



PELASTUSOPISTO



POLIISI
POLISIAMMATTIKORKEAKOULU

Komposiittimateriaalin haitat pelastustoimen tehtävillä

Mikko Hakkarainen

4/2022

Poliisiammattikorkeakoulun opinnäytetyö / AMK

ESIPUHE

Tämä työ on Poliisiammattikorkeakoulun Pelastusalan päällystötutkinnon (AMK) opinnäytetyö. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää komposiittimateriaaleista aiheutuvia vaaroja ja haittoja pelastustoimintaan osallistuvalla henkilöstöllä. Tämän opinnäytetyön myötä pelastuslaitokset saavat materiaalin, josta pelastuslaitos työnantajana voi selvittää pelastustoimintaan osallistuvan henkilöstön terveyshaitat ja -vaarat pelastustehtävillä. Näillä tiedoilla pelastushenkilöstön työturvallisuutta voidaan parantaa merkittävästi.

Tämän opinnäytetyön idea on alun perin syntynyt Finavia Oy:n pelastuspäällikkö Simo Ekmanin ja Pelastusopiston yliopettaja Matti Honkasen ajatusriihestä. Suuri kiitos heille ideasta sekä sen tuomisesta julki ja mahdollisuudesta tehdä aiheesta opinnäytetyö.

Haluan kiittää erityisesti opinnäytetyön ohjaavana opettajana toiminutta Miika Hännistä kannustavasta ja kokonaisvaltaisesta tuesta opinnäytetyöhön liittyvissä asioissa. Oli ilo käydä opinnäytetyöprosessi läpi ohjaavan opettajan kanssa, joka oikeasti syventyi asiaan ja halusi, että työ on laadukas ja valmistuu ajallaan. Lisäksi haluan kiittää vielä perhettäni sekä henkilöitä, jotka ovat opinnäytetyöni polkua kanssani kulkeneet.

Aihevalinta tuntui heti siitä kuultuani kiinnostavalta. Epäilin alkuun, olisiko aihe olemaan liian haastava. Epäily osoittautuikin osittain oikeaksi. Kuitenkin päämäärätietoisella työllä ja tuella asiat selkiytyivät ja koin opinnäytetyön tekemisen erittäin mielekkäänä ja opettavaisena kokemuksena.

1.4.2022

Mikko Hakkarainen

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Mikko Hakkarainen

Julkaisun nimi: Komposiittimateriaalin haitat pelastustoimen tehtävillä

Opinnäytetyön muoto: Tutkimuksellinen

Julkisuusaste: Julkinen

Ohjaaja: Miika Hänninen, vanhempi opettaja

Tutkinto: Pelastusalan päällystötutkinto (AMK)

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää, mistä komposiittimateriaali koostuu, missä komposiittimateriaalia on ja miten komposiittimateriaalilta tulisi suojautua pelastustoimen tehtävillä. Opinnäytetyö tehtiin kirjallisuuskatsauksena. Tietoa haettiin internetsivujen kautta ja kirjallisuuslähteistä.

Komposiittimateriaalia on käytetty vuosikymmeniä lentokoneiden valmistuksessa, ja komposiittimateriaali on yleistynyt päivittäisiin käyttötavaroihin valmistusmenetelmien kehittyessä. Komposiittimateriaali koostuu kahdesta tai useammasta toisistaan fyysisesti ja kemiallisesti poikkeavasta materiaalista, jotka eivät ole sulautuneet toisiinsa. Yleisimpiä komposiittimateriaaleja ovat polymeerimatriisikomposiitit, joissa lujitteena käytetään lasikuitua, hiilikuitua tai aramidikuitua.

Komposiittimateriaalin vahingoittuessa tai palaessa lujitekuidut rikkoutuvat ja vapautuvat ilmaan sekä ympäristöön. Kuidut eivät itsessään ole kovin haitallisia, mutta ilmaan tai ympäristöön joutuessaan voivat ärsyttää ihoa, silmiä tai hengitysteitä. Vaaraa aiheuttaa matriisiaineessa käytetty polymeeri. Polymeeristä voi imeytyä lujitekuituihin kemikaaleja, jotka voivat aiheuttaa syöpävaaraa.

Komposiittimateriaalin palaessa tulee pelastushenkilöstön suojautua komposiittimateriaalin pölyltä ja kuituhiukkasilta paineilmalaitteella ja sammutusasulla tai kemikaalisuojapuvulla. Palamisen päätyttyä tulee alueella työskentelevän henkilöstön suojautua kertakäyttöisellä kemikaalisuojahaalarilla, hengityssuojaimella, tiiviillä silmäsuojaimilla sekä nahkahansikoilla.

Sivumäärä: 47 sivua + liitteet 4

Tarkastuskuukausi ja vuosi: huhtikuu 2022

Avainsanat: komposiitti, onnettomuus, henkilökohtaiset suojarusteet, hiilikuitu

ABSTRACT

Author: Mikko Hakkarainen

Title of Project: Composite Material Hazards in a Rescue Operation

Type of thesis: Research

Confidentiality: Public

Academic Supervisor: Mr. Miika Hänninen, Senior Instructor

Degree Programme: Fire Officer's Degree (UAS)

The purpose of this final thesis was to clarify what the composite material has been made of, where it exists and what kind of personal protective equipment should be used in a rescue operation. The final thesis was done as a literature survey. The information was searched on the internet and literature.

Composite materials have been used in aviation industry for decades and they have become common in everyday products. The composite material has been made from two or from more physically and chemically different materials which have not mixed with each other. The most common composite material is a polymer matrix composite where carbon fiber, glass fiber or aramid fiber is used as reinforcement.

When the composite is damaged or burnt the fibers break down and are released in the air and environment. The fibers themselves are not very dangerous, but the chemicals from the matrix can be absorbed into the fibers and these chemicals are known to be carcinogens. The fiber and resin dust may cause irritation in the eyes and lungs and on skin.

When composite material burns, the rescue staff must use self-contained breathing apparatus and firefighting gear or a hazmat suit. When the burning has ended, the staff still working in the area must use disposable chemical overalls, half mask respirator, tight safety goggles and leather gloves.

Pages: 47 pages + appendix 4

Month and year: April 2022

Keywords: composite, accident, personal protection equipment, carbon fiber

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	4
2 TUTKIMUSMENETELMÄ.....	5
3 KOMPOSIITTIMATERIAALI	6
3.1 Matriisimuovit	7
3.2 Lujitemateriaalit.....	8
4 KOMPOSIITTIMATERIAALIN HAITAT JA VAARAT	11
4.1 Altistuminen	11
4.2 Lujitekuitujen haitat	15
4.3 Komposiittimateriaali tulipalossa	17
5 KOMPOSIITTIMATERIAALIT ONNETTOMUUSTYYPEITTÄIN	18
5.1 Liikenneonnettomuudet	18
5.2 Rakennuspalot ja sortumat.....	24
6 SUOJAUTUMINEN.....	26
6.1 Työturvallisuuslaki	26
6.2 Toimintamallit.....	27
6.2.1 Henkilökohtaiset suojarusteet.....	29
6.2.2 Suojarusteiden riisuminen.....	31
6.2.3 Altistuneiden ensihoito	32
7 YHTEENVETO.....	33
8 POHDINTA	36
8.1 Tutkimuksen luotettavuus.....	37
8.2 Oma oppiminen.....	37
8.3 Jatkotutkimukset	38
LÄHTEET	40
LIITE 1.....	44
LIITE 2.....	45
LIITE 3.....	46
LIITE 4.....	47

KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT

Alifaattinen	Orgaaninen yhdiste, jonka kemiallisessa rakenteessa ei ole bentseenirengasta ja joka sisältää ainoastaan hiiltä sekä vetyä (Peda).
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer, hiilikuitulujitteinenpolymeeri (Park & Choi 2017, 116).
C-lasi	Chemically resistant glass, happamiin olosuhteisiin käytettävä lasikuitu (Saarela ym. 2007).
E-lasi	Electrical glass, E-lasikuidulla on hyvä sähköinen, mekaaninen ja kemiallinen kestävyys (Saarela ym. 2007).
Epoksi	Kaksikomponenttinen aine. Kertamuovi, joka kovetetaan koveteaineella (Saarela ym. 2007).
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymeer, lasikuituvahvisteinenpolymeeri (Park & Choi 2017, 116).
Harts	Kemiallisen yhdisteen nestemäinen seos, yleensä kertamuoviin käytettävä puolivalmiste tai esipolymeeri (Saarela ym. 2007).
Henkilösuojain	Väline tai varuste, jota henkilö käyttää tai pitää ja joka suojaa yhdeltä tai useammalta terveys- tai turvallisuusriskiltä (Tukes).
Karsinogeeni	Syöpää aiheuttava aine (Duodecim).
Kemikaalisuojapuku	Puku, joka suojaa käyttäjänsä vaarallisilta aineilta (Tokeva).
Kertamuovi	Muovi, jota ei voi muokata enää valmistuksen jälkeen (Saarela ym. 2007).
Kestomuovi	Muovi, jota voidaan muokata uudelleen (Saarela ym. 2007).
Kimmoero	Kappaleeseen kohdistuvan jännityksen suhde sen aiheuttamaan suhteelliseen pituuden muutokseen (Suomisanakirja).
Kovete	Koveteaineella kuten ketoniperoksidilla tai diasyyliperoksidoilla, saadaan muovimassa kovettumaan haluttuun muotoon (Saarela ym. 2007).
Lujite	Komposiittirakennetta lujittava aine. Komposiittimateriaalissa esimerkiksi hiilikuitu (Saarela ym. 2007).

Matriisi	Komposiittituotteen kuituja yhteensitova materiaali. Esimerkiksi kertamuovi (Saarela ym. 2007).
Murtovenymä	Enimmäismäärä, jonka kappale venyy katkeamatta (Suomisanakirja).
Mutageenisuus	Aiheuttaa soluissa muutoksia ja vaurioittaa perimää (Duodecim).
Paineilmahengityslaite	Savusukelluksessa käytettävä turvapaineella varustettu hengityslaite. Täyttää EN136 ja EN 137 -standardit (Ala-Kokko. 2021, 32).
Polymeeri	Kemiallinen yhdiste, jonka molekyylit ovat sitoutuneet yhteen pitkissä, toistuvissa ketjuissa. Synonyymi muoville ja hartsille (Saarela ym. 2007).
Puristuslujuus	Tarkoittaa materiaalin lujuutta kestää puristusta (Suomisanakirja).
R-lasi	High strength glass, lentokoneeteollisuutta varten kehitetty lasikuitu, jolla on E-lasia parempi vetolujuus ja kimmokerroin sekä parempi lämmönkestävyys (Saarela ym. 2007).
S-lasi	High strenght glass, lentokoneeteollisuutta varten kehitetty lasikuitu, jolla on E-lasia parempi vetolujuus ja kimmokerroin sekä parempi lämmönkestävyys (Saarela ym. 2007).
Sammutusasu	Yleensä kaksiosainen asuste, takki ja housut, joka suojaa käyttäjäänsä tulelta ja savulta. CE- ja EN-tyyppi hyväksytty. Täyttää vaatimukset EN469:2005+ A1:2006. (Ala-Kokko. 2021, 25.)
Suoja-alue	Välittömän vaaran alueen ympärillä oleva alue, josta käsin pelastushenkilöstö suorittaa tehtävää ja pitää kalustoaan (Tokeva).
Synteettinen	Keinotekoinen, ihmisen valmistama materiaali (Suomisanakirja).
Taivutuslujuus	Kappaleen tai materiaalin kyky kestää taivutusta murtumatta (Suomisanakirja).
Tekstiililasikuitu	Kangasmainen lasikuitumatto tai -lanka. Käytetään myös nimitystä filamenttilasikuitu (Ramulu & Kramlich. 2004, 2).
Vetolujuus	Tarkoittaa lujuutta vetävää voimaa vastaan (Suomisanakirja).
Villalasilasikuitu	Isompia lasikuitu paloja, jota käytetään esimerkiksi eristeenä (Ramulu & Kramlich. 2004, 2).
Välittömän vaaran alue	Alue, jossa vaara on välitön ja uhkana vakava loukkaantuminen tai kuolema (Ala-Kokko. 2021, 10).

1 JOHDANTO

Komposiittimateriaaleja on käytetty rakennusmateriaalina jo vuosikymmenien ajan. Komposiittimateriaalien kehittyessä valmistushinta on laskenut. Näin ollen ne ovat viime vuosina yleistyneet, ja niiden käyttökohteet ovat merkittävästi lisääntyneet. Kuluttajat kohtaavat arkielämässä päivittäin tuotteita, joiden valmistuksessa on käytetty komposiittimateriaaleja.

Liikennevälineissä niitä alettiin ensin hyödyntää 1970-luvulla lentokoneissa. Sitten ne ovat vakiintuneet myös entistä enemmän niin auto-, vene- kuin rakennusteollisuuteenkin. Tutkimuksia komposiittimateriaalien terveyshaitoista ja vaaroista pelastustoiminnan kannalta katsottuna ei oikeastaan ole käytettävissä tai niitä on tehty hyvin vähän.

Pelastustoimen työturvallisuuden näkökulmasta on ensiarvoisen tärkeää saada tutkimustietoa komposiittimateriaalien mahdollisista terveydellisistä haitoista ja sitä myöten oikeanlaisesta suojautumisesta onnettomuustilanteessa. Tässä opinnäytetyössäni lähdän avaamaan tätä tutkimusaihetta. Mistä aineista komposiitti koostuu? Millaisia mahdollisia terveydellisiä haittavaikutuksia ne voivat pelastustoiminnan näkökulmasta aiheuttaa, ja miten niiden aiheuttamilta terveysvaaroilta pitäisi suojautua?

Komposiittimateriaalien valmistuksesta ja sen erilaisista käyttökohteista on tehty paljon tutkimuksia. Tässä tutkimuksessa keskityn käsittelemään polymeerimatriisikomposiitteja. Polymeerimatriisikomponentit ovat selvästi yleisimpiä käytettyjä komposiittimateriaaleja niiden helpon muokattavuuden ja keveyden vuoksi.

Opinnäytetyön kolmannessa luvussa, Komposiittimateriaali, lähdän ensin avaamaan sitä, mitä polymeerimatriisikomposiitit ovat, millaisia materiaaleja niiden valmistukseen käytetään ja millaisia ominaisuuksia niillä on. Neljäs luku, Komposiittimateriaalin haitat ja vaarat, käsittelee altistumista sekä yleisellä tasolla polymeerikomposiittien mahdollisesti aiheuttamia terveydellisiä haittoja ja vaaroja. Viidennessä luvussa, Komposiittimateriaalit onnettomuustyyppittäin, kerron tarkemmin, miten ja missä polymeerimatriisikomponentteja on hyödynnetty. Opinnäytetyön kuudennessa luvussa käsittelen pelastajan suojautumista, miten on hyvä suojautua ennaltaehkäistäkseen polymeerimatriisikomposiittien aiheuttamat terveysvaarat. Yhteenvetoluvussa kokoan tutkimuksessa nousseet asiat. Liitteisiin 1–4 olen tehnyt listat tarvittavista toimenpiteistä ja suojautumisesta muistin tueksi pelastustehtävälle. Pohdinnoissa kokoan ajatuksia opinnäytetyön teosta ja esittelen uusia jatkotutkimusaiheita, joita tutkimuksen aikana on nousset esille.

2 TUTKIMUSMENETELMÄ

Opinnäytetyö tehtiin kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsauksessa etsitään olemassa olevaa tietoa, ja tiedon keruu tehdään pääosin kirjoista, artikkeleista, lehdistä tai arkistomateriaaleista (Jamk). Opinnäytetyössä aineistoa lähdettiin selvittämään internetin kautta. Suurin osa opinnäytetyön lähteistä on www-dokumentteja. Internetistä kerätty aineisto koostuu tutkimuksista sekä komposiittia käsittelevien yritysten sivuilla kerrotuista asioista. Lisäksi tietoa kerättiin Suomen, Australian sekä Yhdysvaltain viranomaisten internetsivuilta. Opinnäytetyössä tietoa haettiin myös kirjallisuudesta. Lisäksi tiedonkeruuta varten otettiin sähköpostilla yhteyttä komposiittimateriaalia valmistaviin yrityksiin, komposiittimateriaalia valmistuksessa käyttäviin yrityksiin, työterveyslaitokseen, työhyvinvoinninlaitokseen, teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Australian ilmailuviranomaisiin, ja Suomen Puolustusvoimiin. Sähköpostiyhteydenottojen tarkoituksena oli koota olemassa olevaa tietoa komposiittimateriaalien haittoihin ja vaaroihin liittyen

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä valikoitui aihevalinnan mukaan. Opinnäytetyön aiheen luonteen takia sitä ei voinut tutkia ja selvittää kuin etsimällä tietoa komposiittimateriaalien valmistuksesta, käyttökohteista sekä terveysvaaroista. Nämä tiedot olivat kirjoitettuna hyvin erilaisiin lähdemateriaaleihin ja pieniin erillisiin osiin, joista täytyi lähteä tekemään yhtenäistä kokonaisuutta opinnäytetyötä varten. Opinnäytetyötä rajattiin siten, että siinä käsiteltiin polymeerimatriisikomposiittimateriaaleja. Polymeerimatriisikomposiitit ovat yleisimpiä käytössä olevia komposiittimateriaaleja, minkä takia metalli- ja keraamimatriisikomposiitit jätettiin tutkimuksesta pois ja tutkimuksesta ei tullut liian laaja. Lisäksi tutkimuksessa huomioitiin lasi-, hiili- ja aramidikuidut näiden käytön yleisyyden vuoksi.

