

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Infratekniikka

2010

Jesse Lindholm

ESISELVITYS MUOVIKOMPOSIITIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDESTA SILLAN VÄLITUKIPILARIN PINNOITTEENA

– kloridirasitusta vastaan



OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka | Infratekniikka

Toukokuu 2010 | sivumäärä 39 + 5 liitesivua

Tilaaaja: Jyrki Hämäläinen, Ins., SiltaExpert Oy

Valvoja: Maarit Järvinen, DI; Pirjo Oksanen, DI

Jesse Lindholm

ESISELVITYS MUOVIKOMPOSIITIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDESTA SILLAN VÄLITUKIPILARIN PINNOITTEENA

Tämä opinnäytetyö käsittelee muovikomposiittimateriaaleja, niiden ominaisuuksia sekä mahdollisuutta käyttää muovikomposiitteja sillan betonisen välitukipilarin pinnoitteena. Tässä tutkimuksessa selvitetään perusteet muovilajeista ja lujitteista sekä tarkastellaan niiden ominaisuuksia. Teoriaosuudessa käydään läpi betonin suojausmenetelmät ja siltoihin kohdistuvista rasituksista tarkemmin kloridirasitus. Kloridirasitusta betonirakenteille aiheuttaa tien kunnossapidossa käytetty tiesuola, merituulen ja -veden kuljettama suolapitoinen vesi.

Työn tavoitteena on tutkia lujitemuovien käyttömahdollisuuksia betonin pinnoituksessa ja selvittää perusteet lujitteista sekä muoveista SiltaExpert Oy:lle. Aiheeseen perehdytään kirjallisuuden ja lujitemuovivalmistajilta saatujen tietojen avulla. Lujitemuovien valmistajilta selvitetään käytössä olevia materiaaleja sekä vertaillaan niiden teknistä soveltuvuutta betoniin.

Kehitysehdotuksina SiltaExpert Oy:lle ovat joko itsenäinen koulutus muovialaan ja sen kautta oma tuotekehitys tai yhteistyö lujitemuovivalmistajien kanssa. Kehitysehdotus laaditaan muovikomposiitin ja betonin teknisten materiaalitietojen pohjalta. Muovikomposiitin käytön mahdollistaminen betonisen välitukipilarin pinnoitteena vaatisi teknisten materiaali-vertailujen lisäksi tarkempaa kokeellista tutkimusta. Teoreettisen tiedon pohjalta voidaan todeta, ettei muovikomposiitti sovellu betonin pinnoitukseen kosteusongelmien vuoksi. Opinnäytetyössä päädytään lujitemuovivalmistajien kanssa tehtävään yhteistyöhön, koska muovialan koulutus vaatisi suuria resursseja. Työ antaa SiltaExpert Oy:lle tiedon muovikomposiittien perusteista sekä niiden tuotekehittelyn vaatimuksista sekä Suomessa toimivista lujitemuovivalmistajista ja saatavilla olevasta muovialan koulutuksesta.

ASIASANAT:

Lujitemuovit, lujitteet, muovit, sillat, komposiitit.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Community Infrastructure Engineering

May 2010 | 39 pages + 5 appendices

Instructor: Jyrki Hämäläinen, B. (Eng.), SiltaExpert Ltd

Supervisor: Maarit Järvinen, M.Sc. (Eng); Pirjo Oksanen, M.Sc. (Eng.)

Jesse Lindholm

PRELIMINARY REPORT ON POSSIBILITIES TO USE PLASTIC COMPOSITE COATING FOR BRIDGE PIER

The subject of this Bachelor's thesis was plastic composite materials, their qualities and the opportunity to use them as coating for concrete bridge pier. In this project the basics of plastics and fibers are researched and their qualities are explored. The theoretical part of the thesis consists of protecting methods for concrete and the stresses that bridges face, especially stress caused by chloride. These are caused by the salt used in road maintenance and by sea water and saltwater brought along by the wind.

The purpose of the thesis was to examine the possibility of using fiber reinforced plastic as concrete coating and to clarify the basics of the plastics and fibers for SiltaExpert Ltd. The subject was approached by studying relevant literature and facts provided by fiber reinforced plastic manufacturers. The manufacturers were asked about the materials, which were then compared with the specifications of concrete.

