

Kuitulujitteisten muovien paloturvallisuus laivoissa

Tuula Hakkarainen, Antti Paajanen ja
Timo Korhonen

4.9.2019

VTT – beyond the obvious

Sisältö

- FIBRESHIP-projekti lyhyesti
- Lujitemuovien käyttö laivanrakennuksessa: edut ja haitat
- Materiaalitutkimus FIBRESHIP-projektissa
- Testimenetelmät ja tulossuureet
- Tulokset
- Yhteenveto ja päätelmät
- Kiitokset



lyhyesti

- “Engineering, production and life-cycle management for the complete construction of large-length fibre-based ships” (FIBRESHIP)
 - FIBRESHIP-hankkeen tavoitteena on mahdollistaa yli 50 metrin pituisten laivojen rungon ja kansirakenteiden valmistamisen kuitulujitteisista muoveista
- EU:n Horisontti 2020 tutkimus- ja innovaatorahoitusohjelma
 - **Yhteiskunnallinen haaste:** Älykäs, ympäristöystävällinen ja yhdentynyt liikenne
 - **Kesto:** kesäkuu 2017–toukokuu 2020 (36 kk)
 - **Kustannukset:** ~11 M€
 - **Konsortio:** 18 jäsenorganisaatiota 10 EU-maasta
 - **Teknologian valmiusaste:** 7–9

FIBRESHIP-projektin haaste

- Lujitemuovien käyttö yli 50 m aluksissa on rajoitettu sekundaarirakenteisiin ja komponentteihin, johtuen pääosin
 - materiaalien kestävyteen ja **paloturvallisuuteen** liittyvistä ongelmista,
 - suunnittelu- ja tuotantomenetelmien kehitystarpeista,
 - ohjeistuksen puutteesta.
- FIBRESHIP vastaa haasteeseen
 - tutkimalla lujitemuovikomposiittien turvallista käyttöä laivanrakentamisessa,
 - laatimalla uusia suunnittelu- ja tuotantomenetelmiä ja -ohjeita,
 - kehittämällä ja validoimalla numeerisia simulointityökaluja.



Lujitemuovien käyttö laivanrakennuksessa:

Etuja

- Mekaaninen kestävyys, korroosio-kestävyys → pienempi huoltotarve ja -kustannukset
- Keveys → suurempi lasti-kapasiteetti, polttoainesäästöt, pienemmät kasvihuonekaasupäästöt
- Joustavuus suunnittelussa ja esteettiset näkökohdat
- Materiaalien kierrätettävyys

Haittoja

- Hinta
- Monimutkainen tuotantoprosessi
- Materiaalit ovat palavia
- SOLAS-rajoitus yli 500 GT:n laivoissa (pituus n. 50 m)

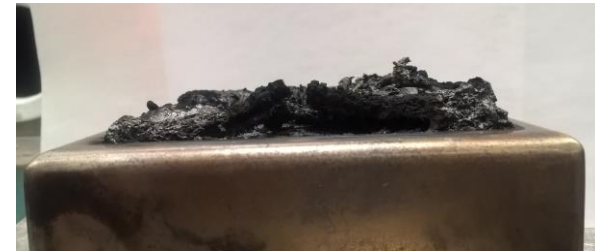
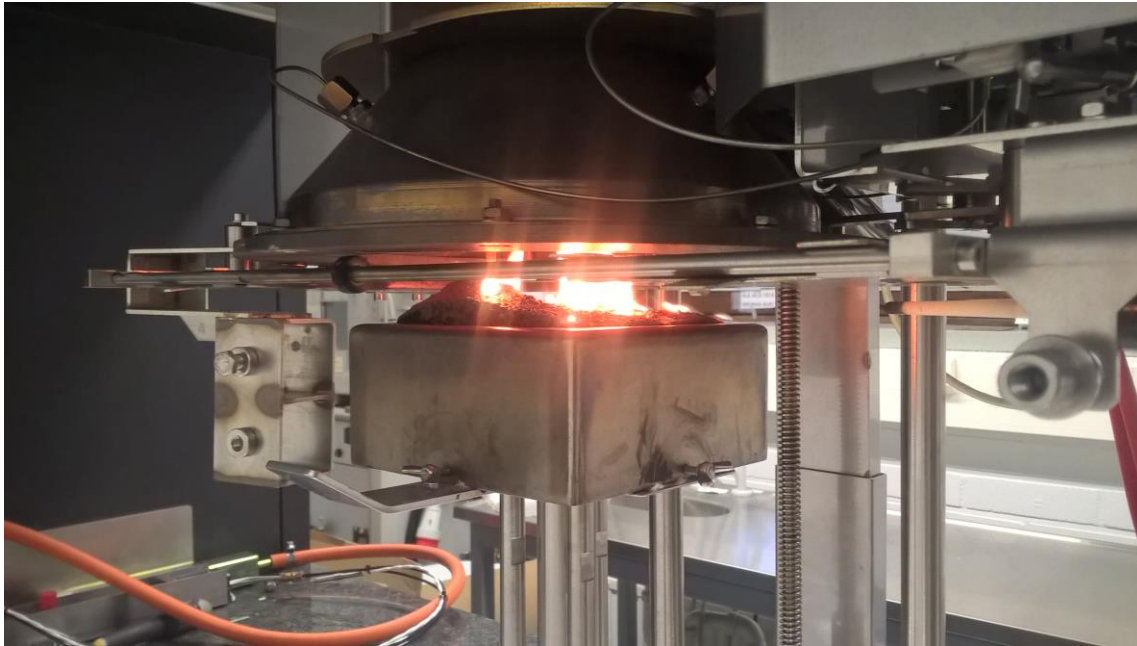
Materiaalitutkimus FIBRESHIP-projektissa