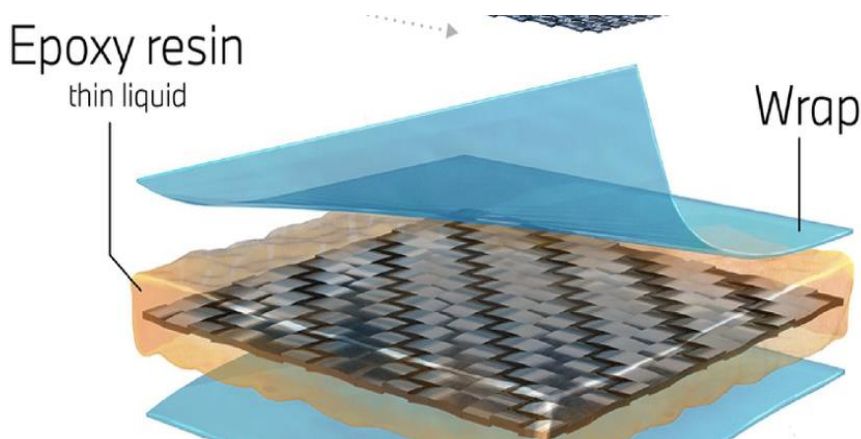
Onnettomuustyyppien kohdalla tutkimuksessa käsitellään eri liikennevälineonnettomuuksia, rakennuspaloja ja rakennusten sortumia. Vaarallisten aineiden onnettomuuksia ei käsitellä, koska kemikaalivuodoissa käytetään määrättäessä sammutusasua tai kaasutiiviitä kemikaalisuojapukuja sekä paineilmahengityslaitetta. Näin ollen suojautuminen on jo komposiittimateriaalien haittojen näkökulmasta kohdallaan. Ihmisenpelastustehtävät vedestä, maastosta, puristuksista, ylhäältä tai alhaalta, eläimenpelastustehtävillä, öljyvahingoissa ja ilmoitinlaitehälytyksillä komposiittimateriaalin haittojen kohtaaminen on hyvin epätodennäköistä.

3 KOMPOSIITTIMATERIAALI

Tässä luvussa käydään läpi komposiittimateriaalin määritelmä ja selvitetään yleisimmät käytössä olevat ainesosat. Kerron lyhyesti komposiittimateriaalissa käytettävistä ainesosista ja niiden ominaisuuksista. Materiaalien koostumuksen ja ominaisuuksien tunteminen on oleellista, jotta voidaan selvittää, onko niillä haittavaikutuksia.

Komposiittimateriaali on kahden tai useamman erilaisen materiaalin yhdistelmä. Kun fyysisiltä ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan kaksi erilaista materiaalia, lujite ja matriisi, yhdistetään siten, etteivät ne sekoitu toisiinsa (kuva 1), saadaan aikaiseksi materiaali, jota kutsutaan komposiitiksi. Aineiden toisiinsa sekoittumattomuudella tarkoitetaan sitä, että komposiittimateriaaliin käytetyt aineet eivät liukene toisiinsa. Materiaaliyhdistelmän kokonaisuudeksi sitovaa ainesosaa kutsutaan matriisiksi. Lujitteella tarkoitetaan eri kuitumateriaaleja. (Plastic; Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars & Komppa 2007.)

Komposiittimateriaalin mekaaniset ominaisuudet riippuvat matriisin ja lujitteen ominaisuuksista (Koricho, Belingardi, Tekaling, Roncato & Martorana 2014, 133). Komposiittimateriaalien matriisiaineena voidaan käyttää orgaanisia tai epäorgaanisia aineita kuten muovia, metalleja, keraameja, bitumia, lasia (Valmistajat). Komposiittimateriaalien matriisiaineena suositaan yleisesti muoveja johtuen materiaalien keveyden takia (Plastic; Saarela ym. 2007). Edistyneet komposiittimateriaalit koostuvat hyvin laajasta valikoimasta erilaisia hartseja, lujitemateriaaleja, kovetteita, apuaineita ja aromaattisia amideja (Edwards, Batten & Black. 2015, 1).



Kuva 1. Hiilikuitukomposiitin rakenne (BMW)

3.1 Matriisimuovit

Muovit eli polymeerit ovat suurimolekyylisiä, synteesireaktiossa syntyviä aineita. Muovit jaetaan kahteen pääryhmään niiden muovattavuusominaisuuksien perusteella. Kestomuovit, jotka ovat lämpömuovautuvia ja uudelleen muokattavissa, ovat näistä suurempi ryhmä. Kertamuovit, joita ei voi muovata enää uudelleen, edustavat pienempää pääryhmää. Kertamuovia käytetään yleisemmin muovikomposiiteissa matriisiaineena. Kertamuovista voidaan valmistaa monenlaisia tuotteita, koska kertamuovin työstäminen on helppoa. Lisäämällä matriisimuoviin lujitemateriaalia saadaan lujitemuovia, joka on rakenteellisesti paras muovikomposiitti. (Saarela ym. 2007.)

Epoksit, fenolit, polyuretaani, bismaleimidi, polyimidi, vinyyliesteri ja polyesterit ovat tunnetuimpia kertamuoveja (Saarela ym. 2007; OSHA). Kertamuovin perusraaka-aineena käytetään hartsia. Hartsiin voidaan sisällyttää pieniä määriä seos-, täyte- ja apuaineita. Apuaineet helpottavat muovituotteen valmistusta. Seos- ja täyteaineet vaikuttavat muovin ominaisuuksiin. Täyteaineita ovat esimerkiksi kalsiumkarbonaatti, magnesiumkarbonaatti, talkki, pioksidi, kaoliini, alumiinihydroksidi ja orgaaniset täyteaineet. Täyteaineilla parannetaan tuotteen pinnan laatua, kemiallisia ominaisuuksia, iskunkestävyyttä ja paloturvallisuutta. Taulukosta 1 nähdään yleisimpien kertamuovien ominaisuuksia. (Saarela ym. 2007.)

Taulukko 1. Kertamuovien ominaisuuksia (Saarela ym. 2007).

Kertamuovi	Vetolujuus (MPa)	Lämmönkestävyys (°C)	Palavuus	Kemiallinen kestävyys	Muottikutistuma
Polyesteri	50–70	120–180	Helposti palava	Hyvä	Korkea
Vinyyliesteri	50–70	120–180	Helposti palava	Erinomainen	Alhainen
Epoksi	50–70	120–180	Helposti palava	Hyvä	Alhainen
Fenoli	<50	180–300	Huonosti palava	Hyvä	Alhainen
Polyuretaani	>70	<120	Helposti palava	Erinomainen	Alhainen
Bismaleimidi	>70	180–300	Huonosti palava	Hyvä	Alhainen
Polyimidi	>70	180–300	Huonosti palava	Hyvä	Alhainen

Kertamuovin valmistuksessa käytetään erilaisia liuottimia ja kovetteita. Koveteaineella saadaan muovimassa kovettumaan. Polyesterihartsin kovettamiseen käytetään orgaanisia peroksiedeja, joita

ovat esimerkiksi ketoniperoksidi ja diasyyliperoksidit. Yleisimpiä käytettäviä liuotinaiteita ovat ketonit, alkoholit ja klooratut hiilivedyt. (Saarela ym. 2007; OSHA.)

3.2 Lujitemateriaalit

Komposiittimateriaalissa käytettäviä millin tuhannesosan paksuisia kuituja kutsutaan yleisesti lujitteiksi tai lujitekuiduiksi. Kuidut kootaan kierteettömiksi kuitukimpuiksi tai kierretyiksi langoiksi. Lujitteen tehtävä on kantaa komposiittimateriaaliin kohdistuva kuormitus. (Saarela ym. 2007.)

Lujitteen päälle pannaan pinnoiteainetta, joka muodostaa kemiallisen tartunnan lujitteen ja matriisin välille. Pinnoite pitää lujitekuidut yhdessä, pienentää kitkaa, estää vaurioitumista ja vähentää hankaussähkön muodostumista. Pinnoiteaineina käytetään epoksihartsia, polyvinyylisetaattikromikloridia, polyvinyylisetaattisilaania, polyesterisilaania tai epoksisilaania. Käytössä olevia lujitekuituja ovat lasikuitu, hiilikuitu, hiilinanoputki, aramidikuitu, boorikuitu ja luonnonkuidut. (Saarela ym. 2007.)

Taulukko 2. Lujitekuitujen mekaanisia ominaisuuksia (Saarela ym. 2007; Kevra; Admorcomposite).

Lujitekuitu	Vetolujuus (GPa)	Kimmokerroin (GPa)	Murtovenymä (%)	Lämmönkesto (°C)
Lasikuitu	3,1–4,6	70–86	3,5–4	300–500
Hiilikuitu	2,5–5	230–600	0,5–2,1	300–400
Aramidikuitu	3,4–3,6	120–160	1,9–4,6	400–500
Boorikuitu	3,6	400	ei tiedossa	500
Pellava	0,3–1,1	27,6	2,7–3,2	255–400
Puuvilla	0,3–0,8	5,5–12,6	7–8	255–400

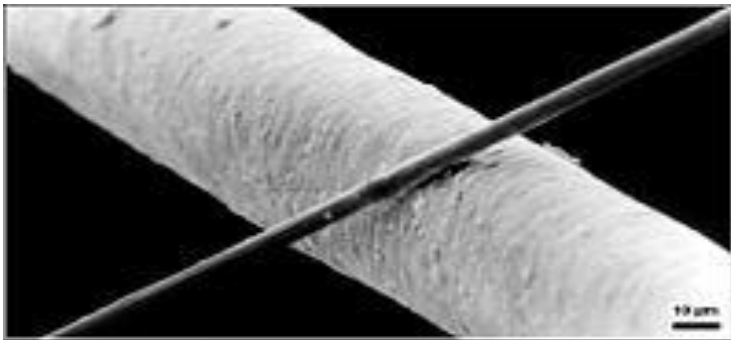
Lasikuitu on yleisimpiä ja halvimpia kuituja, joita käytetään kaikissa komposiittimateriaaleissa. Komposiiteissa käytetään yleensä tekstiililasikuitua, joka on koostumukseltaan kangasmaista. Villalaskuitu on isompia paloja sisältävää, ja sitä käytetään esimerkiksi lämmön eristykseen taloissa. Lähes kaikki komposiitissa käytetty lasikuitu on halkaisijaltaan suurempaa kuin 6 mikrometriä. (Ramulu & Kramlich 2004, 2; OSHA.)

Lasikuidun valmistukseen voidaan käyttää erilaisia lasityyppejä. Suurin osa nykyisin valmistetusta lasikuidusta on E-lasia (Electrical glass). E-lasilla on hyvä sähköinen, mekaaninen ja kemiallinen kestävyys. Lentokoneteollisuudessa käytetään S-lasia ja R-lasia (High strenght glass), koska niiden vetolujuus ja kimmokerroin sekä lämmön kestävyys on E-lasia parempi. Happamiin olosuhteisiin käytetään C-lasia (Chemically resistant glass). (Saarela ym. 2007.) Kimmokerroin

kertoo kappaleeseen kohdistuvan jännityksen suhteen sen aiheuttamaan suhteelliseen pituuden muutokseen. Vetolujuus tarkoittaa lujuutta vetävää voimaa vastaan. (Suomisanakirja.)

Hiilikuitu on kuitua, jonka hiilipitoisuus on 95–99 prosenttia. Hiilikuidulla on suuri vetolujuus ja korkea kimmokerroin (Taulukko 2). (Saarela ym. 2007.) Hiilikuitu tehdään joko öljyisestä tai polyakryylnitriilistä. Polyakryylnitriilistä valmistetusta hiilikuidusta käytetään lyhennettä PAN-kuitu. Käytännössä lähes kaikki tänä päivänä tehdyt hiilikuidut ovat polyakryylnitriilipohjaisia. (OSHA; Saarela ym. 2007.)

Yhden hiilikuitusäikeen halkaisija on tyypillisesti 6–8 mikrometriä (Saarela ym. 2007). Kuvassa 2 on verrattu hiilikuitusäiettä ihmisen hiukseen, ja siinä voidaan nähdä, että hiilikuitusäie on huomattavasti ohuempi kuin hius (NASA). Hiilikuidulla on hyvät mekaaniset ominaisuudet, ja siitä syystä sitä käytetään hyvin yleisesti lujitteena kehittyneissä komposiittimateriaaleissa. Hiilikuitu on vahvaa, sitkeää ja erityisesti kevyttä. (Ramulu & Kramlich 2004, 2; Saarela ym. 2007.)

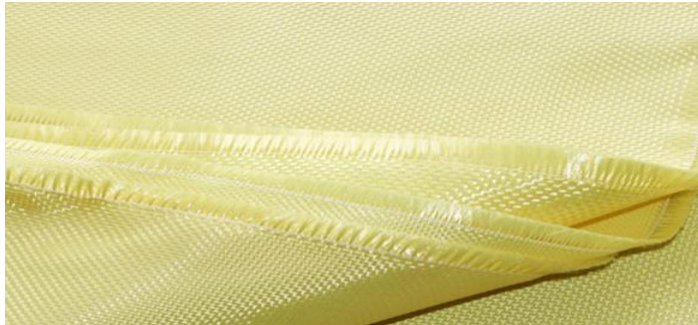


Kuva 2. Päällimmäisenä hiilikuitu kooltaan 6 mikrometriä verrattuna alempana olevaan ihmisen hiukseen (NASA).

Hiilinanoputket tehdään yleensä grafiittiarkeista, jotka eivät ole yhtä nanometriä paksumpia. Arkeista tehdään sylinterin muotoisia putkia, jotka voivat olla satoja tai tuhansia nanometrejä pitkiä. Grafiittiarkeista voidaan pyörittää joko yksi- tai useampiseinäisiä nanoputkia. Useampiseinäinen nanoputki pitää muotonsa paremmin kuin yksiseinäinen nanoputki. Käyttämällä hiilinanoputkea lujitteena saadaan komposiittimateriaalista erittäin kevyttä ja vahvaa. Hiilinanoputki johtaa hyvin sähköä, ja on huomattu, että se voi myös lähettää valoa. (Greenemeier 2008.)

Aramidikuitu on yleisnimi aromaattiselle polyamidikuidulle. Aramidikuidulla on muihin kuituihin verrattuna huomattavasti suurempi vetolujuus, kimmokerroin ja merkittävästi pienempi murtovenymä (Taulukko 2). (Saarela ym. 2007.) Murtovenymä on enimmäismäärä, jonka kappale venyy katkeamatta (Suomisanakirja). Aramidikuidut ovat luontaisesti palamattomia ja kestävät

korkeita lämpötiloja. Valon ultraviolettisäteily heikentää aramidikuitua. Aramidikuidut ovat pitkäketjuisia synteettisiä polyamideja, jotka valmistetaan polyparafenyleenitereftaalamidista kehräämällä. Aramidikuitu on väriltään keltaista (Kuva 3.), ja sen halkaisija on noin 12 mikrometriä. Tunnetuimpia aramidikuituvalmisteita myydään valmistimenimellä Kevlar ja Twaron. (Ramulu & Kramlich 2004, 2; Saarela ym. 2007.)



Kuva 3. Aramidikuitu on väriltään keltaista (Doshine).

Boorikuidun lähtöaineena on booritrikloridi. Boorikuitua valmistetaan pinnoittamalla volframikuitua boorilla kemiallisesti höyrystyspäälystämällä 1350 celsiusasteen lämpötilassa. Boorikuitu on halkaisijaltaan 12,5 mikrometriä. Boorikuidun etuna on erinomainen veto-, taivutus- ja puristuslujuus sekä kimmokerroin. (Saarela ym. 2007.) Taivutuslujuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä kestää taivutusta murtumatta. Puristuslujuus tarkoittaa materiaalin lujuutta kestää puristusta. (Suomisanakirja.) Yleisimmin boorikuituja käytetään sotilaslentokoneissa ja avaruusteollisuudessa. Boorikuidun käyttö on vähäistä korkeiden valmistuskustannusten vuoksi. (Saarela ym. 2007.)

Komposiittimateriaaleissa luonnonkuitujen käyttö on lisääntynyt luontoystävällisyyden takia. Luonnonkuituja ovat sellaiset kuidut, jotka eivät ole synteettisiä tai ihmisen tekemiä. Luonnonkuiduilla on havaittu olevan vastaavanlaisia ominaisuuksia synteettisten kuitujen kanssa. Luonnonkuitujen ominaisuuksia ovat esimerkiksi keveys, suhteellisen hyvät mekaaniset ominaisuudet kuten vetolujuus ja taivutusominaisuudet. Lisäksi luonnonkuitujen aiheuttamat terveyshaitat ovat vähäiset. Luonnonkuidut ovat halvempia käyttää kuin synteettiset kuidut. Käytössä olevia luonnonkuituja ovat esimerkiksi juutti, pellava, puuvilla, bambu, sisal, hamppu, kookoskuitu ja sokeriruoko. (Hindawi; Saarela ym. 2007; Hallal, Elmarakbi, Shaito & El-Hage 2014, 17.)

4 KOMPOSIITTIMATERIAALIN HAITAT JA VAARAT

Tässä luvussa kerrotaan altistumisesta sekä avataan tarkemmin komposiittimateriaalin ja siinä käytettävien lujitteiden haittavaikutuksia. Mahdollisten haittavaikutusten oikeanlainen tunnistaminen ja tieto siitä, miten altistuminen niille voi tapahtua, auttaa oikeanlaisten suojarusteiden valitsemisessa. Komposiittimateriaalin vaarallisuus riippuu valmistuksessa käytettyjen aineiden luontaisesta myrkyllisyydestä ja altistumishetkellä tapahtuneen altistuksen määrästä. Erilaiset aineet voivat voimistaa toistensa vaikutuksia, ja tämä vaikuttaa erilaisten komposiittimateriaalien vaarallisuuteen. (Saarela ym. 2007.) Erityisesti hiilikuidun ja lasikuidun pinnoittamiseen käytettävät aineet epoksihartsit, polyvinyyliasetaattikromikloridi, polyvinyyliasetaattisilaani, polyesterisilaani ja epoksisilaani voivat aiheuttaa ärsytystä tai herkistymistä (NASA).

Työturvallisuuden kannalta muita merkittäviä terveydellisiä vaikutuksia ovat vaarallisen aineen karsinogeenisuus ja mutageenisuus (Saarela ym. 2007). Karsinogeenisuudella tarkoitetaan aineen syöpää aiheuttavaa vaaraa. Mutageenisuudella tarkoitetaan, että aine voi aiheuttaa soluissa muutoksia ja vaikuttaa perimään. (Duodecim.) Myrkyllisyyden lisäksi aineen ominaisuuksia voivat olla myös hapettavuus, syttyvyys, reaktiivisuus sekä palo- ja räjähdysominaisuudet (Saarela ym. 2007).

4.1 Altistuminen

Terveyteen vaikuttavat altistukset voivat olla äkillisiä tai pitkäkestoisia. Lisäksi altistumisesta voi ilmetä paikallisia vaikutuksia. Äkillisessä altistuksessa vaikutukset ilmenevät välittömästi tai lyhyen ajan sisällä. Äkillisen altistuksen tyypillisimpiä vaikutuksia ovat päänsärky, huonovointisuus, elimistön toiminnan häiriöt sekä tajunnanmenetykset, jotka voi johtaa kuolemaan. (Saarela ym. 2007.)