The suggestion for development for SiltaExpert Ltd is to train personnel in plastics theory and do some independent research or to cooperate with fiber reinforced plastic manufacturers. The suggestion was based on theoretical facts about concrete and reinforced plastics. The applicability of reinforced plastic as coating requires more detailed practical tests and analyses. In theory to use reinforced plastic as coating is not possible because of humidity problems. In this thesis cooperation is the choice that SiltaExpert Ltd needs to make because it requires less resources. The thesis gives the basics of fiber reinforced plastic and discusses the requirements of product development with manufacturers.

KEYWORDS:

fiber reinforced plastics, bridges, composites

SISÄLTÖ

KÄSITTEET	6
1 JOHDANTO	8
2 BETONIN KLORIDIRASITUS	9
3 BETONIN SUOJAUSMENETELMÄT	11
3.1 Betonin tiiveys	11
3.2 Impregnointi	12
3.3 Pinnoitteet	12
4 MUOVIKOMPOSIITIT	14
4.1 Muovit	15
4.2 Muovien raaka-aineet	16
4.3 Muovien jako	17
4.3.1 Kestomuovit	18
4.3.2 Kertamuovit	19
4.4 Lämmön ja kosteuden vaikutus muoveihin	19
4.5 Lujitteet	21
4.5.1 Lasikuidut	22
4.5.2 Hiilikuidut	24
4.5.3 Aramidikuidut	25
4.5.4 Muut orgaaniset kuidut	27
5 MUOVIKOMPOSIITIN VALINTA	29
5.1 Muovikomposiittien raaka-aineet	29
5.2 Muovikomposiittirakenteiden ominaisuudet	30
5.3 Betonin ominaisuudet	31
5.4 Muovikomposiittituotteiden ominaisuudet	32
5.5 Keskinäinen vertailu	32
6 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	35
6.1 Kehitysehdotus	35
6.2 Tutkimuksen arviointi	37
LÄHTEET	39

Käsitteet

Alkalinkestävyys	Kuvaa materiaalin kykyä sietää vahvaa emäksistä ainetta.
Hartsi	Usean kemiallisen yhdisteen seos, jolla ei ole sulamispistettä. Muovikomposiiteissa kertamuovien raaka-aine, joka sisältää seos- ja apuaineita.
Karbonatisoituminen	Ilman hiilidioksidi tunkeutuessaan betoniin alentaa sen huokosissa olevan veden emäksisyyttä, jonka johdosta betoniraudoitteet altistuvat korroosiolle.
Kimmomoduli/ kimmokerroin	Kuvaa materiaalin jännityksen ja venymän suhdetta aksiaalisessa jännitystilassa (kaikilla vektoreilla on sama suunta).
Kopolymeeri	Polymeeri, joka koostuu 2 eri monomeeristä.
Laminaattirakenne	Kahden tai useamman kalvon yhdistetty rakenne. Muovikomposiiteissa esimerkiksi kahdesta lujitekerroksesta muodostuva rakenne.
Monomeeri	Yksittäinen molekyyli, joka pystyy yhdessä toisten molekyylien kanssa muodostamaan polymeerin.
Murtovenymä	Kappaleen venymä määrä sen murtotilassa.
Polymeeri	Monomeerien liittyessä kemiallisesti yhteen muodostuu polymeeri.

Ilman suhteellinen kosteus

Kertoo ilmassa olevan todellisen vesihöyryn määrän suhteessa kyllästysmäärään. Ilman kyllästyshöyrypitoisuus riippuu ilman lämpötilasta.

PH

Kertoo aineen emäksisyyden arvojen 0-14 välillä. PH:n ollessa alle 7 aine on hapan ja yli 7 se on emäksinen.

1 Johdanto

Suomen vaihteleva ilmasto luo haasteita niin uudis- kuin korjausrakentamiselle. Erityisesti vesistöjen läheisyydessä sääilmiöt ovat usein voimakkaita verrattuna suojaisiin ympäristöihin. Suomessa sillat ovat usein näiden ankarien olosuhteiden armoilla, koska nykypäiväisessä yhdyskuntarakenteessa ihmisten liikkuminen on mahdollistettava ja luotava mahdollisimman turvalliseksi.

Suurin osa Suomen silloista on tällä hetkellä peruskorjasiässä. Tämä tarkoittaa sitä, että niiden rakentaminen on aloitettu 1960-luvulla, sillä siltojen peruskorjaus tehdään yleensä niiden ollessa 30-40 vuoden iässä. Siltojen kuntoon vaikuttavat eniten ympäristöstä aiheutuvat rasitukset. Nämä rasitukset heikentävät siltojen rakenteita ja lyhentävät käyttöikä.