- Laaja kaksivaiheinen koeohjelma, jossa kartoitettiin lujitemuovi-materiaalien ja -ratkaisujen fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia sekä **palo-ominaisuuksia**
- Vaihe 1: seitsemän kaupallisesti saatavilla olevaa hartsijärjestelmää eri hartsiluokista. Tutkittiin näiden materiaaliehdokkaiden
 - termistä hajoamista kovetettujen hartsien termogravimetrisellä analyysillä (TGA),
 - palo-ominaisuuksia lasikuituvahvisteisten komposiittilaminaattien kartiokalorimetrikokeilla.
- Vaihe 2: kahden valitun hartsijärjestelmän tarkempi analysointi
- Pyrolyysimallinnus → syötetiedot palosimulointiin

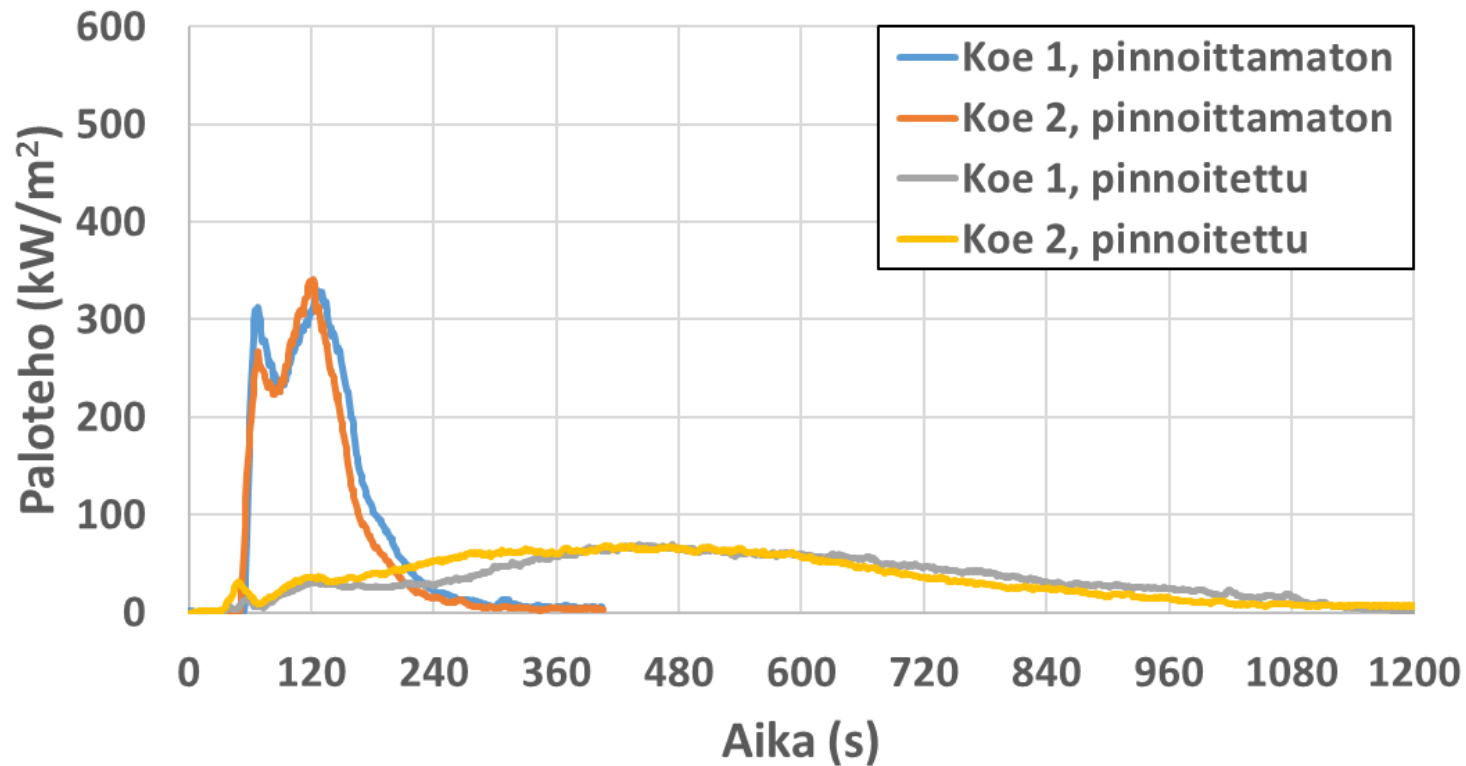
Testimenetelmät ja tulossuureet

TESTIMENETELMÄ	VAIHE	TULOKSET
Kartiokalorimetri	1 & 2	Syttymisaika, lämmön- ja savuntuotto, massahäviö, tehollinen palamislämpö