Pitkäkestoinen altistuminen tapahtuu pitkän aikaa tai toistuvasta altistumisesta kemiallisille aineille. Pitkäkestoisen altistumisen vaikutukset näkyvät hitaasti, jopa vuosien kuluttua. Pitkäkestoisen altistuksen vaikutuksia ovat yleensä herkistyminen, hermosto- ja elinvauriot sekä erilaiset sairaudet. Paikalliset vaikutukset ilmenevät vaikutuskohdassa kuten silmissä, ihossa tai limakalvoissa ärsytyksenä. (Saarela ym. 2007.)

Karppinen (2021, 22) tutki opinnäytetyössään pelastajien ammattitauteja ja altistumista. Ammattitaukeista nousi esiin asbestiplakki, asbestoosi, mesoteliooma ja infektiotaudit. Joissain tutkimuksissa on havaittu, että komposiittimateriaaleista hiilinanotuubikuidut käyttäytyvät asbestikuitujen tavoin aiheuttaen asbestoosia (Greenemeier). Mesoteliooma on keuhkopussin tai vatsakalvon pahanlaatuinen kasvain. Mesoteliooma voi syntyä vähäisestäkin altistumisesta

asbestille tai asbestin kaltaiselle pölylle ja kehittymiseen kuuluu kymmeniä vuosia (Työterveyslaitos, Hengitysliitto, 13).

Asbestiplakki tarkoittaa keuhkopussin paksuuntumista, joka voi syntyä jo hyvin pienestä altistumisesta ja kehittyä kymmenien vuosien aikana. Plakkitaudilla ei ole todettu olevan vaikutusta keuhkojen toimintaan. Asbestoosi on pölykeuhkosairaus, joka kehittyy vuosien tai vuosikymmenien voimakkaan altistumisen myötä. Asbestoosissa keuhkokudokseen alkaa muodostua sidekudosta, joka tuhoaa normaalin keuhkokudoksen ja aiheuttaa pahenevaa hengenahdistusta. (Hengitysliitto, 12.)

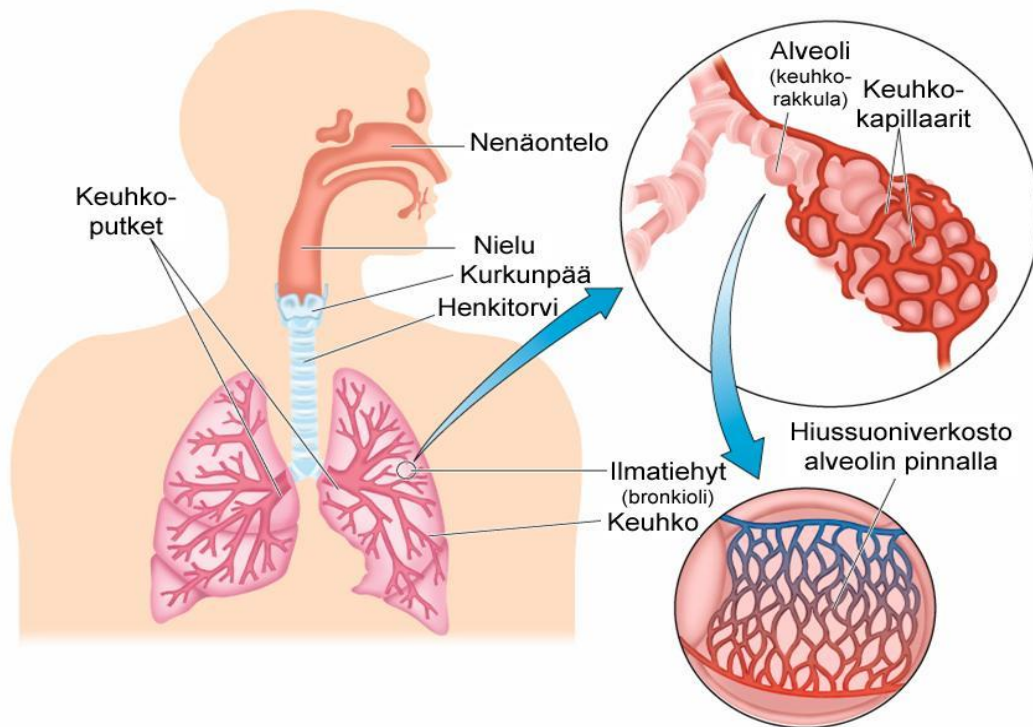
Karppisen (2021, 22) mukaan pelastajilla on löydetty yhteyksiä sairastua syöpään, joka huomataan vasta eläkeiässä. Tulipaloissa vapautuvien karsinogeenien tiedetään kulkeutuvan hengitysteihin ja aiheuttavan syöpävaaraa. Uusimmissa tutkimuksissa on todettu ihon olevan useiden syöpien altistumisreittinä. Erityisesti altistumiset tapahtuvat ihon kautta kasvojen, niskan ja kurkun alueelta. Komposiittimateriaalin palaessa vapautuu myrkyllisiä savukaasuja sekä pöly ja kuituhiukkasia, jotka voivat kulkeutua iholle ja aiheuttaa syöpävaaraa (Edwards ym. 2015, 2; Mouritz 2006, 24).

Hengitystiet

Rikkoutuneesta komposiittimateriaalista irronneet, ilmassa leijailevat kuituhiukkaset ovat merkittävimpiä vaaratekijöitä, koska ne voivat kulkeutua hengitysteihin, iholle ja silmiin. Kuituhiukkasten pituudella ja halkaisijalla on suuri merkitys altistumisriskin vaaraa arvioidessa. Kuituhiukkasten halkaisija määrittelee pitkälti, minne asti se kulkeutuu hengitysteissä. Kuituhiukkasten pituus vaikuttaa siihen, kuinka hyvin keuhkojen puolustusmekanismi kykenee selviytymään altistumisesta. Koska kuituhiukkasten pituus, halkaisija ja tiheys vaikuttavat sen paikkaan hengitysteissä, on tärkeää määritellä kuidun aerodynaaminen ekvivalenttihalkaisija. (Ramulu & Kramlich 2004, 5.) Aerodynaaminen ekvivalenttihalkaisija on pallomuotoisen hiukkasen halkaisija, jonka tiheys on noin 1 g/cm^3 (Työterveyslaitos).

Ramulun ja Kramlichin (2004, 5) tutkimuksessa kerrotaan, että isommat kuin 10 mikrometriä aerodynaamisen halkaisijan omaavat hiukkaset eivät ole hengitettävissä. Kaikki 10 mikrometriä ja suuremman kokoluokan kuituhiukkaset jäävät hengitysteiden rakenteissa nenäonteloon. Aerodynaamiselta halkaisijaltaan 5–10 mikrometriä olevat kuituhiukkaset jäävät nenänielun alueelle. Noin 40 % kokoluokaltaan 2–5 mikrometrin kuituhiukkaset jäävät henkitorven ja keuhkoputkien alueelle. Alle 2 mikrometrin halkaisijan kuituhiukkasilla sen sijaan on suuri mahdollisuus päätyä alveoleihin asti ja aiheuttaa keuhkovaurioita.

Työterveyslaitoksen ohjeistuksen mukaan kaikki 30 mikrometriä suuremmat kuituhiukkaset päätyvät ylähengitysteihin nenän ja nielun alueelle. Henkitorven ja keuhkoputkien alueelle jäävät suurimmat kuituhiukkaset. Alle 4 mikrometrin kokoiset kuituhiukkaset kulkeutuvat alveoleihin asti. Kuvasta 4 nähdään hengityselimien rakenne (Keskinen). Hengittävän epäorgaanisen pölyn HTP-arvo on Suomessa 10 mg/m³. Alveolijakeiselle pölylle on ehdotettu arvoksi 0,5 mg/m³. HTP-arvolla tarkoitetaan haitallista tunnettua pitoisuutta. (Työterveyslaitos.)



Kuva 4. Hengityselimien rakenne (Keskinen).

Pelastajien tai pelastettavien hengittämät pölyt ärsyttävät ylähengitysteitä ja voivat aiheuttaa keuhkoputkentulehdusta, muita keuhkosairauksia tai jopa keuhkopöhön. Keuhkojen värekarvat poistavat suurimman osan keuhkoihin joutuneista hiukkasista. Pienimmät kuituhiukkaset voivat kuitenkin tarttua keuhkokudokseen, jolloin alkaa muodostua sidekudosta. Sidekudos tuhoaa normaalin keuhkokudoksen, joka aiheuttaa hengityksen heikkenemisen ja ajan kuluessa kuoleman. (VirtualVTT.)

Komposiittimateriaalin haitat ja vaarat tulevat esille, kun komposiittimateriaali rikkoutuu. Matriisin rikkoutuessa vapautuu pölyä ja lujitekuidut tulevat esille. Lujitekuidun rikkoutuessa irtoaa ilmaan sekä ympäristöön pieniä teräviä kuituhiukkasia. Komposiittimateriaalin syttyessä palamaan matriisiaine palaa pois. Tällöin muodostuu palavista muoviosista myrkyllisiä savukaasuja ja ilmaan pääsee vapautumaan komposiittikuituhiukkasia. (Edwards ym. 2015, 2.)

Komposiittimateriaalin leikkaaminen ja sahaaminen aiheuttavat huomattavan paljon pölyä ja pieniä kuituhiukkasia (OSHA). Tehdasolosuhteissa tehdyissä hengitettävän hiukkaspölyn mittauksissa sähkötyökaluilla työstetystä komposiitista irronnutta hiukkaspölyn määrää tutkittiin. Tutkimuksessa todettiin, että leikkaustoiminnassa pölypitoisuudet ovat korkeammat kuin poratessa. Lyhyen aikavälin pölyaltistus oli noin 1,71 mg/m³. (Ramulu & Kramlich 2004, 5.) Pöly, kuituhiukkaset ja myrkylliset savukaasut kulkeutuvat hengitysteihin, jos onnettomuuspaikalla ei käytetä hengityssuojaimia.

Ihoaltistus

Komposiittipölyn ihoaltistumisen myötä henkilölle voi kehittyä allerginen kosketushottuma. Yhden kerran tapahtunut herkistyminen aineelle jää yleensä pysyväksi, ja tällöin kaikenlainen kosketus herkistymistä aiheuttaneelle aineelle aiheuttaa allergista kosketushottumaa. Ihoa ärsyttävät pöly- ja kuituhiukkaset voivat aiheuttaa ihon tulehtumisen ja vakavimmillaan dermatiitiksi kutsutun sairauden. Dermatiitin oireet ja vakavuus vaihtelevat. Oireet alkavat altistuneen ihoalueen ärsytyksellä ja punaisuudella. (Euroopan komissio.)

Komposiittipölylle altistuneelle voi kehittyä ärsytysihottuma, joka voi ilmetä pian ihon jouduttua kosketuksiin voimakkaasti ärsyttävän aineen kanssa. Heikommin ärsyttävän aineen vaikutukset voivat ilmestyä pitkän ajan kuluessa, kun aineen kanssa on jouduttu kosketuksiin toistuvasti. (Euroopan komissio.) Iho on ihmisen suurimpia elimiä ja imukykyinen. Hikoilu ja ihon lämpeneminen lisää myrkyllisten kemikaalien imeytymistä kehoon. Kemikaalit voivat aiheuttaa myrkytyksen tai syöpävaaraa. (Karppinen 2021, 22.)

Vahingoittuneesta komposiittimateriaalista ei aina näy päällepäin sen vaurioituminen. Tämä on tärkeä huomioida lähestyttäessä onnettomuutta, jossa on mukana komposiittimateriaalia. Käsitellessään rikkoutunutta komposiittimateriaalia ilman suojarusteita pelastushenkilöstö altistuu komposiittipölylle ja kuituhiukkasille ihon kautta. Terävät pinnat ja lujitekuitupiikit aiheuttavat haavoja suojaamattomaan ihoon. Haavojen kautta komposiittimateriaalissa olevat kemikaalit pääsevät elimistöön ja voivat aiheuttaa erilaisia myrkytys oireita.

Silmät

Silmän pinnan läpinäkyvälle osalle, sarveiskalvolle, joutunutta vieras esinettä kutsutaan sarveiskalvorikaksi. Vierasesine voi joutua myös sidekalvolle. Sidekalvo myötäilee silmäluomea ja peittää silmämunan valkoista aluetta. Silmään joutunut vierasesine yleensä aiheuttaa roskan

tunnetta silmässä, silmän kipua, valonarkuutta sekä vetisyyttä. Punoitus ja silmäluomien turpoaminen aiheutuvat ärsytyksestä. Mikäli vierasesine on keskeisellä alueella sarveiskalvoa voi näkö sumentua reilusti. (Duodecim.)

Vaurioituneesta komposiittimateriaalista ilmaan vapautuneet kuituhiukkaset kulkeutuvat suojaamattomiin silmiin. Pelastushenkilöstön koskettaessa vaurioitunutta komposiittimateriaalia tarttuu kuituhiukkasia varusteisiin ja käsiin. Kosketettaessa kasvoja tai silmiä kontaminoituneilla varusteilla tai käsillä kuituhiukkaset pääsevät kulkeutumaan silmän pinnalle.

4.2 Lujitekuitujen haitat

Polymeerimatriisikomposiitissa käytettävä tekstiililasikuitu on halkaisijaltaan suurempaa kuin 6 mikrometriä. Näin ollen kuituhiukkanen ei keuhkoihin joutuessaan yllä alveoleihin asti vaan poistuu keuhkoista hengityksen mukana. Rikkoutuessaan lasikuidun halkaisija ei pienene vaan siitä tulee vain lyhyempiä palasia. Altistumistilanteessa lasikuitu aiheuttaa ärsytystä iholla, silmässä ja hengitysteissä. (NASA.)

Rotilla tehdyissä lasikuitua koskevissa inhalaatiotutkimuksissa arviot osoittivat, ettei keuhkon sidekudoksen epänormaalia muodostumista havaittu tai ne olivat hyvin minimaalisia ilman selviä karsinogeenisiä vaikutuksia (Ramulu & Kramlich 2004, 6). The International Agency for Research on Cancer (IARC) on listannut villalasilasikuidun mahdolliseksi karsinogeeniksi. Tekstiililasikuitua ei pidetä karsinogeenisenä. (NASA.)

Rikkoutuessaan tai palaessaan hiilikuidusta irtoaa hienoa pölyä ja teräviä kuituhiukkasia. Kuituhiukkaset voivat kulkeutua ilmaitse hyvinkin kauas lähtöpaikastaan. Pienen kokonsa vuoksi hiilikuituhiukkaset kulkeutuvat helposti sisäänhengityksen mukana hengitysteihin. Hiilikuituhiukkaset ovat kuitenkin riittävän isoja, jotta keuhkokudos pystyy kapseloimaan kuidut, minkä jälkeen ne tulevat uloshengitysilman mukana ulos. Hiilikuitu ärsyttää ihoa, silmiä ja keuhkoja. (NASA.) Hiilikuitu johtaa sähköä ja joutuessaan sähkölaitteiden kanssa kosketuksiin voi hiilikuitu aiheuttaa sähkölaitteeseen oikosulun (Saarela ym. 2007).

Rotilla tehdyssä hiilikuidun inhalaatiotutkimuksessa käytettiin PAN-kuitua 20 mg/m^3 , jonka keskimääräinen halkaisija oli 7 mikrometriä. Tällöin ei havaittu keuhkojen sidekudoksen epänormaalia muodostumista (Ramulu & Kramlich 2004, 6). Martinin ja kumppanien tutkimuksessa käytettiin kuutta pölynäytettä, jotka kerättiin komposiittimateriaalien työstämisen yhteydessä. Kuudesta näytteestä kaksi sisälsi PAN-kuitua, yksi oli pikipohjainen hiilikuitu, yksi tuntematon, yhdessä oli lasikuitua ja yksi sisälsi PAN-kuitua sekä aramidikuitua. Pölynäytteiden hiukkasten koko oli alle 10 mikrometriä. Pikipohjaisessa sekä yhdessä PAN-kuitupohjaisessa pölynäytteessä oli

suurin myrkyllisyysaste kontrollinäytteeseen verrattuna. Näissä kahdessa oli kyseessä aromaattisella amidilla kovetettu hiilikuituepoksikomposiittimateriaali. PAN- ja aramidikuitua sekä lasikuitua sisältävät näytteet olivat vähiten myrkyllisiä. (Ramulu & Kramlich 2004, 6–7; Gandhi & Lyon 1998, 9.)

Vahingoittuneeseen hiilikuitukomposiittiin liittyy myös toinen merkittävä vaara. On muistettava ero kuidun ja matriisissa olevien kemikaalien välillä. Kuitu itsessään ei ole vaarallinen. Komposiittimateriaalissa oleva kemiallinen aine voi joutua elimistöön käsiteltäessä vahingoittuneita komposiittirakenteita. Komposiittirakenteessa olevasta reiästä, leikkaamasta tai repeämästä aiheutunut haava tai pistos voi aiheuttaa erilaisia oireita. (NASA.) Hiilikuidun materiaaleista PAN-kuitua pidetään yleisesti ottaen turvallisena. Pikipohjaisen hiilikuidun on osoitettu joissain tutkimuksissa aiheuttavan kasvaneen riskin saada ihosyöpä. (OSHA.)

Queen's Medical Research Instituutissa Skotlannissa tutkijat havaitsivat, että pitkät ja ohuet hiilinanoputket näyttävät ja käyttäytyvät kuten asbesti. Asbestin on todettu aiheuttavan syöpää sisäelimissä. Asbestin aiheuttaman syövän kehittyminen voi kestää 30–40 vuotta. Keuhkoihin joutuessaan hiilinanoputket muodostavat arpea muistuttavaa kudosta. Elimistö alkaa rakentamaan soluja tällaisen kudoksen päälle ja keuhkojen seinämä paksuuntuu. (Greenemeier 2008.)