Voimakkaimmat rasitukset kohdistuvat silloissa reunapalkkeihin, maatukiin, välitukipilareihin ja sillan kansilaataan. Rasituksia aiheuttavat liikenne, liukkauden ehkäisyssä käytetty tiesuola ja merivedestä peräisin oleva suola. Näiden rasitusten aiheuttamia vaurioita lisäävät talven pakkaset ja kesän kuumuus.

Vaurioiden syntymistä sekä etenemistä voidaan vähentää suojaustoimenpiteillä. Opinnäytetyössä tutkitaan suojausmenetelmiä ja niissä käytettäviä materiaaleja. Tutkimuksessa selvitetään muovikomposiittien käyttömahdollisuuksia vanhojen betonirakenteiden suojaamiseen. Tutkimuksessa esitetään komposiittimateriaaleja, joiden käyttö voisi olla mahdollista teräsbetonisissa välitukipilareissa. Tutkimus pohjautuu muovi- ja lujitemateriaaleja käsittelevään kirjallisuuteen sekä muovialan yritysten kehittämiin komposiitti tuotteisiin. Tutkimus antaa muovikomposiitin jatkokehitysehdotuksen betonin pinnoittamiseen SiltaExpert Oy:lle.

2 Betonin kloridirasitus

Siltojen välitukipilareihin kohdistuu eri rasituksia, jotka heikentävät rakennetta. Ulkoisiksi rasitustekijöiksi luetaan esimerkiksi: kosteus välillisenä tekijänä, kloridit ja muut ympäristön epäpuhtaudet, ilman hiilidioksidipitoisuus, pakkasen ja lämpötilan vaihtelut, liikenteen, virtaavan veden ja jään aiheuttama kuluminen, merivesi ja merituuli. Kyseisiä rasitustekijöitä voimistavia betonin ominaisuuksia ovat: huono tiiveys, pinnan halkeilu, voimakas karbonatisoituminen ja vähäinen suojahuokosten määrä. Rasituksista aiheutuu betonille halkeilua, terästen korroosiovaurioita, rapautumista ja törmäysvaurioita. Vauriot aiheutuvat yleensä monen eri rasitustekijän summasta. (Tiehallinto 2007, 5.)

Siltojen betonirakenteiden säilyvyyteen vaikuttavat eniten ympäristörasitukset. Ympäristörasituksia silloissa ovat meriveden/merituulen kuljettama suola, talvikunnossapidossa käytetty tiesuola ja vaihteleva sää, jotka aiheuttavat betonille kloridirasitusta. Kloridirasituksessa kosteuden mukana kulkeutuvat kloridit tunkeutuvat huokoiseen teräsbetonirakenteeseen ja sitä kautta saavuttavat rakenneteräkset ajan kuluessa ja käynnistävät terästen ruostumisen. Terästen pinta-ala pienenee korroosion johdosta, mikä olennaisesti heikentää rakennetta ja vähentää näin sillan käyttöikää. (Tiehallinto 2007, 5.)

Betonin sisällä olevat kloridit siirtyvät rakenteessa diffuusion eli väkevyserojen tasaantumisen kautta. Betonin kuivuminen välillä ei pysäytä kloridien tunkeutumista, vaan betonin sisällä olevan kloridipitoisen veden avulla kloridit pääsevät tunkeutumaan syvemmälle kapilaarisesti huokosten kautta. (Salparanta & Kuosa 2008, 1.)

Kloridipitoisuudet voivat vaihdella sillan rakenteiden eri osissa. Suurimmat pitoisuudet ovat useimmin sillan maatumien siipimuureissa tai reunapalkeissa. Nämä rakenteet altistuvat useimmin vedelle ja sen mukana kulkeville klorideille.

Tämän vuoksi kloridipitoisuuden määrittäminen voi olla tarpeellista useasta eri kohdasta samaa rakennetta ja eri syvyydeltä. Pitoisuuksien eroihin vaikuttaa esimerkiksi se, että sade huuhtelee rakenteen pintaa ja vähentää näin pinnan pitoisuutta. Kloridit eivät kuitenkaan poistu rakenteesta veden haihtuessa. Toisaalta syvemmällä rakenteessa olevat kloridit eivät huuhtoudu sateen mukana ja pitoisuudet voivat olla korkeampia siellä. Nykyään välitukipilareita, jotka altistuvat esimerkiksi tien vieressä suolapitoiselle vedelle, huuhdellaan puhtaalla vedellä kloridien poistamiseksi betonin pinnoilta. Se ei kuitenkaan poista syvemmälle betoniin tunkeutuneita klorideja, minkä vuoksi rakenne tulisi suojata jo ennen kuin ne ovat päässeet tunkeutumaan riittävän syväälle. (Salparanta & Kuosa 2008, 2.)

