet, luokitus. Yleiskaava TSL-23-05. Vahvistettu 1985-03-07. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 1985.
73. Thies, J., Neupert, M. & Pump, W. Chemosphere 1990, vol 20, s.10–12.

74. Troitzsch, J. International plastics flammability handbook. Hanser Publishers, 1983. S. 441–443.
75. UIC Code 564-2 OR. Regulations relating to fire protection and fire-fighting measures in passenger-carrying railway vehicles or assimilated vehicles used on international services.
76. van Esch, J. Flame retardants: A general introduction. Environmental Health Criteria 192, World Health Organisation, 1997.
77. Vesikansa, S., Itämeren kaloissa yhä enemmän bromiyhdisteitä. Helsingin Sanomat 12.10.1999.
78. WHO. Brominated diphenyl ethers. Environmental Health Criteria 162, World Health Organisation, 1994.
79. WHO. Flame Retardants: A General Introduction, Environmental Health Criteria 192, IPCS, World Health Organisation, 1997.
80. Woolley, W. D. J. Macromol. Sci., Chem., 1982, A17 1.



Tekijä(t) Ryynänen, Tiia, Kallonen, Raija & Ahonen, Eino			
Nimeke Palosuojatut tekstiilit. Ominaisuudet ja käyttö			
Tiivistelmä Useimmat palosuojaamattomat tekstiilit syttyvät helposti, ja palo leviää niissä nopeasti. Tulelta ja kuumuudelta suojaavissa työvaatteissa on käytettävä paloturvallisia erikoiskuituja tai pysyvästi palosuojattuja materiaaleja. Myös sisusteiden paloturvallisuus on tärkeä, sillä tekstiilien osuus rakennuspalojen alkuvaiheessa on yleensä merkittävä. Paloturvallisuusvaatimusten ja yleisen turvallisuuden kasvaessa palosuojattujen tekstiilien käyttö on lisääntynyt. Niistä tarvitsevat tietoa niin suunnittelijat, hankintojen suorittajat, viranomaiset, maahantuojat, huoltapuolen ryhmät, käyttäjät kuin tekstiilituotteiden valmistajatkin. Tähän julkaisuun on koottu hyödynnettäväksi laajasti tietoa palosuojauksesta ja paloturvallisista tekstiileistä. Julkaisu jakaantuu useaan eri kokonaisuudeksi kirjoitettuun osaan. Siksi joitakin asioita on käsitelty useissa kappaleissa. Asiat esitetään mahdollisimman käytännönläheisesti, mutta osa aiheista on vaatinut teoreettista kirjoitustapaa, esim. savua ja myrkyllisyyttä sekä palosuojaja-aineita koskevat osuudet. Aluksi käsitellään tekstiilien osuutta tulipaloissa ja onnettomuuksissa. Selvitetään, miksi useat tekstiilit syttyvät helposti ja mistä johtuvat tekstiilien palamiserot sekä kerrotaan palosuojaamattomien ja palosuojattujen tekstiilien palo-ominaisuuksista. Omassa kappaleessa tarkastellaan palosuojaja-aineiden vaikutusta ihmiseen ja ympäristöön. Näiden aiheuttamiin ympäristöhaittoihin on alettu kiinnittää enenevästi huomiota. Palosuojaja-aineet voivat aiheuttaa ongelmia niin tuotteen valmistusvaiheessa kuin käytössä ja tuotteiden hävityksessäkin. Lisäksi on käsitelty palosuojattujen tekstiilien pesussa ja huollossa huomioitavia asioita, palosuojaja-aineiden vaikutusta tekstiilin muihin ominaisuuksiin ja muiden viimeistysaineiden vaikutusta palosuojaukseen. Huoneistopaloissa palokuolemat johtuvat pääosin savukaasumyrkytyksestä – eivätkä palovammojen synnystä. Palamistuotteiden syntyyn liittyviä tekijöitä ja palotestimenetelmiä, joilla tutkitaan savun muodostusta ja palamistuotteiden myrkyllisyyttä on selvitetty. Erityisesti tekstiilien savunmuodostusta ja myrkyllisyyttä on selvitetty. Lopuksi selostetaan tekstiilien paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia, ohjeita ja määräyksiä Suomessa sekä paloturvallisuuden parantamista ja optimointia.			
Avainsanat textiles, fabrics, clothing, fire protection, fire safety, flammability, flame retarding, smoke release, furnishing, fire resistance, upholstered furniture			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Palvelukeskus, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5923-1 (nid.) 951-38-5924-X (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinnumero	
Julkaisu-aika Marraskuu 2001	Kieli Suomi, engl. abstr.	Sivuja 101 s.	Hinta C
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t) Työsuojelurahasto, Palosuojelurahasto, Pesuteollisuusliitto ry, VTT	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 9 4561
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2116
VTT-TIED-2116