Hiilikuituun verrattuna aramidikuidut ovat kooltaan suurempia. Tutkimuksissa ei ole havaittu, että aramidikuitu aiheuttaisi ihon herkistymistä. Aramidikuidun fyysisen koostumuksen takia se ei myöskään pysty muodostamaan kunnollisia pöly- tai kuituhiukkasia. (NASA; OSHA.) Rotilla tehty tutkimus, jossa käytettiin aramidikuitusäiettä osoitti, että altistuksen tasojen noustessa 1000 säikeeseen millilitrassa oli havaittavissa pieniä arpia keuhkokudoksessa. Arpi kuitenkin parani, mikä osoittaa, ettei keuhkon sidekudoksen epänormaali muodostuminen edennyt. Alle 280 säiettä millilitrassa eivät aiheuttaneet keuhkovaurioita vaan aiheuttivat lähinnä hengitystieärsytystä. Aramidikuitusäikeessä havaittiin biohajoamista siinä vaiheessa, kun se saavutti rotan keuhkot. Tämä vähentää säikeen viipymisaikaa keuhkoissa. Pitkäaikaisen altistumisen tutkimuksissa on ollut havaittavissa keuhkokasvaimien kehittymistä siinä vaiheessa, kun aramidikuitua on ollut 100–400 säiettä millilitrassa. (Ramulu & Kramlich 2004, 6.)

Boorikuidun rikkoutuessa siitä irtoaa pieniä teräviä kuituhiukkasia (Seibert 1990, 6). Boorikuidut läpäisevät helposti hansikkaat ja ihon (NASA). Epäillään, että ihon läpäistyään boorikuituhiukkaset kulkeutuvat verenkierron mukana sydämeen, keuhkoihin ja maksaan vahingoittaen näitä elimiä. Tästä ei kuitenkaan ole todisteita. Boorikuidun ei uskota aiheuttavan haittaa hengitysteille kuituhiukkasten suuremman koon vuoksi. (Seibert 1990, 6.)

4.3 Komposiittimateriaali tulipalossa

Komposiittimateriaalien palamistuotteita tutkittaessa on havaittu, että ne sisältävät polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä, tyypeä sisältäviä aromaattisia aineita ja fenolipohjaisia orgaanisia yhdisteitä. (Edwards ym. 2015, 2). Polysykliset aromaattiset hiilivedyt luokitellaan syöpää aiheuttaviksi aineiksi (Työsuojelu). Kemialliset analyysit osoittavat, että merkittävä määrä myrkyllisiä syöpää aiheuttavia aineita imeytyy kuituihin. Hiilikuidun, johon on imeytynyt orgaanisia kemikaaleja ja palamistuotteita komposiittimateriaalin palossa, pitkäaikaiset terveydelliset haittavaikutukset eivät ole tiedossa (Edwards ym. 2015, 13 ja 29.)

Lämpötilan noustessa 100–200 asteeseen komposiittimateriaali alkaa menettää ominaisuuksiaan. Komposiittimateriaalin altistuessa yli 300–400 asteen lämpötiloille alkaa komposiittimateriaalista vapautua lämpöä, savua, nokea ja myrkyllisiä kaasuja. Hiilikuituepoksikomposiitti on helposti syttyvää ja hajoaa altistuessaan lämmölle sekä liekeille. Hiilikuituepoksikomposiitti tuottaa palaessaan yli 100 erilaista myrkyllistä kaasua, kuten esimerkiksi kloorivetyä, vetysyaanihappoa, bromivetyä ja typpioksidia. Tulipalossa fenolimatriisikomposiitista vapautuvia kaasuja ovat hiilimonoksidi, hiilidioksidi, tolueeni, metaani, asetoni, propanoli, propaani, bentseeni, bentsaldehydi ja suurimolekyyliset aromaattiset yhdisteet. (Mouritz 2006, 3 ja 25.)

Komposiittimateriaalin syttyessä palamaan tulipalo lisää komposiittipölyn ja kuituhiukkasten määrää. Hartsin palaessa pois kuituhiukkaset vapautuvat tuulen ja savukaasujen vietäviksi (Edwards ym. 2015, 8). Savun mukana kulkeutuvat kuituhiukkaset ovat kooltaan 0,3–3 mikrometriä. Kuituhiukkasten koko ja määrä määräytyy materiaalin kemiallisesta koostumuksesta, hiiltymistäipumuksesta ja palamisprosessista. (Mouritz 2006, 22.) Mikäli komposiittimateriaali ei pala, on altistumisriski pienempi, koska kuituhiukkaset eivät pääse leviämään savun mukana ilmaan eikä myrkyllisiä savukaasuja muodostu. (Edwards ym. 2015, 8).

5 KOMPOSIITTIMATERIAALIT ONNETTOMUUSTYYPEITTÄIN

Tähän lukuun olen kerännyt tietoa eri pelastustoimen onnettomuustyypeissä kohdattavista komposiittimateriaaleista. Luvussa käsitellään etenkin erilaisia liikennevälineitä, koska komposiittimateriaali on yleistynyt näissä keveyden ja hyvän muovattavuuden vuoksi. Luvussa kerrotaan, missä kohtaa liikennevälinettä komposiittimateriaalia yleisimmin sijaitsee. Näin pelastushenkilöstö pystyy suunnittelemaan pelastustaktiikkaa ja välttämään altistumista tehtävillään. Vaarallisten aineiden onnettomuuksia ei käsitellä, koska kemikaalivuodoissa käytetään määrättäessä sammutusasua tai kaasutiiviitä kemikaalisuojapukuja sekä paineilmahengityslaitetta. Näin ollen suojautuminen on jo komposiittimateriaalien haittojen näkökulmasta kohdallaan. Myös ihmisen pelastamistehtävät on jätetty pois, koska komposiittimateriaalille altistuminen on hyvin epätodennäköistä.

5.1 Liikenneonnettomuudet

Pelastustoimen taskutilaston 2014–2018 mukaan liikenneonnettomuuksia on vuodessa noin 15000 ja liikennevälinepaloja noin 2200 (Ketola & Kokki 2019, 10). Liikennevälineissä käytetään komposiittimateriaaleja keveyden, kestävyys ja jäykkyyden vuoksi. Lisäksi komposiittimateriaalin muokattavuus helpottaa suunnittelemaan monimutkaisempia osia. Komposiittimateriaalin keveys auttaa vähentämään polttoaineen kulutusta liikennevälineissä. Polttoaineen kulutuksen pienentyessä saadaan lisää toimintamatkaa ja ilmansaasteet vähenevät. Kevyemmät liikennevälineet pystyvät kuljettamaan entistä suurempia kuormia. Komposiittimateriaalit kestävät kuormitusta erittäin hyvin eivätkä ruostu. (Composites UK.)

Veneet

Huvi- ja kilpaveneistä suurin osa on valmistettu komposiittimateriaalista. Purje- ja moottoriveneissä kansirakenteet, laipiot, pituusjäykisteet ja palkit on valmistettu komposiittimateriaalista. (Saarela ym. 2007.) Veneiden ja niissä olevien koneiden kasvaessa suuremmiksi komposiittimateriaalin käyttö auttaa säilyttämään veneiden suorituskyvyn. Isoissa huviveneissä pituudeltaan 60–70 metriä hiilikuitu ja epoksi tarjoavat hyvän yhdistelmän. (Compositesworld; Saarela ym. 2007.)

Hyötykäyttöön tarkoitetuissa 10–25 metriä pitkissä veneissä käytetään yleensä runko-, laipio- ja kansirakenteissa lasikuitulujitteista polyesteriä tai vinyyliesteriä. Hiilikuitu on yleistynyt keskikokoisissa veneissä, ja hiilikuitua käytetään lujitteena veneen rungon jäykistykseen. Pienissä soutu-, ja moottoriveneissä käytetään valmistusmateriaalina enimmäkseen lasikuitua ja polyesteriä. (Compositesworld; Saarela ym. 2007.)

Pelastustoimen henkilöstön altistuminen komposiittimateriaalien aiheuttamille haittavaikutuksille veneilyonnettomuustilanteissa on hyvin suuri, koska suurin osa veneistä on valmistettu komposiittimateriaaleista. Vesiliikenneonnettomuuksia on vuosittain noin yhdeksänkymmentä ja venepaloja noin neljäkymmentä (Ketola & Kokki 2019, 18 ja 22). Karilleajoissa tai veneiden törmätessä toisiinsa, veneen komposiittirakenteet rikkoutuvat, jolloin komposiittipöly ja kuituhiukkaset vapautuvat ilmaan. Koskettaessaan rikkoutuneita komposiittimateriaaleja pelastushenkilöstö altistuu komposiittimateriaalin haitoille mahdollisen ihokosketuksen myötä. Veneen palaessa komposiittimateriaalin matriisiaine palaa pois ja aiheuttaa ilmaan myrkyllisiä savukaasuja. Palon aikana kuituhiukkaset vapautuvat savukaasujen ja tuulen vietäväksi ja altistavat omalta osaltaan komposiittimateriaalien haitoille.

Ajoneuvot

Ajoneuvoissa komposiittimateriaalien käyttö on yleistynyt, jotta niistä saataisiin kevyempiä (Wheatley, Warren & Das 2014, 53). BMW on käyttänyt hiilikuitua i3 henkilöauton runkomateriaalina (Kuva 5.) (Lukaszewicz 2014, 124). Raskaan ajoneuvokaluston tarpeisiin rakennetaan komposiittimateriaalista kuljetuskontteja sekä säiliöitä (Admorcomposites). Ajoneuvojen kevyemmällä painolla saadaan polttoaineen kulutusta ja päästöjä vähenemään (Wheatley ym. 2014, 53). Etenkin sähkö- ja hybridiajoneuvoista on saatava kevyempiä, koska akut painavat paljon ja toimintamatka täytyy saada mahdollisimman pitkäksi (Lukaszewicz 2014, 101). Ajoneuvojen komposiittiosissa lujitteena käytetään tavallisimmin E-lasikuitua (Saarela ym. 2007).



Kuva 5. BMW i3 henkilöauton hiilikuitukori (Moottori).

Matriisimuoveina käytetään kerta- ja kestumuoveja. Yleisin kestumuovimatriisi on polypropeeni ja kertamuovimatriisi tyydyttymättömät polyesterit. Epokseja ja vinyylimestereitä on rakenteellisesti vaativissa osissa. (Saarela ym. 2007.) Polymeerikomposiitteja käytetään ajoneuvoissa esimerkiksi korirakenteissa kuten paneeleissa, lokasuojissa ja puskureissa niiden törmäysturvallisuuden takia.

Törmäyksen vastaanottavissa rakenteissa käytetään lasikuitu-, hiilikuitu-, aramidikuitu- tai polyetyleenikuituvahvisteista polypropyleenia. (Koricho ym. 2014, 136; Lukaszewicz 2014, 116.)

Luonnonkuituja käytetään lähinnä ajoneuvojen sisäosissa, koska ne ovat herkkiä kosteudelle. Luonnonkuituja käytetään muun muassa ajoneuvojen ovien paneeleissa, istuimissa, lattiamatoissa ja takaluukun sisustuselementeissä. (Hindawi; Saarela ym. 2007.) Keraamimatriisikomposiitteja käytetään moottorin ja jarrujen osissa lämmönkesto-ominaisuuksien vuoksi. Metallimatriisikomposiittia käytetään moottorissa sekä törmäyksen vastaanottavissa komponenteissa. (Hallal ym. 2014, 5.)

Tieliikenteessä onnettomuuksia tapahtuu noin 14000 vuodessa ja tieliikenneväline paloja 2200 (Ketola & Kokki 2019, 18, 22). Pelastustoimen henkilöstö altistuu tieliikennevälineissä käytettävien komposiittimateriaalien haittavaikutuksille ajoneuvojen kolareissa, ulosajoissa ja ajoneuvopaloissa. Kolarissa tai ulosajossa ajoneuvon rakenteet rikkoutuvat, jolloin komposiittipöly ja kuituhiukkaset vapautuvat.

Pelastaessaan ajoneuvoon puristuksiin jääneitä henkilöitä pelastushenkilöstö joutuu leikkaamaan ajoneuvon rakenteita. Rakenteita leikatessa komposiittipöly ja kuituhiukkaset pääsevät leviämään ilmaan ja ympäristöön. Ajoneuvopalossa komposiittimateriaalin matriisiaine palaa pois ja kuituhiukkaset vapautuvat savukaasujen ja tuulen vietäväksi. Koska onnettomuuksia on niin paljon, aiheuttavat onnettomuustilanteet toistuvia altistumisia, jolloin altistuminen muuttuu pitkäkestoiseksi.

Junat

Raideliikenteessä on käytetty pitkään alumiinia junien ja vaunujen valmistusmateriaalina. Saksalainen Fraunhofer Institute for Chemical Technology kehitti vuonna 2012 lasikuituvahvistetun polyuretaanikomposiitin käytettäväksi vaunujen pintamateriaalina. (Machinedesign.) Lasikuituepoksikomposiittia ja hiilikuitufenolikomposiittia käytetään niiden hyvän palonkeston ja keveyden takia penkeissä, ovissa, lattioissa sekä seinien pintamateriaalina (Azomaterials). Vuonna 2019 kiinalainen CRRC Qingdao Sifang Co. esitteli hiilikuitukomposiitista valmistetun metro junan. Hiilikuitukomposiittia on käytetty metrojunan rungossa, telin rungossa, ohjaamossa ja tavaraosastossa. (Asiatimes.)

Raideliikenneonnettomuuksia tapahtuu keskimäärin 150 vuodessa, näistä 60 tapahtuu tasoristeyksissä. Tulipaloja raideliikennevälineissä on noin 40 vuodessa. (Ketola & Kokki 2019, 18 ja 22.) Suurin osa raideliikenneonnettomuuksista on metron ja muiden tieliikenteessä olevien ajoneuvojen sekä kevyen liikenteen yhteentörmäyksiä. Suurempia junien kiskoiltasuistumisia tai yhteen törmäyksiä on vähän.

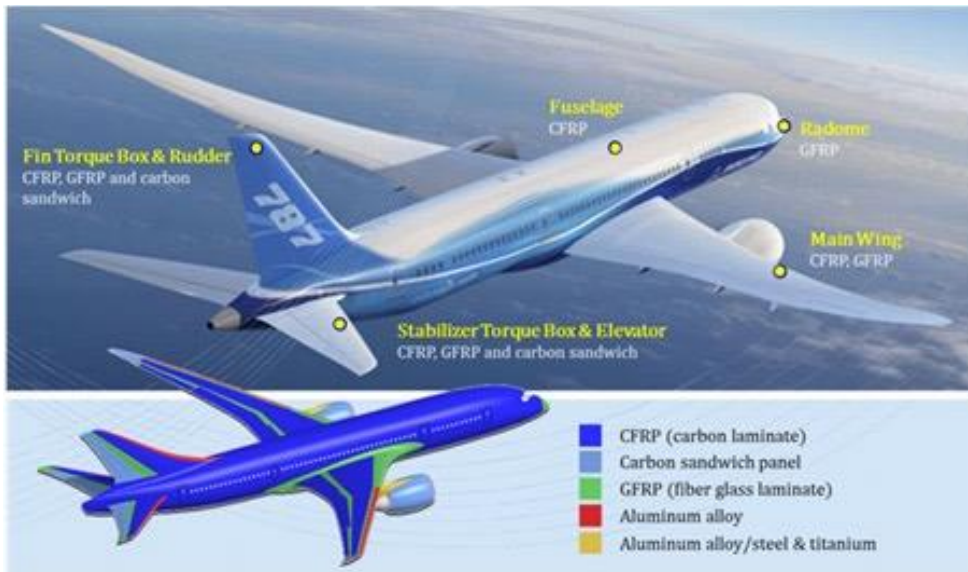
Raideliikenneonnettomuuksissa, joissa junan vaunujen rakenteet rikkoutuvat tai syttyvät palamaan voi vapautua kuituhiukkasia ja komposiittipölyä ilmaan. Ilmaan päästyään kuituhiukkaset sekä komposiittipöly kulkeutuu hengitysteihin, iholle ja silmiin. Kuituhiukkaset ja komposiittipöly voivat aiheuttaa erilaisia ärsytysoireita. Koskettaessa rikkoutuneita rakenteita ilman suojarusteita iholle voi tulla haavaumia ja terävät kuidut voivat tunkeutua ihon läpi. Lämpäistessään ihon kuiduissa olevat kemikaalit pääsevät elimistöön ja voivat aiheuttaa erilaisia myrkytysoireita.

Ilma-alukset

Matkustajalentokoneissa on useita erilaisia komposiittimateriaaleja. Kaksi yleisintä ovat lasikuituvahvisteinen fenolimatriisikomposiitti ja hiilikuituvahvisteinen epoksimatriisikomposiitti. Lasikuitufenolikomposiittia on noin 80–90 % matkustajalentokoneen sisäpuolisista pinnoista. Lasikuitufenolikomposiittia käytetään lentokoneen sisäpuolella katossa, seinärakenteissa, lattiarakenteissa ja säilytyslokeroissa. Hiilikuituvahvisteista epoksimatriisikomposiittia käytetään runkomateriaaleissa, ohjainpinnoissa, ovissa sekä siiven ja perän osissa. (Mouritz 2006, 3.) Sotilaslentokoneissa käytetään komposiittimateriaaleja tuomaan keveyttä ja parantamaan esimerkiksi häiveominaisuuksia. Sotilaslentokoneissa käytetään aramidiepoksia, booriepoksia, hiilikuituepoksia, hiilikuitubismaleimidiä, grafiittiepoksia ja monia muita komposiittimateriaaleja. Kaikkea tietoa sotilaskoneiden komposiittimateriaaleista ei ole saatavilla, jotta koneen suorituskyky pystytään pitämään salassa. (Edwards ym. 2015 31–36.)

Fenolilasikuitukomposiittia käytetään lentokoneen sisäpinnoilla hyvän palonkeston ja huonon syttyvyyden vuoksi. Fenolilasikuitukomposiitti muodostaa vähemmän savua, hiilimonoksidia ja hiilidioksidia palaessaan kuin muut komposiittimateriaalit. Fenolikomposiittimateriaali on alifaattinen, minkä vuoksi savun muodostus on vähäistä. (Mouritz 2006, 3 ja 22) Alifaattinen tarkoittaa orgaanista yhdistettä, jonka kemiallisessa rakenteessa ei ole bentseenirengasta ja joka sisältää ainoastaan hiiltä sekä vetyä (Peda).