Karbonatisoituminen vaikuttaa myös betonin vesiliukoiseen kloridipitoisuuteen. Se voi vapauttaa alun perin sideaineen mukana tulleita klorideja. Vapautuvat kloridit saattavat edetä betonissa kuten siihen tunkeutuneet kloridit. Tästä johtuen betonin suojaaminen pinnoittamalla, ajankohta tulee ottaa huomioon. (Salparanta & Kuosa 2008, 2.)

3 Betonin suojausmenetelmät

Kloridirasitusta vähentäviä betonin suojaustoimenpiteitä ovat impregnointi ja pinnoitus (Tiehallinto 2007, 5). Lisäksi betonin tiivyyteen voidaan vaikuttaa betonin valmistuksen yhteydessä. Näiden menetelmien avulla vähennetään tai estetään kloridipitoisen veden tunkeutuminen kapillaarihuokosten kautta betonirakenteeseen.

Edellytyksenä ulkobetonirakenteen pinnoitukseen tai impregnointiin on se, että suojatun pinnan taakse ei pääse kerääntymään kosteutta. Kerääntyvä kosteus on erityisen suuri riski, jos pinnoite ei päästä lävitseen yhtä suurta määrää kosteutta kuin rakenteen sisäosista vapautuu. Suoja-aineiden käsittely on uusittava ajoittain, uusintaväli riippuu aineesta, olosuhteista ja vaatimustasosta. (Salparanta & Kuosa 2008, 1, 4.)

3.1 Betonin tiiveys

Betonin tiiveydellä on oleellinen merkitys kloridien tunkeutumiseen. Betonin valmistuksessa käytettävällä vesi-sementtisuhteella vaikutetaan betoniin muodostuvien kapillaarihuokosten määrään ja yhtenäisyyteen. Myös kiviaineksen rakeisuuden ja hienoainesmäärän optimoinnin avulla pystytään tiivistämään betonia. Lisäksi seosaineiden kuten silikan käytöllä voidaan vaikuttaa tiiveyteen. Silika parantaa sementtipastan ja kiviaineksen rajapinnan tiiveyttä, mutta toisaalta pienentää sementtikiven kykyä sitoa klorideja ja laskee huokosveden emäksisyyttä. Muita tiiveyteen vaikuttavia tekijöitä ovat muottimateriaalin valinta, jälkihoito sekä valun yhteydessä tiivistäminen. (Salparanta & Kuosa 2008, 2.)

3.2 Impregnointi

Siltojen rakenneosia, kuten reunapalkkeja ja muita betonipintoja, suojataan impregnoimalla. Nämä suoja-aineet tunkeutuvat betonissa oleviin huokosiin ja muodostavat näkymättömän, vettä hylkivän kerroksen rakenteen pintaan ja samalla lujittavat pintakerrosta. Huokokset ja kapillaarit ovat sisäpuolisesti pinnoittuneita, mutta eivät kokonaan täyttyneitä (Salparanta & Kuosa 2008, 1, 4).

Tavallisesti impregnointiaineet ovat silaani-, siloksaani- tai silikoniyhdisteitä, jotka luokitellaan epäorgaanisiin tai orgaanisiin polymeereihin. Impregnointiaineiden tehokkuus perustuu lähinnä aineen vedenhylkimisominaisuuteen. Koska ne estävät pintavesien tunkeutumisen betoniin, pakkasvauriot vähenevät ja kloridien tunkeutuminen rakenteeseen hidastuu. (Tiehallitus 1990, 10, 11.)

Impregnointiaineina käytettävien silaaneiden alkalinkestävyys on heikko. Siksi vettä hylkivä impregnointi tulee ajoittaa niin, että pinta on ehtinyt karbonatisoitua ja sen pH on laskenut riittävästi. Pääsääntöisesti impregnointi tehdään 6 kk rakenteen valmistumisen jälkeen. Jotkin impregnointiaineet kestävät paremmin vahvoja emäksisiä aineita ja niiden levitys voidaan suorittaa aikaisemmin. Toimenpide kannattaa tehdä pintakuivalle betonille, jolloin se imeytyy paremmin. Betonin optimaalinen kosteus on 50 %:n suhteellinen kosteus. Suomessa betoni ei ole käytännössä koskaan liian kuiva vettä hylkivän impregnoinnin kannalta. (Salparanta & Kuosa 2008, 4.)