Author(s) Ryynänen, Tiia, Kallonen, Raija & Ahonen, Eino			
Title Flame-retarded textiles Their properties and use			
Abstract <p>Most textiles without a fire retardant treatment ignite easily and burn fast. Inherent flame resistant fibres or permanently flame retarded materials have to be used in protective clothing against heat and flame. Also the fire safety of furnishings is important as the role of textiles in ignition phase of building fires is usually significant.</p> <p>With more stringent fire requirements and safety in general, the use of flame-retarded textiles is growing. Designers, suppliers, authorities, importers, maintenance personnel, users and manufacturers need information on textile products.</p> <p>This publication includes a compilation of widely usable information on flame-retardant treatments and flame resistant textiles. The publication is divided into several entities each forming a self-contained section. Therefore some items have been discussed in several sections. The items are presented in as simple and practical form as possible but some of the subjects require a more theoretical writing style, for example the paragraphs dealing with flame retardant treatments, smoke and toxicity.</p> <p>First the role of textiles in fires and accidents is discussed. It is clarified why most of the textiles ignite easily and the reasons for the differences in the burning behaviour of textiles. The burning behaviour of textiles with and without flame-retardant treatment is described.</p> <p>The effects of flame-retardant treatments on human beings as well as the environment are examined in a separate paragraph. The consideration of the environmental hazards caused by flame-retardants is increasing. The flame-retardant treatments can cause problems at the production stage as well as in use and during disposal of the products. Further items, which are discussed, include matters, which have to be observed for washing procedures and in maintenance, and the effects of flame-retardants on other properties of the textile and also the effects of other finishing treatments on the flame-retardant treatment.</p> <p>In building fires the fire deaths are caused mainly by the toxic effects of combustion gases and not due to skin burns. Factors contributing to the formation of combustion products and the fire test methods for measuring the generation of smoke and the toxicity of combustion products are described. In particular the formation of smoke and toxicity of textiles have been analysed. Finally a description is given on the requirements, guidelines and regulations concerning fire safety of textiles in Finland and on the improvement and optimisation of fire safety.</p>			
Keywords textiles, fabrics, clothing, fire protection, fire safety, flammability, flame retarding, smoke release, furnishing, fire resistance, upholstered furniture			
Activity unit VTT Building and Transport, Service Centre, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5923-1 (soft back ed.) 951-38-5924-X (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number	
Date November 2001	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 101 p.	Price C
Name of project		Commissioned by The Finnish Work Environment Fund, Palosuojelurahasto, Pesuteollisuusliitto ry, VTT	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

VTT TIEDOTTEITA – MEDDELANDEN – RESEARCH NOTES

VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka – VTT BYGG OCH TRANSPORT – VTT BUILDING AND TRANSPORT