Lentokoneteollisuuteen on kehitetty S-lasikuitu (high strenght glass) ja R-lasikuitu. S-lasikuidussa ja R-lasikuidussa vetolujuus ja kimmokerroin ovat suuremmat kuin E-lasikuidussa. Matriisiaineena on pääsääntöisesti epokseja. Bismaleimidejä ja muita polyimidejä käytetään rakenteissa, joiden käyttölämpötilat ovat korkeat. (Saarela ym. 2007.) Kuvassa 6 on Boeing 787-lentokoneessa käytettävien komposiittimateriaalinen sijainti ja laatu. Lasikuitu-, alumiini-, teräs- ja titaniumvahvistuksia käytetään siipien ja moottoreiden eri osissa. Lasi- ja aramidikuituja käytetään esimerkiksi tutkakuvuissa ja kevyesti kuormitetuissa muotosuojissa. Kuvassa 7 on esimerkkejä komposiittirakenteiden sovelluksista Airbus 380 -lentokoneen rakenteissa. (Park & Choi 2017, 116.)



Kuva 6. Boeing 787-lentokoneessa olevien komposiittimateriaalien sijainti ja laatu (Park & Choi 2017, 116).



Kuva 7. Komposiittirakenteiden sovelluksia Airbus 380-lentokoneen rakenteissa (Park & Choi 2017, 116).

Keränen (2018, 22–23) on kandidaatintyössään tutkinut siviili-ilmailussa käytettäviä komposiittimateriaaleja. Cirrus SR22-lentokoneessa (kuva 8) runko, siivet ja muut osat on valmistettu lasikuituepoksikomposiittimateriaalista. Aeronautics-yhtiön Edge 540-kilpalentokoneen siipi on hiilikuitua. Aeronautics-yhtiön MXS-R-malli on tehty kokonaan hiilikuidusta.



Kuva 8. Cirrus SR22 (Cirrus Aircraft).

Purjelentokoneet on tehty perinteisesti lasikuituepoksikomposiittimateriaalista. Windward Performance LLC-yhtiö on kehittänyt SparrowHawk-purjelentokoneen, joka on materiaaliltaan hiilikuitua. Airbusin valmistaman helikopterin H160 (kuva 9) runko ja roottorin lavat ovat hiilikuitua. (Keränen 2008, 24.) NH-90-helikopterin runko rakenne ja roottorin lavat on myös valmistettu komposiittimateriaalista (Saarela ym. 2007).



Kuva 9. Airbus H160 helikopteri (Ilmailua).

Pelastustoimen taskutilaston mukaan ilmaliikenneonnettomuuksia on Suomessa vuosittain keskimäärin noin 30 ja ilmailuvälinepaloja yksi (Ketola & Kokki 2019, 18 ja 22). Tilastoissa olevat ilmailuvälineonnettomuudet käsittävät kaikki ilmailuvälineet. Onnettomuuksia sattuu eniten pienlentokoneille ja muille kevyille ilmailuvälineille. Onnettomuudet käsittävät kiitoradalta suistumiset, hallinnan menetykset ilmassa ja törmäykset esteisiin. Matkustajakoneiden putoamiset ja tulipalot ovat hyvin harvinaisia.

Ilma-aluksen pudotessa maahan ilma-aluksen rakenteet rikkoutuvat ja komposiittipöly sekä kuituhiukkaset vapautuvat. Ilma-aluksen syttyessä palamaan komposiittimateriaalin matriisiaine palaa pois ja kuituhiukkaset vapautuvat ilmaan ja ympäristöön. Ilma-alusten onnettomuuksissa pelastushenkilöstöllä on todennäköisyys altistua äkillisesti suurelle määrälle komposiittipölyä ja kuituhiukkasia. Matkustajalentokoneen joutuessa onnettomuuteen altistumisen minimoimiseksi

kannattaa käyttää vaarallisten aineiden onnettomuuksissa käytettävää ohjeistusta ja toimintatapoja, koska komposiittimateriaalille altistumisen määrä on suuri.

Lento-onnettomuuspaikalla on otettava huomioon, mitä komposiittimateriaalia ja missä kohdissa lentokonetta sitä on. Arvioinnissa on huomioitava myös vahingon luonne ja laajuus sekä koneen putoamiskulma ja vauhti. Koneen putoamiskulmalla ja vauhdilla on merkitystä siihen, miten paljon komposiittimateriaalia on levinnyt ympäri maastoa. (Edwards ym. 2015, 8.)

Lento-onnettomuudessa voi muodostua kemiallisia sivutuotteita. Onnettomuuskohteessa syttynyt tulipalo sulattaa muovikomposiittimateriaaleja. Muuttuessaan nestemäiseksi eri komposiittimateriaaleissa olevat kemikaalit sekoittuvat ja muodostavat uusia kemiallisia yhdisteitä. Palamisesta syntyvät myrkylliset kaasut voivat sekoittua sulaneen komposiittimateriaalin kanssa. Lentokoneen polttoaine, öljyt ja rasvat voivat liuottaa komposiittimateriaalia tai sekoittua sulaneen komposiittimateriaalin kanssa ja muodostaa erilaisia kemiallisia yhdisteitä. Muutosprosessissa voi muodostua myrkyllisiä materiaaleja, jotka eivät ole olleet alkuperäisessä komposiitin valmistuksessa mukana. Fyysisesti vahingoittuneen lentokoneen luona altistumisriksi on korkeampi. Pelastushenkilöstö voi altistua myrkyllisille kaasuille ja hiukkasille palon aikana sekä liikuttaessaan lentokoneen osia. (Edwards ym. 2015, 2 ja 8.)

Lentokonepalossa sammuttamalla vedellä tai vaahdolla ehkäistään kuituhiukkasten ja pölyn leviämistä ilmateitse. Tulipalon sammuttua voidaan sekoittaa vahaa sammutusveden joukkoon ja levittää sitä komposiittimateriaalin päälle. Vaha tekee pinnoitteen osien päälle ja estää kuituhiukkasten sekä pölyn leviämistä. Vahapinnan rikkoutuessa kuituhiukkaset pääsevät taas leviämään. Vahan käyttöä ei suositella ilman lupaa, koska se voi vaikuttaa todistusaineiston tutkintaan. (Edwards ym. 2015, 10.)

Mikäli vahaa käytetään sitomaan pölyä ja kuituhiukkasia tulee vahaa käyttää sekoitussuhteella 10:1 veden kanssa. Vahaa tulee suihkuttaa reilusti ympäri aluetta. Vahaa ei suositella käytettäväksi betoni- tai asfalttikiitoteillä. Vahan sijasta voi käyttää sammutusvaahdotetta. (Taylor 2008, 33–34.) Veden suihkuttamista kovalla paineella rikkoutuneita komposiittimateriaaleja kohti tulee välttää, jottei niistä irtoa kuituhiukkasia (Edwards ym. 2015, 39).

5.2 Rakennuspalot ja sortumat

Rakennuksissa käytetään monenlaisia komposiittimateriaaleja. Yleisimpiä ja vähemmän komposiittimateriaaliksi miellettyjä ovat teräsbetoni ja kipsilevy. Terassilautoja sekä julkisivupaneeleja on tehty puukuidusta ja muovista (UPMProfi). Julkisivun verhoukseen voidaan käyttää alumiinilevyä, jonka sisällä on mineraali- tai muovikomponentteja (Myhome). Saarikivi,

Handelbeg, Holmberg & Matilainen (2008, 8–9) ovat tutkimuksessaan selvittäneet polymeerikomposiittien käyttöä rakennusteollisuudessa. Polymeerikomposiittimateriaaleja voidaan käyttää kantavissa materiaaleissa sekä ulkoseinärakenteissa. Ovia ja ikkunoiden kehyksiä on valmistettu komposiittimateriaaleista. Lasikuitukomposiittia käytetään kattorakenteissa.

Pelastustoimen yleisimpiä rakennuksiin liittyviä onnettomuuksia ovat tulipalot. Rakennuspaloja on noin 3000 vuosittain (Ketola & Kokki 2019, 14). Rakennuspaloissa komposiittimateriaalin matriisiaine palaa pois muodostaen myrkyllisiä savukaasuja, jotka hengitettynä aiheuttavat hengitysteiden ärsytystä tai jopa kuoleman. Palavista komposiittirakenteista irtoaa savukaasujen mukana kuituhiukkasia, jotka kulkeutuvat hengitysteihin, iholle ja silmiin. Palaneet ja rikkoutuneet rakennusmateriaalit voivat aiheuttaa kosketettaessa suojaamattoman ihon rikkoutumisen. Rikkoutuneen ihon kautta erilaiset myrkylliset kemikaalit pääsevät elimistöön. Kosketettaessa kontaminoituneilla varusteilla kasvoja voi pienhiukkasia kulkeutua silmiin ja aiheuttaa ärsytystä.

Toinen rakennuksiin liittyvä onnettomuus on sortumat. Rakennuksen materiaaleista muodostuu sortuessa pölyä, pienhiukkasia ja erilaisia teräviä materiaaleja. Rakennuksen sortuessa muodostuu samanlaista pölyä kuin rakennusvaiheessa. Tällaista pölyä on esimerkiksi mineraalipöly, kvartsipöly, kivihiilipöly sementtipöly, metallipöly, kemikaalipöly, orgaaniset pölyt ja asbesti (Consair). Rakennuksen sortuessa komposiittimateriaali rikkoutuu, ja siitä vapautuu pölyä sekä kuituhiukkasia.

Kvartsipöly voi aiheuttaa keuhkosityöpää tai pölykeuhkosairauden, josta käytetään nimitystä silikoosi (Työterveyslaitos). Silikoosi ja asbestoosi ovat molemmat pölykeuhkosairauksia, mutta sairauden aiheuttava pöly on eri materiaalista. Komposiittimateriaalista irtoavien kuituhiukkasten on joissain tutkimuksissa todettu aiheuttavan pölykeuhkosairauden oireita. Pölykeuhkosairaus on sairaus, jossa keuhkoihin muodostuu sidekudosta ja normaali keuhkokudos tuhoutuu. Sairaus yleensä etenee, vaikka altistus loppuisi ja keuhkojen toiminta heikkenee, mikä lopulta johtaa kuolemaan. Yleensä oireet ovat havaittavissa vasta vuosien kuluttua altistumisesta. (VirtualVTT.)

Ensimmäisinä oireina sortumapaikalle saavuttaessa komposiittimateriaalista irronnut pöly ja kuituhiukkaset voivat aiheuttaa ärsytystä kulkeutuessaan hengitysteihin, iholle ja silmiin. Komposiittimateriaalista ja muista rakennusmateriaaleista irronnut pöly ärsyttää ylähengitysteitä ja voi aiheuttaa keuhkoputkentulehdusta, muita keuhkosairauksia tai jopa keuhkopöhön. Rakennuksien sortumisesta aiheutunut pöly kuormittaa keuhkoja, ja myöhemmin useampien altistumisien myötä voi syntyä keuhkohtaumatauti. Kosketettaessa rikkoutuneita rakennusmateriaaleja suojaamattomaan ihoon voi tulla haavaumia ja erilaiset komposiittimateriaaleissa olevat kemikaalit sekä hiukkaset kulkeutuvat elimistöön. Iholla pöly voi aiheuttaa allergista ihottumaa. (VirtualVTT.)

6 SUOJAUTUMINEN

Oikeanlainen suojautuminen pelastustoimen tehtävillä on tärkeää. Suojautumisella vältetään altistuminen erilaisille haitoille ja vaaroille. Tässä luvussa kerrataan, mitä työturvallisuuslaki sanoo työnantajan ja työntekijän velvollisuuksista suojautumisen suhteen. Luvussa käyn läpi altistumistapoja, toimintamalleja altistumisen vähentämiseksi ja suojautumiseen onnettomuuspaikalla.

6.1 Työturvallisuuslaki

Työturvallisuuslain 23.4.2002/738 1 §:ssä kerrotaan, että lain tarkoitus on turvata ja ylläpitää työntekijöiden työkykyä ja ennaltaehkäistä sekä torjua työtapaturmia, ammattitauteja ja työympäristöstä johtuvia terveyshaittoja. Työturvallisuuslain 2 §:n mukaan lakia sovelletaan työsopimuksen perusteella tehtävään työhön sekä virkasuhteessa tai siihen verrattavassa julkisoikeudellisessa palvelussuhteessa tehtävään työhön. Lakia sovelletaan 4 §:n mukaan myös sopimuspalokuntaan ja pelastustoimintaan vapaaehtoisesti osallistuvan henkilön työhön.

Työnantaja on velvollinen huolehtimaan työntekijän turvallisuudesta ja terveydestä tarpeellisin toimenpitein. Työnantajan on otettava huomioon työhön, työolosuhteisiin ja muuhun työympäristöön kuin myös työntekijän henkilökohtaisiin edellytyksiin liittyvät seikat. (Työturvallisuuslaki 23.4.2002/738, 8 §.) Pelastustoimessa pelastajat suorittavat vuosittain kuntotestit. Hyvä fyysinen ja henkinen kunto auttaa jaksamaan ja selviytymään vaativissa pelastustoimen tehtävissä sekä vähentämään työtapaturmia. Työterveystarkastukset tehdään säännöllisesti, jotta voidaan ajoissa ehkäistä alkavia sairauksia. Pelastushenkilöstöllä on mahdollisuus saada lisäkoulutusta, jotta he oppivat uusia työskentelytapoja sekä saavat lisätietoa erilaisista onnettomuustyypeistä. Pelastustoimessa harjoitellaan säännöllisesti erilaisissa onnettomuuksissa työskentelyä. Harjoittelu voi sisältää yksittäisten työskentelytapojen opettelua, työvälineiden käyttöä tai suurempia kokonaisuuksia. Harjoittelu opettaa oikeanlaisia toimintatapoja, joilla voidaan ehkäistä työtapaturmia.

Työnantajan on riittävän järjestelmällisesti selvitettävä ja tunnistettava työstä, työajoista, työtilasta, muusta työympäristöstä ja olosuhteista aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät (Työturvallisuuslaki 23.4.2002/738, 10 §). Pelastustoimessa työnantajan tullee olla valveutunut kaikista onnettomuustyypeistä, jotta se voi riittävän laajasti selvittää mahdollisia työssä esiintyviä riskejä. Paloasemalla tapahtuva työ on myös huomioitava haitta- ja vaaratekijöitä mietittäessä. Työturvallisuuslain 15 §:n mukaan työnantaja on velvollinen hankkimaan ja antamaan vaatimukset täyttävät ja tarkoituksenmukaiset henkilösuojaimet. Pelastushenkilöstöllä on monenlaisia suojarusteita erilaisiin työtehtäviin. Pelastajilla yleisimmät päällä nähtävät suojarusteet ovat

sammutusasu, alusmyssy, kypärä, turvasaappaat ja nahkaiset sammutushansikkaat. Paineilmahengityslaitetta käytetään savusukelluksessa ja muissakin tehtävissä, joissa tarvitsee suojata hengitystä. Vaarallisen aineen onnettomuuksiin on kemikaalisuojapuvut, ja vesipelastustehtävällä käytetään pintapelastus- tai sukelluspukua. Työturvallisuuslain 20 § velvoittaa myös työntekijän käyttämään ja hoitamaan ohjeiden mukaisesti työnantajan hänelle antamia henkilösuojaimia ja muita varusteita. Työntekijän on työssään käytettävä sellaista asianmukaista vaatetusta, josta ei aiheudu tapaturman vaaraa. Pelastustehtävän jälkeen suojarusteet ja työvälineet tulee huoltaa sekä puhdistaa. Pelastustehtävän jälkeisellä huollolla varmistetaan toimivat ja turvalliset työvälineet sekä suojarusteet seuraavalle tehtävälle.

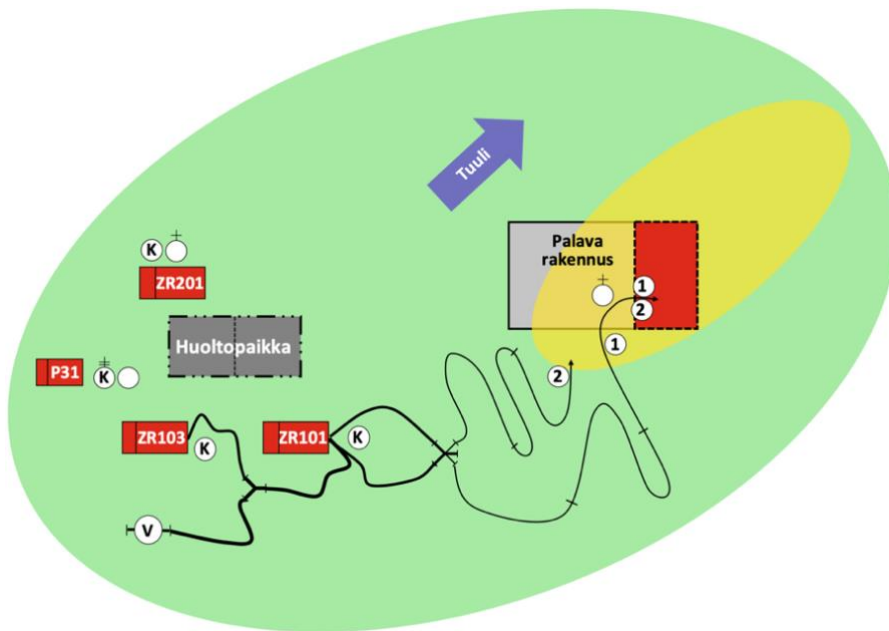
6.2 Toimintamallit

Oikeanlaiset toimintamallit auttavat altistumisen ehkäisyssä sekä mahdollistavat pelastustoiminnan toteuttamisen turvallisesti ja tehokkaasti. Etukäteen suunnitellut ja harjoitellut toimintamallit tekevät pelastustoiminnasta tehokasta. Tehokkaassa pelastustoiminnassa osataan arvioida vaarat, valita oikeanlaiset suojarusteet vaaran mukaisesti ja kulkea vaara-alueella aiheuttamatta lisävahinkoa itselle tai toisille. Osataan myös valita oikeanlaiset työvälineet ja pystytään käyttämään niitä tehokkaasti ehkäisemään lisävahinkoja. Näin onnettomuuteen joutuneiden avunsaanti nopeutuu ja pelastushenkilöstön työturvallisuus varmistuu. Toimintamalleja on kuvattu savusukellusoppaassa ja Tokeva-ohjeessa.