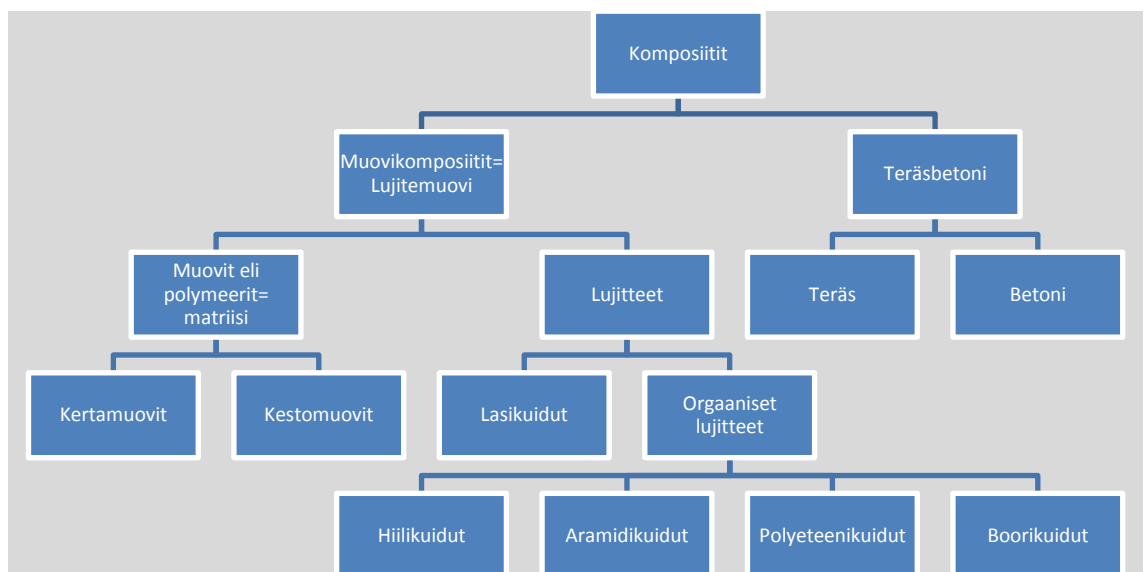
3.3 Pinnoitteet

Orgaanisia maaleja käytetään silloissa sekä teräsosien että betonipintojen suojaukseen. Osa soveltuu käytettäväksi betonin ja osa teräksen kanssa, vaikka niiden pinnat ovatkin maalausaluksina täysin erilaisia. Betonipinta on huokoinen, epähomogeeninen ja hauras sekä kemiallisesti aktiivinen. Sen huokosissa on suoloja ja kosteutta, minkä vuoksi se halkeilee helposti. Betonipintojen maaleilta vaaditaan tunkeutuvuutta, alkalinkestävyyttä, hyvää tarttuvuutta ja joustavuutta. (Tiehallitus 1990, 12.)

Orgaanisten maalien ohella betonin suojaukseen käytetään sementtipohjaisia maaleja, joissa on polymeerisiä ainesosia. Siltojen suojaukseen käytettävät maalit ovat lähes poikkeuksetta nestemäisiä tuotteita, jotka nimetään tavallisesti sideaineen mukaan. Betonin suojaus polymeerisillä maaleilla (yleensä epoksilla) voidaan tehdä joko ilman esisivelyä tai esisivelyllä. Esisivelyyn käytetään silaani-, polymeeri- tai sementtipohjaisia tuotteita. (Tiehallitus 1990, 12.) Muovikomposiittien käyttö betonin suojausmenetelmänä luetaan pinnoitteisiin.

4 Muovikomposiitit

”Komposiitti on yleisnimi kaikille kahden tai useamman materiaalin yhdistelmille, joissa materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole lienneet tai sulautuneet toisiinsa” (Airasmaa ym. 1991, 17). Muovikomposiitit kuuluvat komposiittien alaryhmään (Kurri ym. 2008, 137). Muovi toimii rakenteellisissa sovelluksissa komposiitin matriisina eli sitovana ainesosana (Kurri ym. 2008, 137). Matriisina voi olla useampi muovi, jolloin niitä yhdessä kutsutaan jo muovikomposiitiksi (Airasmaa ym. 1991, 17,18). Usein kuitenkin muovikomposiitti muodostuu matriisiin ja lujitteen yhdistelmästä, josta käytetään myös nimitystä lujitemuovi (Airasmaa ym. 1987, 70). Kuviossa 1 kuvataan komposiittien muodostuminen.