- 2072 Paiho, Satu, Leskinen, Mia & Mustakallio, Panu. Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen energiatietoisien käytön apuvälineenä. 2000. 63 s.
- 2075 Häkkänen, Helinä, Britschgi, Virpi & Kanner, Heikki. Nuorten aikomus hankkia ajokortti. 2000. 71 s. + liitt. 4 s.
- 2076 Leivo, Markku & Holt, Erika. Betonin kutistuma. 2001. 57 s.
- 2078 Ratvio, Juha. Ultralujan betonin käyttösovellukset. Esitutkimus. 2001. 45 s. + liitt. 13 s.
- 2079 Laukkanen, Kyösti & Unhola, Timo. Ajoharjoitteluratojen liukasaluetutkimus. Laboratorio- ja kenttäkokeet 2000. 2000. 58 s. + liitt. 8 s.
- 2082 Tiuri, Ulpu, Sarja, Asko & Laine, Juhani. Korjauskonsepti. Korjausrakentamisella asunto kaikkiin elämänvaiheisiin 2001. 45 s. + liitt. 130 s.
- 2083 Tarvainen, Veikko, Pietilä, Jukka & Serenius, Matti. Puun öljykuivaus, öljykylästäys ja värjäys. 2001. 65 s. + liitt. 9 s.
- 2084 Hietaniemi, Jukka, Mangs, Johan & Hakkarainen, Tuula. Burning of Electrical Household Appliances: An Experimental Study. 2001. 60 p. + app. 23 p.
- 2085 Valkiainen, Matti, Klobut, Krzysztof, Leppäniemi, Sami, Vanhanen, Juha & Varila, Reijo. PEM-polttokennoon perustuvat mikro-CHP-järjestelmät. Tilannekatsaus. 2001. 60 s.
- 2090 Koukkari, Heli, Petäkoski-Hult, Tuula, Rönkä, Kimmo, Regårdh, Elina, Lappalainen, Veijo, Eerikäinen Miia, Norvasuo, Markku & Koota, Jaana. Esteetön asuinkortteli. 2001. 112 s. + liitt. 68 s.
- 2091 Toratti, Tomi. Puurakenteiden seisminen suunnittelu. 2001. 57 s. + liitt. 16 s.
- 2093 Andstén, Tauno. Käsisammuttimien käyttö ruokaöljypalojen sammutuksessa. Kirjallisuustutkimus. 2001. 28 s.
- 2100 Pakanen, Jouko, Möttönen, Veli, Hyytinen, Mikko, Ruonansuu, Heikki & Törmäkangas, Kaija. Dynaamisten HTML-sivujen ja multimedian hyödyntäminen taloteknisten järjestelmien käytön, huollon ja vikadiagnostiikan opastamiseen. 2001. 20 s. + liitt. 10 s.
- 2101 Toratti, Tomi. Seismic design of timber structures. 2001. 53 p. + app. 16 p.
- 2102 Kolari, Sirpa & Luoma, Marianna. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaan asennusmenetelmän kehittäminen. 2001. 47 s.
- 2103 Koivu, Tapio, Mäntylä, Kaj, Loikkanen, Kaisu, Appel, Mikael & Pulakka, Sakari. Innovaatiotoiminnan kehittäminen kiinteistö- ja rakennuskluusterissa. Lähtökohtia ja kokeiluja. 2001. 81 s. + 19 s.
- 2104 Hostikka, Simo, Kokkala, Matti & Vaari, Jukka. Experimental Study of the Localized Room Fires. NFSC2 Test Series. 2001. 49 p. + app. 46 p.
- 2106 Anttila, Virpi & Luoma, Juha. Turvavöiden käyttökokeilu junissa. Käyttö ja matkustajien mielipiteet. 2001. 27 s. + liitt. 9 s.
- 2108 Vares, Sirje. Kerrostalon ympäristövaikutukset. LVIS-2001-tyyppikerrostalo. 2001. 49 s.
- 2109 Ranta-Maunus, Alpo, Fonselius, Mikael, Kurkela, Juha & Toratti, Tomi. Reliability analysis of timber structures. 2001. 102 p. + app. 3 p.
- 2110 Anttila, Virpi. Talvijalankulku, liukastumistapaturmat ja kelitiedottamisen kehittäminen. 2001. 51 s. + liitt. 11 s.
- 2112 Ala-Outinen, Tiina, Myllymäki, Jukka, Baroudi, Djebar & Oksanen, Tuuli. Ruostumaton teräs tulipalolle altistetuissa rakenteissa. 2001. 53 s. + liitt. 9 s.
- 2113 Sipilä, Kari, Kirjavainen, Miikka, Ritola, Jouko & Kivikoski, Harri. Liikenne- ja yleisten alueiden sulanapito-järjestelmät. Energiatalous ja tekninen toteutus. Kesäkeli-projekti. 2001. 75 s. + liitt. 15 s.
- 2116 Ryynänen, Tiia, Kallonen, Raija & Ahonen, Eino. Palosuojatut tekstiilit. Ominaisuudet ja käyttö. 2001. 101 s.