Onnettomuuspaikalle mentäessä ja onnettomuuspaikalla oltaessa on jatkuvasti arvioitava, onko komposiittimateriaalille altistumisriski korkea vai matala. Altistumisriski tulisi arvioida aluksi suureksi ja pienentää arviota tiedon tarkentuessa. Henkilökohtaisten suojainten käyttö ei anna lupaa arvioida altistumisriskiä pieneksi. Vaara-alueen merkitseminen vähentää altistumista silloin, kun työskennellään vahingoittuneiden komposiittimateriaalien kanssa. Etäisyydeksi vahingoittuneeseen komposiittimateriaaliin Edwards ym. (2015, 8–10) suosittelevat pidettävän 25 jalkaa, joka on noin 8 metriä. Kun vaara-alue on tiedossa, pelastushenkilöstö osaa käyttää asianmukaisia suojarusteita vaara-alueella.

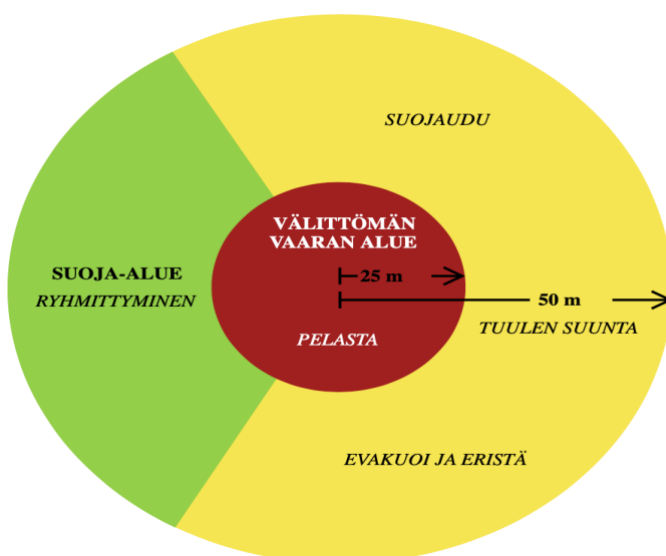
Savusukellusoppaan (Ala-Kokko. 2021, 67–68) mukaisessa toimintamallissa pelastustoiminnan johtaja määrittää työturvallisuuden vuoksi välittömän vaaran alueen ja sen ympärille tulevan vaara-alueen sekä pelastustoiminta-alueen (kuva 10). Ryhmittyminen tapahtuu tuulen yläpuolelle. Alueiden koot riippuvat siitä, minkälaisesta onnettomuudesta on kyse. Välittömän vaaran alueella suoritetaan pelastustoimintaa ja liikutaan vain asianmukaisissa suojarusteissa. Vaara-alueella työskentelee ainoastaan tarvittava henkilöstö, joka avustaa välittömän vaaran alueella pelastustoimintaa tekevää henkilöstöä. Vaara-alueella käytetään samaa suojaustasoa kuin

välittömän vaaran alueella. Pelastustoimen alueelle sijoitetaan kalusto ja muu pelastushenkilöstö sekä suoritetaan tukitoimintoja. Pelastustoimen alueella voi pitää kevyempää suojaruustusta.



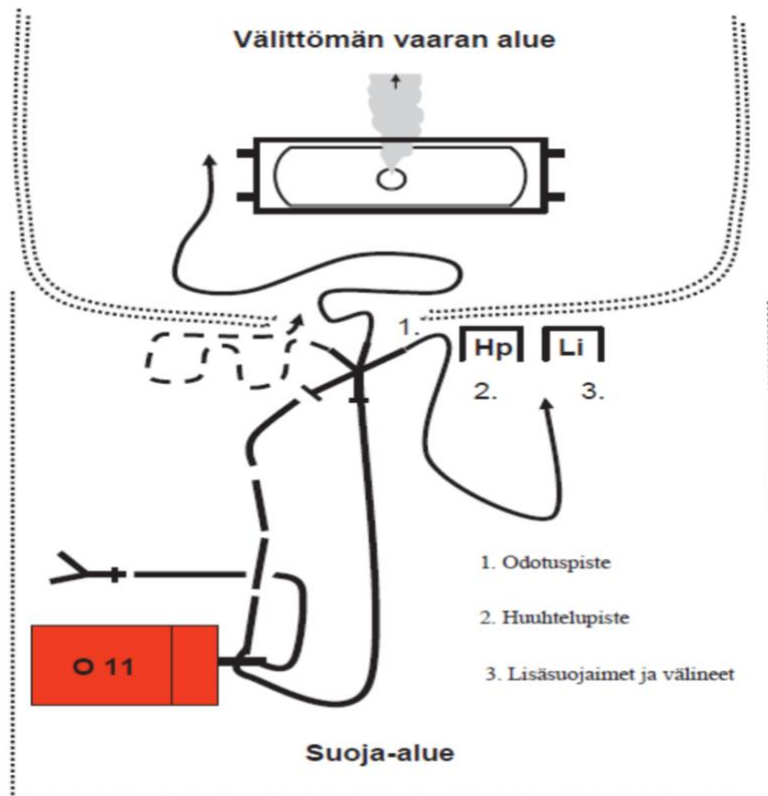
Kuva 10. Pelastustoimen johtajan määrittämät vaara-alueet. Vihreä = pelastustoiminta-alue, keltainen = vaara-alue ja punainen = välittömän vaaran alue (Ala-Kokko 2021, 67).

Tokevan T-ohje auttaa määrittelemään vaarallisen aineen onnettomuuksissa vaara-alueen ja henkilökohtaisen suojaustason. Tokevastä löytyvät myös pelastusmuodostelman tehtävät ja toimenpiteet. T-ohje ohjeistaa pienissä vaarallisen aineen onnettomuuksissa välittömän vaaran alueen säteeksi 25 metriä ja suoja-alueen 50 metriä (kuva 11). Suurissa kemikaalionnettomuuksissa välittömän vaaran alueen säde on 50 metriä ja suoja-alueen 100 metriä.



Kuva 11. T-ohjeen mukainen vaara-alueen määrittäminen pienissä kemikaalionnettomuuksissa (Tokeva).

Välittömän vaaran alueelle kulkeminen sekä poistuminen tulee tapahtua vain yhdestä kohdasta. Kuvasta 12 nähdään Tokevan M14a-ohjeen mukainen kulkeminen alueelle. Sellaiselle välittömän vaaran alueelle, jossa on pölyäviä aineita, kaasuja ja nesteitä, perustetaan kulkukohtaan viereen huuhtelupaikka. Kulkureitti ja huuhtelupaikka tulee merkitä selvästi lippusiimalla tai varoitusnauhalla.



Kuva 12. M14a-ohjeen mukainen huuhtelupaikka ja kulku välittömän vaaran alueelle (Tokeva).

Sääolosuhteiden merkitys kuituhiukkasten leviämiselle on suuri. Tuulisella säällä pienet ja kevyet kuituhiukkaset kulkeutuvat kauas savun ja tuulen mukana, jolloin vaara-alue kasvaa suuremmaksi. Sateinen sää vähentää kuituhiukkasten leviämistä, koska kuituhiukkaset kastuessaan putoavat maahan. Maaston muodot ja kasvillisuuden määrä ja laatu vaikuttavat siihen, miten pitkälle kuituhiukkaset leviävät. Puut ja pensaat estävät leviämistä, kun taas avoimessa maastossa kuituhiukkaset pääsevät leviämään suuremmalle alueelle. (Edwards ym. 2015, 9.)

6.2.1 Henkilökohtaiset suojarusteet

Onnettomuuksissa henkilökohtaisten suojarusteiden taso riippuu siitä, minkälainen onnettomuus on kyseessä, missä vaiheessa onnettomuuspaikalle mennään ja mitä siellä tehdään. Edwardsin

ym. (2015, 10) mukaan lentokoneen putoamispaikalla, jossa on suuria määriä komposiittimateriaalia, pelastustehtävään osallistuvien tai sen välittömässä läheisyydessä tulee käyttää paineilmahengityslaitetta, kemikaalisuojapukua ja nahkahansikkaita vähentääkseen altistumista ilmassa leijailevalle pölylle ja kuituhiukkasille. Paineilmahengityslaitetta tulee käyttää niin pitkään, kun välittömän vaaran alueella on palavia tai savuavia komposiittimateriaaleja. Samaa ohjeistusta tulee käyttää kaikissa muissakin onnettomuuksissa, joissa on rikkoutunutta komposiittimateriaalia.

Sammutustöiden päätyttyä välittömän vaaran alueella pelastushenkilöstön sekä tutkijoiden tulee käyttää vähintään puolimaskihengityssuojainta suodattimella, joka suodattaa höyryt, hiilikuidut ja pölyn. Kaikki suoja-alueella olevat henkilöt, joiden on todennäköistä altistua komposiittimateriaalista irtoavalle pölylle tai kuituhiukkasille, tulee käyttää hengityssuojainta, joka suodattaa vähintään 95 % pölystä ja kuiduista (Edwards ym. 2015, 10).

Vaatetuksen päällä käytetään hupullista ja jalkasuojallista kertakäyttöistä kemikaalisuojapukua. Jalassa pidetään turvakengiä ja kädet suojataan nahkahansikoilla. Silmiä tulee suojata tiiviillä suojalaseilla, jotka estävät pölyn ja kuituhiukkasten kulkeutumisen silmiin. Käsiteltäessä materiaaleja, jotka sisältävät poltto- tai voiteluaineita, biologisia nesteitä tai muita kemiallisia nesteitä nahkahansikkaiden alle puetaan nitrilikumihansikkaat. (Edwards ym. 2015, 11.)

Tieliikenneonnettomuuksissa pelastajien suojarusteisiin kuuluu yleisesti sammutusasu tai kevyt sammutusasu, kypärä, FFP3-hengityksensuojain, suojalasit, viiltosuojahansikkaat, turvakengät ja huomioliivi. Pelastustehtävään osallistuvalla ensihoitohenkilöstöllä on yllään ensihoidon suojavaatetus, huomioliivi, kypärä, suojalasit, turvakengät, FFP3-hengityksensuojain ja tarvittaessa viiltosuojahansikkaat. Ajoneuvopaloissa pelastajat käyttävät sammutusasua ja paineilmalaitetta, koska ajoneuvon palaessa muodostuu myrkyllisiä savukaasuja.

Rakennuspaloissa pelastajien tehtävät voivat vaihdella vaativan savusukellustehtävän ja perustehtävän välillä. Vaativalla tehtävällä tarkoitetaan tehtävää, jossa savusukellellaessa toimintaympäristö on haasteellinen tai paineilmalaitteen käyttämättä jättäminen aiheuttaa välittömän hengenvaaran. Perustehtävät ovat tehtäviä, joissa paineilmahengityslaitteen käyttö on mahdollista, mutta käyttämättä jättäminen ei aiheuta välitöntä hengenvaaraa. Tehtävästä riippumatta suojaustasona rakennuspaloissa on käytössä sammutusasu ja paineilmalaitte, jotka suojaavat käyttäjänsä haitallisilta yhdisteiltä. (Ala-Kokko 2021, 19 ja 24.) Rakennuksien sortumaonnettomuuksissa pelastushenkilöstön tulee käyttää samaa suojarustusta kuin tieliikenneonnettomuuksissa.

6.2.2 Suojavarusteiden riisuminen

Savusukellusoppaassa (Ala-Kokko 2021, 66) kuvataan Suomessa käytössä olevaa puhtas paloasema toimintamallia. Hälytystehtävälle lähdetään puhtailla suojavarusteilla ja kalustolla. Likaiset suojavarusteet laitetaan onnettomuuspaikalta lähdettäessä tiiviisti suljettuihin pusseihin tai astioihin. Näin vältetään lian ja vaarallisten aineiden kulkeutuminen paloasemalle ja ajoneuvoihin. Huoltotoimet tehdään paloasemalla likaisten varusteiden huoltoon tarkoitettussa paikassa. Huoltotöitä tekevä henkilöstö suojautuu asianmukaisilla suojavarusteilla huoltojen ajaksi (kuva 13).



Kuva 13. Altistumisen vähentäminen pelastustoiminnassa (Rinne 2014, 13).

Välittömän vaaran alueelta poistuttaessa komposiittipölylle ja kuituhiukkasille altistuneet suojavarusteet huuhdellaan mahdollisuuksien mukaan huuhtelupaikalla vedellä. Huuhtelupaikalla olevan avustajan tulee myös suojautua altistumisen estämiseksi. (Taylor 2008, 34; Tokeva M14a.) Ennen kuin komposiittipölystä, kuituhiukkasista ja muusta liasta sekä kemikaaleista likaantuneet suojavarusteet riisutaan, pyyhitään irtonaiset kuidut suojavarusteista pois. Puhdistukseen voi käyttää HEPA-suodattimella varustettua imuria. (Edwards ym. 2015, 42.) HEPA tulee englannin kielisistä sanoista High Efficiency Particulate Air. HEPA-suodattimessa on erilaisten sekä erikokoisten kuitujen sekoitus, jotka muodostavat kennomaisen rakenteen. Kennomainen rakenne suodattaa ilmaa tehokkaasti. (Siivous.)

Komposiittipölylle ja kuituhiukkasille altistuneet suojarusteet tulee riisua varovaisesti, ettei pölyä ja kuituhiukkasia pääsisi leviämään ilmaan ja sitä kautta hengitysteihin tai iholle. Hengityssuojainta tulee käyttää koko puhdistus- ja riisuutumisprosessin ajan. Likaantuneet ja altistuneet suojarusteet pannaan jätesäkkiin, joka suljetaan tiiviisti. Kertakäyttöiset suojarusteet hävitetään ja muut suojarusteet pestään varovaisuutta noudattaen. Riisuutumisen jälkeen henkilöstön tulee käydä suihkussa, mikäli on mahdollista. Suihkussa käynti vähentää ihon ärsytystä pesemällä iholle päässeet kuituhiukkaset pois. (Edwards ym. 2015, 40–41; Taylor 2008, 34 ja Ala-Kokko, 66.) Onnettomuuksissa, joissa pelastushenkilöstö altistuu suurelle määrälle komposiittimateriaalin kuituhiukkasia, ei välttämättä saada sammutusasun kankaiden väliin jääneitä kuituhiukkasia pois puhdistusvaiheessa ja sammutusasun joudutaan hävittämään, jotta vältetään uudelleen altistuminen.

6.2.3 Altistuneiden ensihoito

Edwards ym. (2015, 41) ja Tokevan M14a-ohje neuvovat, että onnettomuudessa osallisena olleelta henkilöltä riisutaan komposiittipölylle, kuituhiukkasille, kemikaaleille ja muulle lialle altistuneet vaatteet välittömän vaaran alueen reunalla sijaitsevalla huuhtelupaikalla, ennen kuin he siirtyvät ensihoidon kuljetettavaksi. Altistuneiden vaatteiden riisumisella estetään kuituhiukkasten ja komposiittipölyn leviäminen. Altistuneet henkilöt tulisi mahdollisuuksien mukaan huuhdella vedellä tai käyttää suihkussa kuituhiukkasten ja pölyn leviämisen estämiseksi sekä ihoärsytyksen vähentämiseksi (Edwards ym. 2015, 41, Tokeva M14a).

Mikäli komposiittipölylle, kuituhiukkasille, kemikaaleille ja muulle lialle altistuneiden henkilöiden vaatteiden poistaminen ei ole altistuneen henkilön ensihoidollisten etujen mukaista, peitetään hänet peitteellä kuituhiukkasten ja komposiittipölyn leviämisen estämiseksi. Ensihoitohenkilöstöä ja sairaalaa tulee informoida komposiittimateriaalista ja sen haitoista. Ensihoitohenkilöstön suojautumisen tulee tapahtua samalla tavalla kuin suoja-alueella kertakäyttöisellä kemikaalisuojapuvulla, FFP3-hengityssuojaimella, nahkahansikkailla ja tiiviillä silmäsuojaimilla. (Edwards ym. 2015, 41.)

7 YHTEENVETO

Tähän lukuun olen koonnut opinnäytetyössä esille tulleita asioita. Tausta-ajatus opinnäytetyön tekemiselle oli pelastushenkilöstön työturvallisuus onnettomuuksissa, joissa on mukana komposiittimateriaalia. Selvittämällä komposiittimateriaalin koostumus ja käyttökohteet saatiin käsitys siitä, aiheuttaako komposiittimateriaali haittaa pelastustoimitehtävillä. Liitteessä 1 on listattu toimenpiteitä, jotka on hyvä muistaa onnettomuudessa, jossa on mukana komposiittimateriaalia. Liitteisiin 2–4 on koottu opinnäytetyössä esille tulleita kulkuneuvojen komposiittimateriaaleja, komposiittimateriaalien käyttökohteita sekä onnettomuustilanteessa tarvittavat suojarusteet.

Komposiittimateriaali koostuu vähintään kahdesta erilaisesta materiaalista: matriisi ja lujite. Yleisimpiä käytettyjä komposiittimateriaaleja ovat polymeerimatriisikomposiitit. Polymeerimatriisikomposiitissa käytetään yleensä matriisiaineena kertamuovia. Yleisimmät lujitteena käytetyt materiaalit ovat lasikuitu, hiilikuitu, aramidikuitu tai luonnonkuitu.

Lujitekuidut eivät itsessään aiheuta suurta vaaraa. Suuriman vaaran luovat elimistöön joutuessaan valmistusvaiheessa kuituihin imeytyneet kemikaalit. Lujitekuiduista piestä valmistettu hiilikuitu ja hiilinanotuubi ovat haitallisimmat. Joissain tutkimuksissa piestä valmistetun hiilikuidun on todettu aiheuttavan syöpää. Hiilinanoputki on myös osoittautunut joidenkin tutkimusten mukaan kulkeutuvan hengitysteissä alveoleihin asti. Pienen kokonsa vuoksi hiilinanoputki jää kiinni keuhkokudokseen ja aiheuttaa sidekudoksen muodostumista keuhkoihin.

Rakennusteollisuudessa käytetään erilaisia komposiittimateriaaleja. Puukuidulla vahvistettua muovikomposiittia käytetään terassi- ja koristelaudoituksissa. Liikennevälineissä komposiittimateriaaleja käytetään rungossa, korin osissa, paneeleissa, penkeissä ja kuljetuskonteissa sekä säiliöissä. Huviveneet tehdään pääosin lasikuitukomposiiteista, mutta hiilikuitukomposiitin käyttö on lisääntynyt. Ilma-aluksissa käytetään ulkopinnalla lasikuituepoksikomposiittia ja hiilikuituepoksikomposiittia. Matkustajakoneiden sisätiloissa käytetään lasikuitufenolikomposiittia paremman palokeston ja pienemmän savun muodostumisen vuoksi.