Kuvio 1. Komposiittien muodostuminen.

”Rakennusteollisuus on yksi maailman suurimmista komposiittien käyttäjäistä. Jo vuonna 1999 sen osuus oli 35 % komposiittien kokonaiskulutuksesta. Viime vuosikymmenen aikana lujitetuilla polymeerikomposiiteilla on korvattu

kasvavissa määrin perinteisiä kantavien rakenteiden materiaaleja.” (Saarikivi ym. 2008, 3). Kuvassa 1 on muovikomposiitista rakennettu ylikulkusilta.



Kuva 1. Muovikomposiittisilta (Saarikivi ym. 2008, 10, Fiberline Composites).

Komposiiteilla on hyviä ominaisuuksia, ja ne soveltuvat moneen käyttötarkoitukseen. Näitä ovat muun muassa keveys, korroosion kesto sekä työstön ja käsittelyn helppous. Tästä huolimatta niiden käyttö rakennusteollisuudessa Suomessa on ollut suhteellisen vähäistä verrattuna perinteisiin materiaaleihin. Vähäisen käytön on katsottu johtuvan muun muassa suunnitteluohjeiden, teollisten standardien ja kokeneiden suunnittelijoiden puutteesta. Myös rakennusviranomaisten ja suurten rakennusliikkeiden varovaisuus uusia tuotteita kohtaan on ollut osasyynä vähäiseen muovikomposiittituotteiden tarjontaan. Komposiittien käyttö esimerkiksi siltojen ja laitureiden materiaalina tulee yleistymään, niin kuin on jo käynyt paineputkien, säiliöiden ja kattorakenteiden rakentamisessa. (Saarikivi ym. 2008, 3, 8, 9, 10.)

4.1 Muovit

Muovien suosio yhdyskuntarakentamisessa kasvaa jatkuvasti. Tästä on hyvä esimerkki kuvassa 2 esiintyvä Saksan Hesseniin rakennettu moottoritien ylittävä

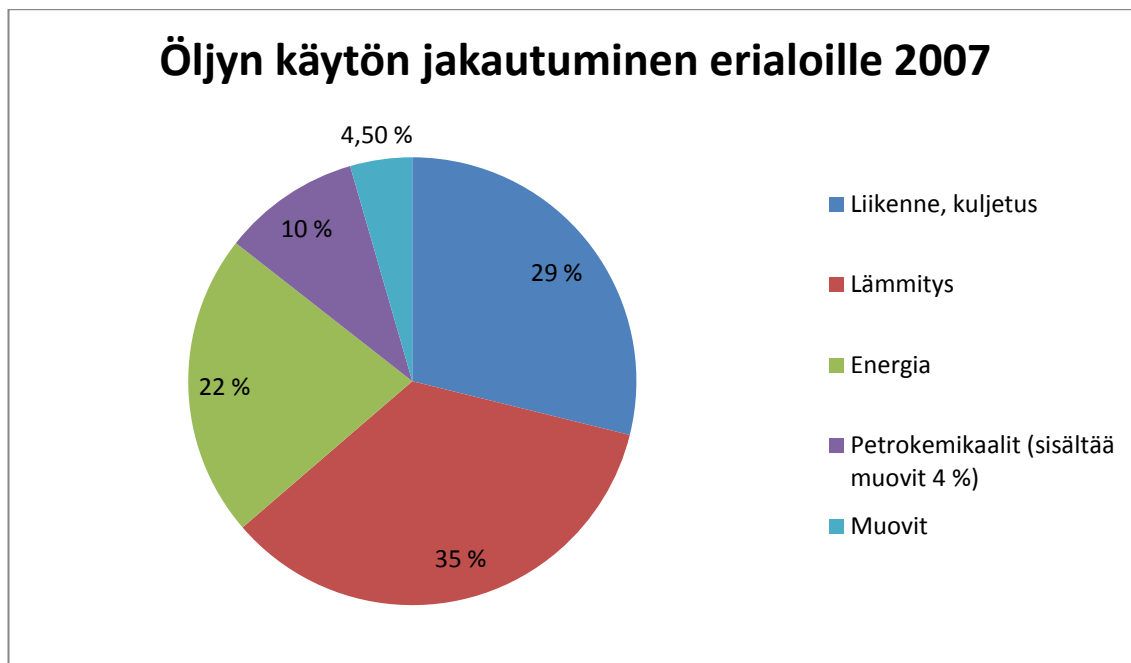
27-metrinen uuden sukupolven muovinen maantiesilta. Sillan kansilaatta on valmistettu lasi- ja hiilikuitulujitetuista kertamuovirakenteista, jotka on liitetty valamalla teräksisiin tukiin. Sillan kantavuus on 80 tonnia ja sillan paikalleen asennus kesti noin yhden työpäivän. Lyhyestä asennusajasta johtuen liikenteelle aiheutuva häiriö oli vain hetkellinen. (Muoviteollisuus Ry, 1.)