TGA	1	Massahäviö lämpötilan funktiona
MCC	2	Lämmöntuotto lämpötilan funktiona
DMTA	2	Mekaanisten ominaisuuksien lämpötilariippuvuus, lasisiirtymälämpötila
DSC	2	Ominaislämpökapasiteetti
TPS	2	Lämmönjohtavuus

Kartiokalorimetrikoe (säteily esim. 50 kW/m²)



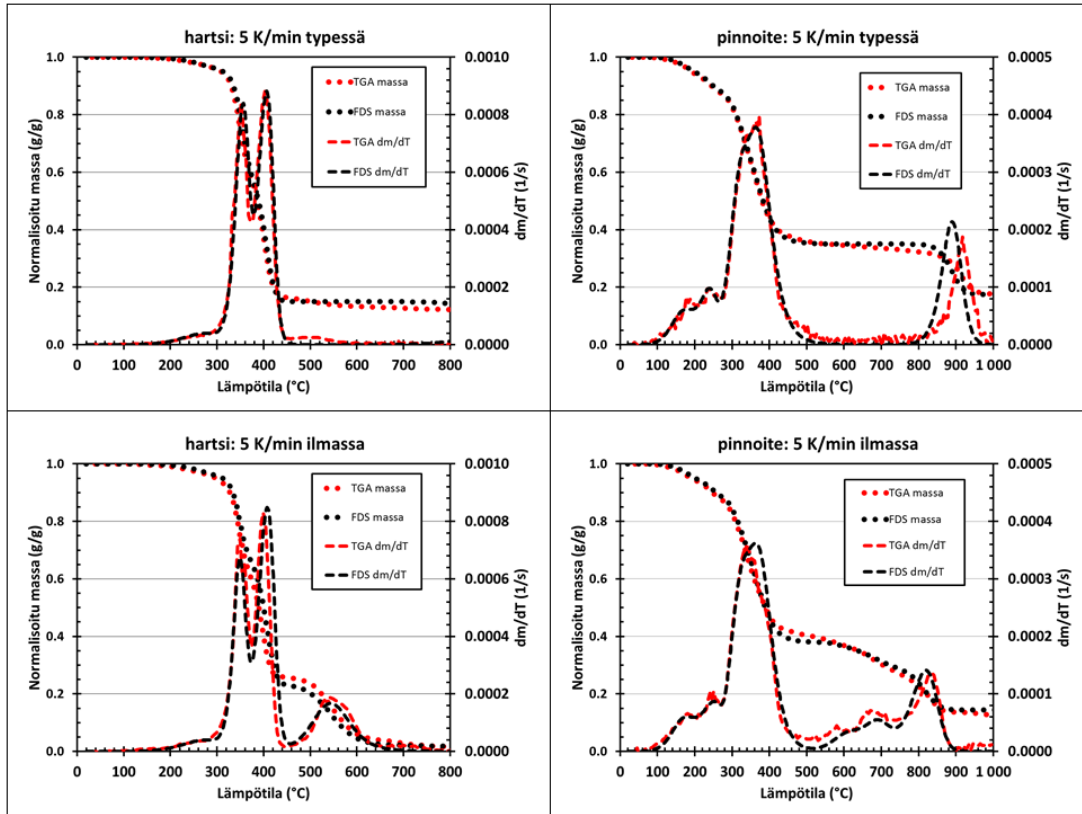
Hartsiluokka	Tuote	<i>syttymisaika</i> t_{ig} (s)	<i>lämmöntuotto- maksimi</i> HRR_{max} (kW/m ²)	<i>kokonais- lämmöntuotto</i> THR (MJ/m ²)	<i>kokonais- savuntuotto</i> TSP (m ²)
Vinyyliesteri	LEO ei pinn.	50	336	33,5	15,1
	LEO pinn.	75	69	42,3	8,8
Ureetaaniakryl.	Crestapol 1210	44	314	35,4	9,3
Epoksi	Prime 27	60	496	39,4	10,7
Epoksi	SR1125 ei pinn.	53	546	42,5	13,5
	SR1125 pinn.	52	261	40,7	9,3
Bioepoksi	SuperSap CLR	61	520	42,0	12,0
Fenoli	Cellobond J2027X	101	71	9,9	0,4
Kestomuovi	Elium	23	255	40,7	1,8