Komposiittimateriaalin haitat ja vaarat tulevat esille komposiittimateriaalin rikkoutuessa. Rikkoutuneesta tai palavasta komposiittimateriaalista vapautuu pölyä ja kuituhiukkasia, jotka leviävät ilmaan ja ympäristöön. Mikäli ei käytetä suojarusteita, ilmassa leijaillevat kuituhiukkaset ja pöly kulkeutuvat hengitysteihin, iholle ja silmiin. Pahimmillaan pöly ja kuituhiukkaset voivat aiheuttaa syöpää sekä iho- ja keuhkosairauksia. Rikkoutuneiden komposiittimateriaalien koskettaminen ilman suojarusteita aiheuttaa ihoon haavoja. Terävät kuitupiikit työntyvät ihon läpi,

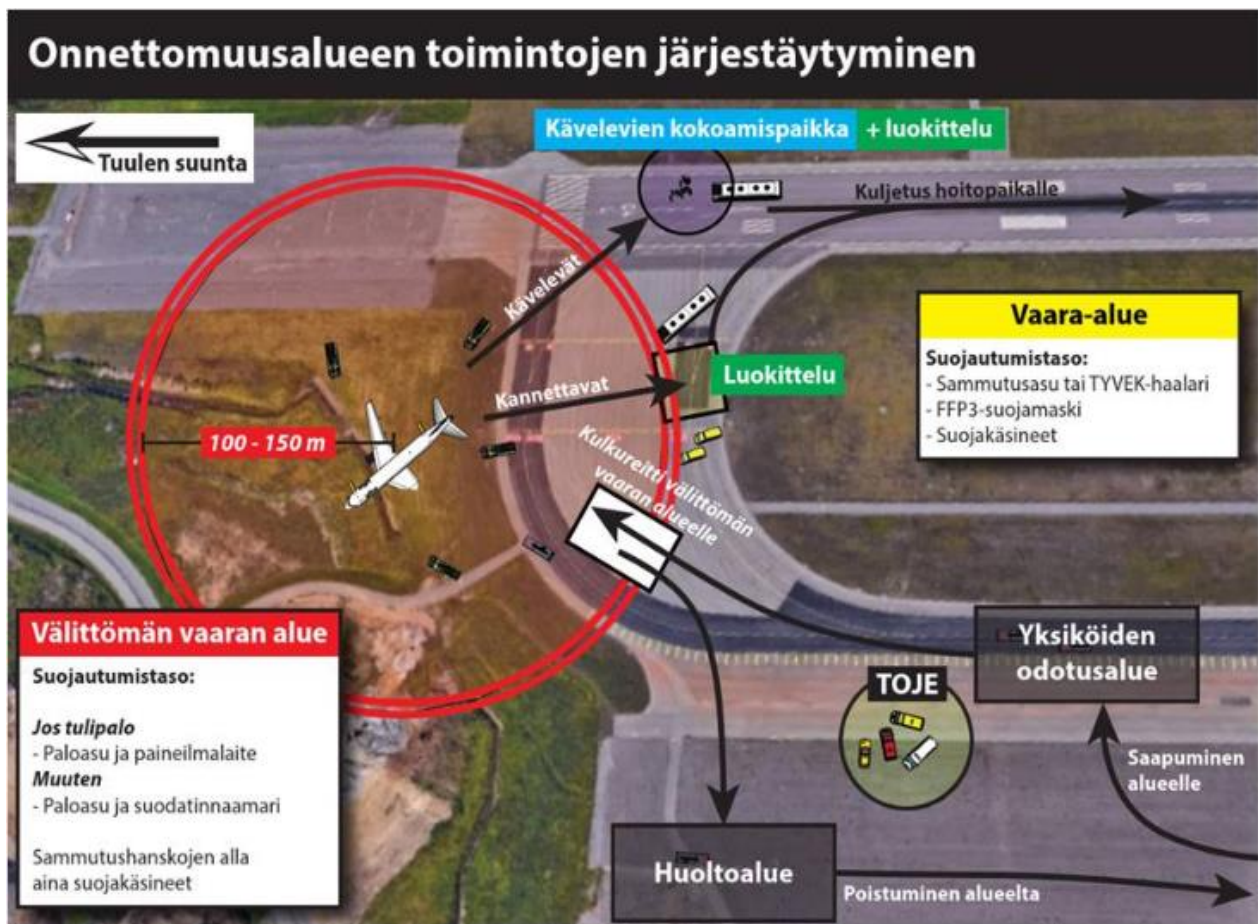
ja kuitupiikeissä olevat kemikaalit pääsevät elimistöön aiheuttaen tulehduksia ja mahdollisesti myrkytysoireita. Jos kontaminoituneilla varusteilla tai käsillä kosketetaan kasvoja, pöly ja kuituhiukkaset pääsevät kulkeutumaan silmiin ja aiheuttavat roskan tunnetta silmässä tai silmän tulehtumisen.

Pelastushenkilöstö kohtaa tieliikenneonnettomuuksia useammin kuin rakennuspaloja tai ilmailiikenneonnettomuuksia. Terveydelliset haitat jäävät tieliikenneonnettomuustehtävillä ihon, silmien ja hengityselimien jonkinasteiseksi paikalliseksi ärsytykseksi. Tieliikenneonnettomuuksien suuremman määrän vuoksi altistumista voidaan pitää pitkäkestoisena. Pitkäkestoinen altistuminen voi johtaa työvuosien karttuessa herkistymiseen komposiittimateriaalien pölylle ja kuituhiukkasille. Hermosto- ja elinvauriot sekä erilaiset sairaudet ovat mahdollisia. Matkustajalentokoneiden onnettomuuksissa vapautuu kerralla paljon komposiittipölyä sekä kuituhiukkasia ja altistuminen voidaan tulkita äkilliseksi. Vaikutukset ilmenevät välittömästi tai lyhyen ajan sisällä. Tyypillisimpiä vaikutuksia ovat päänsärky, huonovointisuus, elimistön toiminnan häiriöt ja jopa tajunnanmenetys.

Pelastustehtävillä on altistumisen ehkäisyssä oleellista oikeanlainen suojautuminen. Komposiittimateriaalin palaessa sammutustyössä tulee käyttää sammutusasua ja paineilmahengityslaitetta. Välittömän vaaran alueella, jossa on rikkoutunutta komposiittimateriaalia, tulee käyttää kertakäyttöistä kemikaalisuojapukua, tiiviitä silmäsuojaimia, nahkahansikkaita, joiden alla on nitrilikumihansikkaat, turvasaappaita ja hengityssuojainta, joka suodattaa pölyt, kuidut, höyryt ja kaasut. Varustehuollossa tulee noudattaa puhdaspaloasema periaatteita.

Suojautumisen lisäksi on vaara- ja suoja-alueen määrittäminen tärkeää altistumisen vähentämisessä. Riittävä etäisyys vaaraa aiheuttaviin esineisiin ja kemikaaleihin vähentää altistumista huomattavasti. Alueiden koko riippuu onnettomuuskohteesta ja onnettomuuden laajuudesta. Onnettomuuden alkuvaiheessa välittömän vaaran alue on suurempi, ja loppuvaiheessa aluetta voidaan pienentää altistumisriskin vähentyessä.

Tieliikenneonnettomuuksissa, rakennuspaloissa ja rakennusten sortumisissa kannattaa altistumisen vähentämiseksi käyttää Savusukellusoppaassa mainittua vaara-alueiden määrittämistä. Pienien ilma-alusten sekä yksittäisten lentokoneen osien ympärillä välittömän vaaran alueen säde voi olla pienempi. Matkustajalentokoneiden putoamiset tai tulipalot vaativat suuremman välittömän vaaran alueen kuin pienemmät ilma-alukset. Pöly, kuituhiukkaset ja irronneet lentokoneen osat voivat kulkeutua laajalle alueelle. Välittömän vaaran alue voi hyvinkin olla säteeltään 100 metriä tai enemmän. Kuvassa 14 on Finavian Oyj:n pelastuspäällikkö Simo Ekmanin tekemä luonnos lento-onnettomuuspaikan vaara-alueesta ja toimintojen järjestäytymisestä.



Kuva 14. Lento-onnettomuuden vaara-alueet ja toimintojen järjestäytyminen (Ekman).

Onnettomuudelle altistuneilta henkilöiltä tulee mahdollisuuksien mukaan riisua kontaminoituneet vaatteet ja huuhdella altistuneet henkilöt vedellä. Mikäli vaatteiden poistaminen ja peseytyminen ei ole mahdollista, tulee heidät peittää peitteellä pölyn ja kuituhiukkasten leviämisen ehkäisemiseksi. Ensihoitohenkilökuntaa ja sairaalaa tulee informoida pölystä ja kuituhiukkasista. Ensihoitohenkilökunnan tulee pukeutua kertakäyttöisellä kemikaalisuojapuvulla, nahkahansikoilla ja hengityksensuojaimella, jos on mahdollisuus altistua komposiittimateriaalin pölylle ja kuituhiukkasille.

8 POHDINTA

Tässä luvussa käsitellään opinnäytetyön teon aikana heränneitä ajatuksia, tulosten tulkintaa ja jatkotutkimusideoita. Minulla on yli kymmenen vuoden työkokemus pelastajana ja jatkuva halu kehittyä omassa ammatissani sekä saada lisää tietoa ja ymmärrystä pelastustoiminnasta. Tämä tutkimusaihe tuntui itselleni hyvin läheiseltä ja mielekkäältä, koska minulla on paljon tietoa autoista ajoneuvoasentajakoulutuksen kautta. Päälystööpintojen myötä oma kiinnostukseni erityisesti työturvallisuutta kohtaan on lisääntynyt todella paljon. Lähdin tutkimaan aihetta avoimin ja odottavaisin mielin. Tutkimuksen tarkoituksena on laajentaa omaa ammattitaitoani ja ymmärrystäni työturvallisuudesta sekä tuottaa tietoa pelastustoimelle polymeerimatriisikomposiittimateriaaleista.

Komposiittimateriaalin valmistamisesta ja käyttökohteista on paljon tutkimuksia.

Komposiittimateriaalin haitoista ja vaaroista tietoa on vähemmän. Tietoa löytyy komposiittimateriaalin valmistamiseen käytettävistä aineista ja näiden aineiden haittavaikutuksista valmistusvaiheessa. Tietoa etsiessäni kiinnitin huomiota siihen, että suurimassa osassa löydetystä tutkimuksista on käytetty suurilta osin samoja lähteitä ja useat lähteinä käytetyt tutkimukset ovat vanhoja, jopa 1980-luvulta. Tutkimustulokset ovat varmasti relevantteja, mutta aihealue kaipaisi kipeästi uutta tutkimustietoa, koska erilaisia komposiittimatriiseja on nykyään paljon ja komposiitin käyttö on yleistynyt niin laajasti. Tutkimussuunnitelmaa laatiessani jouduin tekemään tarkan rajauksen polymeerikomposiittimateriaaleihin, koska niistä oli selvästi eniten tietoa saatavilla. Ne ovat yleisimmin käytettyjä komposiittimateriaaleja, ja ilman rajausta tutkimusalue olisi ollut todella laaja.

Pelastustoimen suojarusteet ovat parantuneet vuosien aikana huomattavasti. Pelastustoimessa käytössä olevat ohjeistukset oikeaoppisesta suojaumisesta onnettomuustehtäville vastaavat näkemykseni mukaan tutkimuksessa saatuja tuloksia. Tarkempaa tutkimusta komposiittimateriaalista irronneiden kuituhiukkasten poistumisesta pesun yhteydessä tarvitaan, jotta suojarusteiden kehitystyötä ja puhdistus toimenpiteitä voitaisiin parantaa. Puhdas paloasema -käytäntö on lisännyt tietoa varusteiden oikeaoppisesta käsittelystä ja huollosta. Uudet käytänteet ovat vakiintuneet hitaasti mutta varmasti eri palokuntien arkeen ja käytäntöihin. Varusteiden oikeaoppinen puhdistaminen onnettomuuksien jälkeen on tärkeää saada vakiinnutettua niin pelastajakursseille kuin paloasemille. Noudattamalla pelastustoimen suojaumisohjeita ja puhtaan paloaseman periaatteita komposiittimateriaalin haitat saadaan näkemykseni mukaan minimiin.

Opinnäytetyön tavoite oli tuottaa tietoa eri onnettomuuksissa vastaantulevista polymeerimatriisikomposiiteista ja komposiittimateriaalin haitoista. Mielestäni onnistuin saavuttamaan tavoitteen. Opinnäytetyössä kerrotaan polymeerimatriisikomposiittimateriaalissa

käytettävistä ainesosista, käyttökohteista ja haittavaikutuksista. Löydettyjen tietojen perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä oikeanlaisesta henkilökohtaisesta suojautumisesta pelastustoimen tehtävissä.

8.1 Tutkimuksen luotettavuus

Lähes kaikki opinnäytetyössä käytetty materiaali olivat englanniksi. Lisäksi opinnäytetyössä käytetyissä tutkimuksissa on englanninkielistä tekniikan ja kemian sanastoa. Lähdemateriaalien suomentaminen ja eri termien suomenkielisten vastaavuuksien löytäminen oli ajoittain työlästä ja hankaloitti käännettävän tekstin tulkintaa. Väärinymmärryksen mahdollisuus on otettava huomioon tutkimuksen luotettavuutta pohdittaessa. Tämän ongelman välttämiseksi vaikeimpia sanoja tarkistettiin useasta lähteestä sekä sanakirjoista, että internetin käännösohjelmissä. Englanninkielisten sanojen kääntämiseen käytettiin pääsääntöisesti MOT-sanakirjaa ja TEPA-termipankkia. Aina ei kuitenkaan ollut saatavilla yksiselitteistä vastausta.

Tiedon etsiminen oli kaiken kaikkiaan haasteellista. Tutkimusjulkaisuja aiheesta oli hyvin rajallisesti, ja niistä moni pohjautui samoihin alkuperäisiin tutkimuksiin. Internetistä oli haasteellista etsiä tietoa, koska oikeanlaisten hakusanojen löytäminen ja käyttäminen tiedon haussa oli tärkeää ja oikeiden termien löytäminen välillä haastavaa. Lisäksi tiedon paikkansapitävyys oli välillä arveluttavaa, koska jotkut tutkimukset olivat vanhoja. Tutkimuksessa pyrittiin käyttämään erilaisia sanavaihtoehtoja ja muotoja suomeksi ja englanniksi parhaan mahdollisen hakutuloksen aikaansaamiseksi.

Kansainvälisen materiaalin käyttäminen ja samanlaisen tutkimustiedon saaminen usesta lähteestä lisäsivät tutkimuksen luotettavuutta. Lähteitä olen etsinyt itsenäisesti paperijulkaisuista ja internetistä sekä lähestymällä suoraan sähköpostilla esimerkiksi komposiittimateriaalia valmistavia yrityksiä ja viranomaisia. Osa keräämistäni tiedoista pohjautuu Yhdysvaltojen, Australian ja Suomen viranomaisten julkaisemiin tutkimuksiin ja julkaisuihin.

Ainut lähdeaineistoissa ilmennyt ristiriita on tieto siitä, minkä kokoiset kuituhiukkaset kulkeutuvat suu- ja nenäontelosta aina alveoleihin asti. Ramulu & Kramlich mainitsee tutkimuksessaan eri arvoja kuin mitä on mainittu työterveyslaitoksen julkaisussa. Molemmat viitearvot vaativat samanlaista suojautumista pelastustehtävällä. Näin ollen en näe tällä ristiriidalla olevan suurta merkitystä omien tutkimustulosteni luotettavuuden näkökulmasta.

8.2 Oma oppiminen

Aloittaessani opinnäytetyötä komposiittimateriaali oli itselleni vain yksi materiaali muiden joukossa ilman tarkempaa käsitystä siitä, mitä se oikeasti on, mistä se on tehty, mihin sitä käytetään tai

millaisia mahdollisia terveyshaittoja sillä voi olla. Komposiittimateriaalista puhuttaessa ensimmäisenä tuli silloin mieleeni lähinnä hiilikuitu, en osannut esimerkiksi pitää lasikuitua yhtenä komposiittimateriaalina. Opinnäytetyön edetessä selvisi, miten paljon erilaisia komposiittimateriaaleja onkaan olemassa ja miten laajaa niiden käyttö tänä päivänä on.

Pelkkiä polymeerimatriisikomposiitteja on paljon, koska lujitekuituja on useita yhtä lailla kuin matriisissa käytettäviä muovilaatujakin. Lisäksi liikennevälineissä käytetään metalli- ja keraamimatriisikomposiitteja, jotka ovat vielä oma lukunsa. Tiedon lisääntyessä jäin välillä miettimään, mistä kaikesta pitäisi opinnäytetyössä kertoa. Palaaminen opinnäytetyöprosessin vaiheisiin ja tutkimusongelmaan auttoi opinnäytetyön rajaamisessa.

Minulla on pitkä tausta sopimuspalokuntalaisena, olen käynyt pelastajakurssin ja ollut puolustusvoimien kertausharjoituksissa ilmavoimien palveluksessa. Näistä kaikista saamieni tietojen ja kokemuksen kautta moni opinnäytetyössä esille sittemmin tullut asia oli minulle jo tuttua asiaa. Pohdinkin paljon, onko tutkimuksellani merkitystä vai teenkö turhaa työtä. Keskustellessani kurssitovereiden kanssa huomasin kuitenkin, etteivät suojautuminen ja komposiittimateriaalit ole toisille välttämättä kovin tuttu aihe eikä riittävää tietoa pelastustoimenkentältä välttämättä löydy. Tämä antoi uskoa tutkimukseni merkittävyydelle, ja uskon saamieni tulosten auttavan ymmärtämään aihetta paremmin ja herättämään kiinnostusta asian laajemmalle tutkimiselle.