Kuva 2. Lujitemuovinen silta (Muoviteollisuus Ry, PlasticsEurope).

4.2 Muovien raaka-aineet

Muovien valmistusaineena käytetään öljyä ja fossiilisia raaka-aineita kuten hiiltä ja maakaasua. Nykyisin näille perinteisille raaka-aineille etsitään korvaavia tuotteita kuten biohajoavat muovit, joita valmistetaan maidosta, sokerista ja rypsiöljystä. Vaikka muovin valmistuksessa käytettävä öljymäärä on vain noin 4-5 % öljyn kokonaiskulutuksesta, on syytä nykyaikaisessa yhteiskunnassa keskittyä kestäväen kehityksen kannalta vaatimukset täyttäviin muovituotteisiin ja niiden kehittämiseen. Muovien käyttämä öljymäärä on suhteellisen pieni verrattuna suurimpiin öljyä käyttäviin aloihin. Suurimpia aloja, jotka käyttävät öljyä, ovat liikenne ja kuljetus, lämmitys ja energia. Kuviossa 2 on esitetty eri alojen käyttämät öljymäärät. (Kurri ym. 2008, 15, 18, 19.)

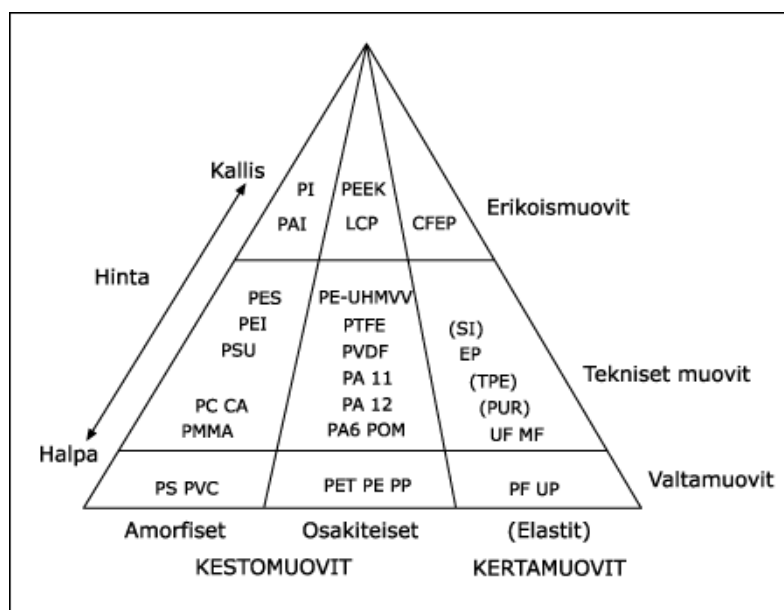


Kuvio 2. Muoviteollisuus ry 2007 (Kurri ym. 2008, 20).

4.3 Muovien jako

Muovit voidaan jakaa kesto- ja kertamuoveihin. Jako perustuu muovien rakenteen muovattavuuteen (Kurri ym. 2008, 19). Kestomuoveja voidaan sulattaa korkealla lämpötilalla ja muovata uudelleen, kun taas kertamuovit menettävät muotonsa täysin eikä niitä voida enää muovata uudelleen (Järvinen 2000, 15).

Toinen tapa jakaa muovit ryhmiin on tehdä jako käytön mukaan. Näin muovit koostuvat kolmesta ryhmästä: valtamuoveista, teknisistä muoveista sekä erikoismuoveista. Valtamuovit ovat hinnaltaan edullisimpia ja erikoismuovit taas kalliimpia. (Kurri ym. 2008, 19, 20.) Kuviossa 3 on esitetty eri muovilaatujen hintataso.