VTT TIEDOTTEITA – MEDDELANDEN – RESEARCH NOTES

VTT KEMIANTEKNIikka – VTT KEMITEKNIK – VTT CHEMICAL TECHNOLOGY

- 1928 Calsson, Torbjörn & Vuorinen, Ulla. The reliability of solubility data. Results from a limited literature survey focusing on Ni, Pd and Np. 1998. 39 p. + app. 21 p.
- 1951 Puustinen, Harri, Aunela-Tapola, Leena, Tolvanen, Merja, Vahlman, Tuula & Kovanen, Keijo. Determination of uncertainty of automated emission measuring systems under field conditions using a second method as a reference. 1999. 31 p. + app. 3 p.
- 1952 Mäkelä, Esa, Wahlström, Margareta, Pihlajaniemi, Miina, Mroueh, Ulla-Maija, Keppo, Martti & Rämö, Pia. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteiden ja lentotuhkien hyötykäyttö maarakentamisessa. Jatkotutkimus. 1999. 61 s. + liitt. 3 s.
- 1956 Katajajuuri, Juha-Matti & Loikkanen, Torsti. Elektroninen painoviestintä. Ympäristövaikutukset ja ympäristöhallinnan tarve. 1999. 53 s. + liitt. 4 s.
- 1962 Eskola, Paula, Mroueh, Ulla-Maija, Juvankoski, Markku & Ruotoistenmäki, Antti. Maarakentamisen elinkaariarviointi. 1999. 111 s. + liitt. 16 s.
- 1972 Virtanen, Yrjö, Torkkeli, Sirpa & Wilson, Bob. Evaluation of a Delphi technique based expert judgement method for LCA valuation – DELPHI II. 1999. 125 p. + app. 17 p.
- 1973 Rasilainen, Kari, Luukkonen, Ari, Niemi, Auli, Olin, Markus, & Pöllä, Jukka. The feasibility of modelling coupled processes in safety analysis of spent nuclear fuel disposal. 1999. 83 p. + app. 4 p.
- 1974 Mälkki, Helena, Hongisto, Mikko, Turkulainen, Tarja, Kuisma, Jaakko & Loikkanen, Torsti. Vihreän energian kriteerit ja elinkaariarviointi energiatuotteiden ympäristökilpailukyvyyn arvioinnissa. 1999. 117 s. + liitt. 24 s.
- 1995 Wahlström, Margareta, Eskola, Paula, Laine-Ylijoki, Jutta, Leino-Forsman, Hilka, Mäkelä, Esa, Olin, Markus & Juvankoski, Markku. Maarakentamisessa käytettävien teollisuuden sivutuotteiden riskinarviointi. 1999. 79 s. + liitt. 55 s.
- 2000 Kumpulainen, Heikki, Lehikoinen, Jarmo & Muurinen, Arto. Modelling of chemical evolution in the near-field of the spent nuclear fuel repository. A case study. 1999. 23 p.
- 2014 Laine-Ylijoki, Jutta, Mroueh, Ulla-Maija, Wellman, Kari & Mäkelä, Esa. Maarakentamisen elinkaariarviointi. Ympäristövaikutusten laskentaohjelma. 2000. 43 s. + liitt. 12 s.
- 2034 Katajajuuri, Juha-Matti, Loikkanen, Torsti, Pahkala, Katri, Uusi-Kämpä, Jaana, Voutilainen, Pasi, Kurppa, Sirpa, Laitinen, Pirkko, Mikkola, Hannu, Kivinen, Tapani & Salo, Seppo. Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatalojen laatu järjestelmää. Case: Rehuohran elinkaariarviointi. 2000. 134 s. + liitt. 4 s.
- 2055 Stén, Pekka, Olin, Markus & Lehikoinen, Jarmo. Surface complexation on iron oxides with reference to the oxide films formed on material surfaces in nuclear power plants. 2000. 70 p.
- 2062 Lehikoinen, Jarmo & Olin, Markus. Modelling the transport in the porous layer of oxide films formed on material surfaces in nuclear power plants. A BWR case study. 2000. 31 p. + app. 2 p.
- 2073 Harju, Tiina, Tolvanen, Merja, Wahlström, Margareta, Pihlajaniemi, Miina, Helenius, Jouko, Salokoski, Pia, Siltaloppi, Leena & Lehtovaara, Jaakko. Turvevoimalaitoksen raskasmetallitase ja tuhkan sijoituskelpoisuus. 2000. 67 s. + liitt. 2 s.
- 2085 Valkiainen, Matti, Klobut, Krzysztof, Leppäniemi, Sami, Vanhanen, Juha & Varila, Reijo. PEM-polttokennoon perustuvat mikro-CHP-järjestelmät. Tilannekatsaus. 2001. 60 s.
- 2086 Wahlström, Margareta, Laine-Ylijoki, Jutta, Walavaara, Marko & Vahanne, Pasi. Teollisuusjätteiden kaatopaikkakelpoisuus. 2001. 69 s. + liitt. 19 s.
- 2089 Räsänen, Jaakko, Siltanen, Torsti, Vahlman, Tuula, Pääkkönen, Jorma & Ojanen, Heimo. Jätevesiviemärin hajuhaittojen vähentäminen. 2001. 42 s. + liitt. 13 s.
- 2096 Rasilainen, Kari, Hölttä, Pirkko, Siitari-Kauppi, Marja, Suksi, Juhani, Lehikoinen, Jarmo, Valkiainen, Matti, Timonen, Jussi, Lindberg, Antero & Marcos, Nuria. Retardation mechanism studies for performance assessments. 2001. 84 p. + app. 4 p.
- 2116 Ryynänen, Tiia, Kallonen, Raija & Ahonen, Eino. Palosuojaatut tekstiilit. Ominaisuudet ja käyttö. 2001. 101 s.