8.3 Jatkotutkimukset

Tämä tutkimus käsittelee liikennevälineissä ja rakennuksissa käytettäviä polymeerimatriisikomponentteja. Tie- ja vesiliikennevälineissä ja ilma-aluksissa käytetään myös metalli- ja keraamimatriisikomposiitteja, ja siitä voisi tehdä jatkotutkimuksen. Näin saataisiin entistä laajempaa näkökulmaa komposiittimateriaalien aiheuttamista haitoista ja vaikutuksista pelastustoimessa. Näen tämän tärkeänä aiheena, koska pelastustoimi tarvitsee tietoa komposiittimateriaaleista ja komposiittimateriaalin haitoista riittävän suojautumisen mahdollistamiseksi.

Onnettomuuspaikalle mentäessä on vaikeaa tunnistaa, mitä komposiittimateriaalia onnettomuuteen joutuneessa liikennevälineessä on ja missä sitä sijaitsee. Autoihin on saatavilla pelastuskortti, josta pelastushenkilöstö pystyy paikallistamaan autossa sijaitsevat turvatyynyt ja niiden panokset sekä auton rungon vahvistetut kohdat. Tällöin autoa voidaan tarvittaessa leikata oikeaoppisesti ja mahdollinen ihmisten pelastaminen suoritetaan turvallisesti. Komposiittimateriaalien yleistyttyä pelastuskortteihin voisi olla hyödyllistä lisätä autoihin käytettyjen komposiittimateriaalien sijainti ja laatu. Ainakin isoista ilma-aluksista löytyy myös pelastuskortit. Pelastuskorttien käyttöönotto

päivittäiseksi rutiiniksi onnettomuustilanteissa olisi hyödyllistä. Tämä kehittämistyö olisi kannattavaa ja sillä olisi välitön vaikutus pelastajien työterveyshaittojen ehkäisemiselle.

Lento-onnettomuuksissa, joissa osallisena on palava matkustajalentokone, vapautuu kuituhiukkasia runsaasti ilmaan ja ympäristöön. Ensimmäiset paikalle saapuvat pelastusyksiköt sammuttavat paloa savusukellusvarustuksessa. Sammuttajat altistuvat kuituhiukkasille, pienet kuituhiukkaset tunkeutuvat kankaasta läpi, ja kuituhiukkasia jää sammutusasun kankaiden väliin. Sammutusasun puhdistamista kuituhiukkasista kannattaisi tutkia. Saadaanko imuroimalla ja pesemällä kaikki kuituhiukkaset pois, ettei käyttäjä altistu komposiitille enää uudelleen sammutusasua pukiessa?

Ramulu & Kramlich totesivat omassa tutkimuksessaan, että komposiittimateriaalin leikkaaminen aiheuttaa selvästi eniten kuituhiukkasia verrattuna esimerkiksi poraamiseen tai hiomiseen. Liikenneonnettomuuksissa pelastushenkilöstö joutuu irrottamaan ajoneuvoon puristuksiin jääneitä henkilöitä leikkaamalla ajoneuvon rakenteita. Esimerkiksi BMW i3 -henkilöauton kori on kokonaan hiilikuitua, ja tällöin altistumisen vaara vastaavissa onnettomuuksissa on vääjäämätön. Yksi tutkimusaihe voisi olla miten paljon hiukkasmääriä tällaisessa tilanteessa vapautuu ja se ovatko FFP2 hengityssuojain ja muut käytettävät suojarusteet todellisuudessa riittäviä.

LÄHTEET

Admorcomposites. www-dokumentti. https://www.admorcomposites.fi/wp-content/uploads/komposiitit-loputtomasti_mahdollisuuksia.pdf. 9.1.2022.

Ala-Kokko, V. 2021. Savusukellusopas. Pelastusopiston julkaisu. 2. uudistettu painos. Grano Oy Kuopio.

Asiatimes. www-dokumentti. https://asiatimes.com/2019/06/subway-train-of-the-future-makes-trial-run/?amp_markup=1. 2.3.2022.

Azomaterials. www-dokumentti. <https://www.azom.com/amp/article.aspx?ArticleID=14898>. 2.3.2022.

BMW. www-dokumentti. <https://www.bmw.com/en/performance/carbon-fiber-in-a-car.html>. 13.6.2021.

Cirrus Aircraft. www-dokumentti. <https://cirrusaircraft.com/aircraft/sr22/>. 10.9.2022.

Composites UK. www-dokumentti. <https://compositesuk.co.uk/composite-materials/introduction>. 8.1.2022.

Compositesworld. www-dokumentti. <https://www.compositesworld.com/amp/articles/the-markets-boatbuilding-and-marine>. 19.12.2021.

Consair. www-dokumentti. <https://polynhallinta.consair.fi/tyoterveys-ja-rakennuspoly>. 3.3.2022.

Doshine. www-dokumentti. <http://m.fi.doshinemateria.com/aramid-fiber/aramid-fiber-fabric-or-kevlar-fabric/>. 16.12.2021.

Duodecim. www-dokumentti. <https://www.terveyskirjasto.fi/asy00611>. 11.1.2022.

Edwards, C.W., Batten, T.W. & Black, J.E. 2015. Composite Material Hazard Assessment at Crash Sites. www-dokumentti. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a617988.pdf>. 12.7.2021.

Ekman, S. 2021. Onnettomuusalueen toimintojen järjestäytyminen.

Euroopan komissio. www-dokumentti. https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/FI/Safety/SkinIrritants_FI.htm. 15.1.2022.

Gandhi, S. & Lyon, R.E. 1998. Federal Aviation Administration. Health hazards of combustion products from aircraft composite materials. www-dokumentti. <http://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar98-34.pdf>. 29.12.2021.

Greenemeier, L. 2008. www-dokumentti. <https://www.scientificamerican.com/article/carbon-nanotube-danger/>. 16.12.2021.

Hallal, A., Elmarakbi, A., Shaito, A. & El-Hage, H. 2014. Overview of Composite Materials and their Automotive Applications. *Advanced composite materials for automotive applications Structural integrity and crashworthiness*. Wiley. Englanti.

Hengitysliitto. www-dokumentti. <https://www.hengitysliitto.fi/wp-content/uploads/2020/12/Asbestiopas-2019-saavutettava.pdf>. 3.3.2022.

Hindawi. www-dokumentti. <https://www.hindawi.com/journals/ijps/2015/243947/>. 27.9.2021.

Ilmailua. www-dokumentti. <https://www.ilmailua.uutisparkki.com/?p=1955>. 10.1.2022.

Jamk. www-dokumentti. <https://oppimateriaalit.jamk.fi/yamk-kasikirja/kirjallisuuskatsaukset/>. 1.1.2022.

Karppinen, T. 2021. Opinnäytetyö. Työturvallisuuden nykytila ja kehittämistarpeet pelastuslaitoksilla. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/356203/Karppinen.Tatu.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. 3.3.2022.

Keränen, J. 2018. Kandidaatintyö. Polymeerikomposiitit siviili-ilmailussa. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158949/kandidaatintyo_keranen_juho.pdf?sequence=1. 10.1.2022.

Keskinen, K.L. www-dokumentti. <https://docplayer.fi/17436869-4-kuormitusfysiologia-4-1-hengitys-ja-verenkiertoelimisto-kari-l-keskinen.html>. 16.12.2021.

Ketola, J. & Kokki, E. 2019. Pelastustoimen taskutilasto 2014–2018. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_D/D1_2019.pdf. 6.1.2022.

Kevra. www-dokumentti. <https://kevra.fi/tuotteet/>. 3.10.2021.

Koricho, E., Belingardi, G., Tekaling, A., Roncato, D., & Martorana, B. 2014. Crashworthiness Analysis of Composite and Thermoplastic Foam Structure for Automotive Bumper Subsystem. *Advanced composite materials for automotive applications Structural integrity and crashworthiness*. Wiley. Englanti.

Lukaszewicz, D.H.-J.A. 2014. Automotive Composite Structures for Crashworthiness. *Advanced composite materials for automotive applications Structural integrity and crashworthiness*. Wiley. Englanti.

Machinedesign. www-dokumentti. <https://www.machinedesign.com/news/article/21819322/material-helps-build-a-lightweight-train>. 2.3.2022.

Moottori. www-dokumentti. <https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/bmw-i3/>. 10.1.2022.

Mouritz, A.P. 2006. Australian Transport Safety Bureau. Fire Safety of Advanced Composites for Aircraft. www-dokumentti. https://www.atsb.gov.au/media/32739/grant_20040046.pdf. 5.1.2022.

Myhome. www-dokumentti. <https://myhome-fi.decoratex.biz/fasad/oblitsovka-fasada-doma-kakoy-material-luchshe-vyibrat>. 3.3.2022.

NASA. 2015. National Aeronautics and Space Administration. Carbon Structure Hazard Control www-dokumentti. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20150012180/downloads/20150012180.pdf>. 3.10.2021.

OSHA. United States Department of Labor. Occupational Safety and Health Administration. www-dokumentti. <https://www.osha.gov/otm/section-3-health-hazards/chapter-1>. 16.12.2021.

Park, S.Y. & Choi, W.J. 2017. Production Control Effect on Composite Material Quality and Stability for Aerospace Usage. *Advanced Composite Materials: Properties and Applications*. De Gruyter. Berlin

Peda. www-dokumentti. <https://peda.net/kemi/kemin-lyseon-lukio/oppiaineet2/kemia/k1ijek/arkstoke-1/o1k22/hk3/hiilivedyt/ah>. 5.1.2022.

Plastic. www-dokumentti. <https://www.plastic.fi/fin/muovitieto/muovit/komposiitti/>. 13.6.2021.

Ramulu, M. & Kramlich, J. 2004. Machining of fiber reinforced composites: Review of environmental and health effects. www-dokumentti. https://www.researchgate.net/profile/M-Ramulu/publication/303155598_Machining_of_fiber_reinforced_composites_Review_of_environmental_and_health_effects/links/57694a2508ae1a43d23a2f7a/Machining-of-fiber-reinforced-composites-Review-of-environmental-and-health-effects.pdf. 22.7.2021.

Rinne, M. 2014. Pelastustieto 4/2014. www-dokumentti. https://pelastustieto.fi/wp-content/uploads/2019/12/PT_4_2014_altistuminen.pdf. 7.3.2022.

Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa, V. 2007. Komposiittirakenteet. www-dokumentti. Sisällyslueetelo - Komposiittirakenteet (lujitemuovi.fi). 14.6.2021.

Saarikivi, M., Handelberg, J., Holmberg, T. & Matilainen, A. 2008. Selvitys lujitemuovikomposiittituotteiden mahdollisuuksista rakennusteollisuudessa. www-dokumentti. http://pyk2.aalto.fi/julkaisut/n-sarja/N-82_Julkaisun_e-versio.pdf. 3.3.2022.

Seibert J.F. 1990. Composite Fiber Hazards. www-dokumentti. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA233924.pdf>. 29.12.2021.

Siivous. www-dokumentti. <https://www.siivous.info/kotityot-siivousohjeet/hepa-suodatin-e12-h13>. 23.12.2021.

Suomisanakirja. www-dokumentti. <https://www.suomisanakirja.fi>. 2.10.2021.

Taylor, R.P. 2008. Australian Transport Safety Bureau. Fibre composite aircraft-Capability and safety. <https://www.atsb.gov.au/media/27758/ar2007021.pdf>. 11.1.2022.

Tokeva. www-dokumentti. <https://tokeva.fi>. 29.12.2021.

Tukes. www-dokumentti. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/henkilosuojaimet>. 3.3.2022.

Työsuojelu. www-dokumentti. <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/kemialliset-tekijat/syopavaara/syopasairauden-vaaraa-aiheuttavat>. 23.12.2021.

Työterveyslaitos. www-dokumentti. <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/kemikaalit-ja-tyo-altistumistietosivusto/kvartsi-kiteinen-piidioksidi#main-content>. 3.3.2022.

Työterveyslaitos. www-dokumentti. <https://www.ttl.fi/teemat/tyoterveys/ammattitaudit/asbestin-aiheuttama-keuhkosyopa-ja-mesotelioma>. 3.3.2022.

Työterveyslaitos. Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn tavoitetasomuistio. www-dokumentti. <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/12/hengittyva-ja-alveolijakeinen-poly-tavoitetaso.pdf>. 22.7.2021.

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.

UPMProfi. www-dokumentti. <https://www.upmprofi.com/fi/kestava-terassi/>. 3.3.2022.

Valmistajat. www-dokumentti. <https://valmistajat.fi/materiaalit/komposiitit/komposiittimateriaalit>. 6.1.2022.

VirtualVTT. www-dokumentti. http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/kpl_1_4.htm. 3.3.2022.

Wheatley, A., Warren, D., & Das, S. 2014. Development of Low-Cost Carbon Fiber for Automotive Applications. *Advanced composite materials for automotive applications Structural integrity and crashworthiness*. Wiley. Englanti.

LIITE 1

TOIMINTA OHJEITA KOMPOSIITTIMATERIAALI ONNETOMUUKSIIN

Selvitä

- Komposiittimateriaalin sijainti ja määrä onnettomuuskohteessa.

Määritä

- Välittömän vaaran alue, vaara-alue ja pelastustoiminnan alue. Ota huomioon sääolosuhteet ja tuulen suunta, lähestyminen tulee tapahtua tuulen yläpuolelta.

Varoita

- Tuulen alapuolella ja lähistöllä olevia ihmisiä sulkemaan ikkunat, ovet ja ilmanvaihto. Järjestä tarvittaessa suojaväistö.
- Estä tarvittaessa kohteen yläpuolelta lentäminen, jotteivat pöly ja kuituhiukkaset leviä ilma-aluksista lähtevien ilmavirtausten mukana.

Suojaudu

- Välittömän vaaran alueella käytä suojautumiseen sammutusasua, turvakenkiä, nahkahansikkaita, nitrilikumisia alushansikkaita sekä paineilmahengityslaitetta. Jos onnettomuustilanteessa ei ole paloa, riittävät suojautumiseen kertakäyttöinen kemikaalisuojapuku, nahkahansikkaat, turvakengät, tiiviit silmäsuojaimet ja hengityksensuojain suodattimella.
- Vaara-alueella suojaudu kertakäyttöisellä kemikaalisuojapuvulla, turvakengillä, FFP3-hengityksensuojaimella, tiiviillä silmäsuojaimella ja nahkahansikkailla.

Huomioi

- Sammuttaessa palavaa komposiittimateriaalia älä käytä suorasuihkua ja kovaa painetta. Näin ehkäistään komposiittipölyn ja kuituhiukkasten leviäminen laajemmalle.
- Vaara-alueella ei tule ruokailla. Ennen ruokailua tulee vaihtaa vaatteet ja peseytyä hyvin.
- Tiedota ensihoitoa ja vastaanottavaa sairaalaa potilaiden haitallisille aineille altistumisesta.
- Ensihoitajien tulee suojautua kertakäyttöisellä kemikaalisuojapuvulla, FFP3-hengityssuojaimella, tiiviillä silmäsuojaimella ja hansikkailla.
- Tilanteen päätteeksi, jos saa luvan. Sekoita vahaa veteen ja suihkuta komposiittimateriaalien päälle tai laita muovipressu komposiittimateriaalin päälle. Näin ehkäistään pölyn ja kuituhiukkasten leviämistä.
- Välittömän vaaran alueelta poistuttaessa huolehdi pelastushenkilöstön suojarusteiden huuhtelusta tai imuroinnista HEPA imurilla. Muiden onnettomuudelle altistuneiden henkilöiden komposiittipölylle ja kuituhiukkasille kontaminoituneet vaatteet tulee riisua välittömän vaaran alueella ja henkilöt tulee huuhdella.
- Pelastustehtävän lopuksi huolehdi, että likaiset varusteet laitetaan tiiviiseen pussiin tai astiaan ja kuljetetaan huoltoon. Kertakäyttöiset suojarusteet tulee sulkea tiiviiseen pussiin ja toimittaa suoraan roskeen.
- Onnettomuustilanteen jälkeen huolehdi, että varustehuollon aikana käytetään asianmukaisia suojaimia.

LIITE 2

Veneissä käytetyt komposiittimateriaalit, sijainti ja suojautuminen

Veneet	
Komposiittimateriaalit	Lasikuituvinyyliesteri Lasikuitupolyesteri Lasikuitupolyuretaani Hiilikuituepoksi Lasikuituepoksi
Komposiittirakenteet	Runko Laipio Kansirakenteet Jäykisterakenteet
Suojautuminen	Sammutusasu/kevyt sammutusasu FFP3-hengityssuojain Paineilmalaite, venepaloissa Nahkahansikkaat Turvakengät Tiivit silmäsuojaimet

LIITE 3

Ajoneuvoissa käytetyt komposiittimateriaalit, sijainti ja suojaus.

Ajoneuvot	
Komposiittimateriaalit	Lasikuitupolypropyleeni Lasikuitupolyesteri Lasikuituvinyyliesteri Hiilikuituepoksi Luonnonkuitupolyesteri Hiilikuitupolypropyleeni Aramidikuitupolypropyleeni
Komposiittirakenteet	Runko Lokasuojat Puskurit Kojelauta Lattiamatto Istuimet Sisustuselementit Törmäyksen vastaanottavat rakenteet Kuljetuskontit ja säiliöt
Suojaus	Sammutusasu/kevyt sammutusasu FFP3-hengityssuojain Paineilmalaite, ajoneuvopaloissa Nahkahansikkaat Turvakengät Tiiviit silmäsuojaimet

LIITE 4

Ilma-aluksissa käytetyt komposiittimateriaalit, sijainti ja suojautuminen.

Ilma-alukset	
Komposiittimateriaalit	Lasikuitufenoli Hiilikuituepoksi Lasikuituepoksi Lasikuitubismaleimidi Aramidiepoksi Booriepoksi Hiilikuitubismaleimidi Hiilikuituvinyliesteri
Komposiittirakenteet	Runko Siivet Ohjaimet Tutkakuvut Pyrstö Lattiat Sisäpinnat Ulkopinnat Propellit Roottorinlavat
Suojautuminen	Onnettomuuspaikan suoja-alue Kertakäyttöinen kemikaalisuojapuku FFP3-hengityssuojain Turvakengät Tiiviit silmäsuojaimet Nahkahansikkaat Onnettomuuspaikan välittömän vaaran alue (ei tulipaloa) Kertakäyttöinen kemikaalisuojapuku (jalkasuojat ja huppu) Hengityssuojain suodattimella (pölyt, höyryt, kuidut) Turvakengät Tiiviit silmäsuojaimet Nahkahansikkaat Onnettomuuspaikan välittömän vaaran alue (tulipalo) Sammutusasu Paineilmalaite Turvakengät Nahkahansikkaat