a) LEO-järjestelmä @ 50 kW/m²

Tulokset

- Cellobond J2027X:lla (fenoli) oli parhaat palo-ominaisuudet niin syttymisajan kuin lämmön- ja savuntuotonkin suhteen.
- LEO (vinyyliesteri) ja SR 1125 (epoksi) testattiin sekä pinnoitettuna paisuvalla pinnoitteella että pinnoittamattomana. Pinnoitteella oli huomattava vaikutus palo-ominaisuuksiin, erityisesti lämmön- ja savutuottokäyrien muotoon.
- Materiaalivalinta vaiheeseen 2: palo-ominaisuuksien lisäksi huomioitiin myös mekaaniset ominaisuudet, valmistustekniset reunaehdot, kustannukset, kierrätettävyys ja työterveysvaikutukset.
- Valinta: LEO ja SR1125, molemmat pinnoitettuna
- Cellobond J2027X karsiutui valmistusteknisten vaatimusten vuoksi (korkea infuusio- ja kovetuslämpötila).

Pyrolyysimallinnus



Kuva 3. Mallinnetut (FDS) ja kokeelliset (TGA) massahäviöt LEO-järjestelmän hartsille ja pinnoitteelle työssä (yläkuvat) ja ilmassa (alakuvat) lämmitysnopeudella 5 K/min.

Yhteenveto ja päätelmät (1/2)

- Lujitemuovien palokäyttäytymistä voidaan huomattavasti parantaa sopivilla paisuvilla pinnoitteilla. Paisuva pinnoite vaiheeseen 2 valittujen laminaattien pinnalla on välttämätön riittävän hyvien palo-ominaisuuksien saavuttamiseksi.
- Palo-ominaisuuksien lisäksi on huomioitava esim. mekaaniset ominaisuudet, valmistustekniset vaatimukset, kustannukset, kierrätettävyys ja työterveysnäkökohdat.
- Vaiheen 2 kokeissa havaittiin eräitä epä johdonmukaisia tuloksia. Tehdyt havainnot korostavat toistettavan ja hallitun valmistusprosessin tärkeyttä.
 - Prosessi on ohjeistettava, valvottava ja raportoitava perusteellisesti.
 - Laminaattien ja pinnoitteiden tulee olla tasalaatuisia, jotta kokeiden perusteella määritetyt palo-ominaisuudet voidaan varmistaa.
 - Tarkat määrittelyt ja laadunvalvonta ovat keskeisessä roolissa, kun halutaan varmistaa materiaalien ja tuotteiden paloturvallisuus.

Yhteenveto ja päätelmät (2/2)

- TGA- ja MCC-kokeet: kovettujen hartsien massahäviö alkaa tyypillisesti vähän yli 300 °C:n lämpötilassa sekä inerteissä että hapettavissa olosuhteissa. N. 300 °C:n lämpötilassa lujitemuovista tehty rakenne alkaa tuottaa palavia kaasuja ja myötävaikuttaa paloon.
- Lujitemuovien lasisiirtymälämpötilat ovat tyypillisesti 100 °C:n suuruusluokkaa. Tässä lämpötilassa materiaali pehmenee ja alkaa menettää kuormankantokykyään.
- Lujitemuovirakenteilla on taipumus lämmetä paikallisesti, koska niiden lämmönjohtavuus on melko alhainen. Paikallisen palon tapauksessa keskeiset paloturvallisuusriskit ovat palavien kaasujen muodostuminen ja lämmöntuotto. Jos palo uhkaa suurta rakennetta, kuten osastopalon tapauksessa, pääongelma on materiaalin pehmeneminen ja kantokyvyn menetys.



Kiitokset

www.fibreship.eu

- Tämä projekti on saanut rahoitusta Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta perustuen rahoitus sopimukseen nro 723360.
- Kiitämme:
 - the Irish Centre for Composites Research –teknologiakeskus: lujitemuovinäytteiden valmistus
 - Antti Pasanen (VTT Oy): TGA-kokeet ja –analyysit
 - Sanna Järvinen (VTT Expert Services Oy): kartiokalorimetrikokeet

bey⁰nd

the obvious

Tuula Hakkarainen
tuula.hakkarainen@vtt.fi
+358 40 593 2542

@VTTFinland

www.vtt.fi