Kuvio 3. Muovien hinta, Muoviteknologia (Vienamo).

4.3.1 Kestomuovit

Yhdensuuntaisesti suorita tai haarautuneita polymeeriketjuja muodostavia muoveja kutsutaan kestopuoveiksi. Kestomuoveissa poikittaisia sidoksia on vähän tai ei lainkaan ja näin niiden suuntaiset voimat ovat heikkoja. Lämmitettäessä poikittaiset sidokset katkeavat ja kestopuovit sulavat, mikä mahdollistaa muovien uudelleen muovattavuuden lämmön avulla. (Kurri ym. 2008, 23.) Valtamuovit, tekniset muovit ja erikoismuovit ovat useimmiten kestopuoveja.

Valtamuovit ovat käyttömäärältään suuri kestopuovi. Valtamuoveja ovat esimerkiksi polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polyvinyylidikloridi (PVC) sekä solupolystyreeni (EPS). Muovikassit on esimerkiksi valmistettu polyeteenistä. Rapisevat pakkaukset kuten sipsipussit, kalvot, köydet voivat olla polypropeenista valmistettuja. Polyvinyylidikloridia ja solupolystyreeniä käytetään pääasiassa rakentamisessa esimerkiksi putkistojen ja eristeiden rakennusmateriaalina. (Järvinen 2000, 20, 24, 26, 30.)

Teknisiä muoveja ovat esimerkiksi styreenin kopolymerit (ABS), Polyeteenitereftalaatti (PET) ja biohajoavat polymeerit. Niistä valmistetaan iskun

kestäviä, sitkeitä ja edullisia tuotteita kuten kännykän kuoria, juomapulloja ja kompostoitavia pakkauksia. (Järvinen 2000 40, 42, 58.)

Erikoismuoveja ovat esimerkiksi polysulfoni (PSU), Polyeetterisulfoni (PES) ja termoplastiset polyamidit (PAI ja PEI). Näitä erikoismuoveja käytetään esimerkiksi lääke- ja elintarviketeollisuudessa, verhoilumateriaaleina ja elektroniikkakoteloissa. Erikoismuovit ovat vähän käytettyjä niiden korkean hintatason vuoksi. (Järvinen 2000, 15, 62.)

4.3.2 Kertamuovit

Kertamuovi on polymeeri, jonka monomeerien yhteen liittyminen valmiiksi tuotteeksi on kemiallinen reaktio. Tätä ilmiötä kutsutaan silloittumiseksi tai kovettumiseksi. Silloittuminen aikaan saadaan kemiallisesti kovettajan, lämmön ja uv-säteilyn avulla. Kertamuovien polymeerien sidokset ovat sekä pitkittäisiä että poikittäisiä. Tätä kutsutaan ristosilloittumiseksi. Reaktio on palautumaton eli kertamuovituotetta ei voida muovata uudelleen. Kertamuoveja käytetään pinnoitteisiin, maaleihin ja liimoihin. Kertamuovien osuus Suomessa käytetyistä muoveista on noin 5 %. Yleisimmin käytettyjä kertamuoveja ovat polyuretaanit (PUR), tyydyttymätön polyesteri (UP), epoksit (EP), vinyyliesterit (VE), fenoliformaldehydit (PF), aminomuovit (MF ja UF). (Järvinen 2000, 67; Kurri ym. 2008, 24.)

4.4 Lämmön ja kosteuden vaikutus muoveihin

Muovit voidaan jakaa niiden rakenteen perusteella amorfisiin, osakiteisiin ja elastisiin muoveihin. Amorfisilla muoveilla on järjestyttömät rakenne kun taas osakiteisillä muoveilla on säännöllinen järjestys, koska osakiteiset muovit eivät ole täysin 100 prosenttisesti järjestyneet niitä kutsutaan osakiteisiksi. Elastisilla muoveilla on suuri liikkuvuus ja palautumiskyky. Elastit jaetaan kumeihin ja termoplastisiin elasteihin. (Kurri ym. 2008, 24, 53.)

Muovisulan jähmettyessä se muodostaa muovilajista riippuen joko osittain kiteisen tai lasittuneen amorfisen rakenteen. Lämpötilaa, jossa lasittuminen tapahtuu, kutsutaan lasittumislämpötilaksi (T_g). Kun polymeerit ovat saavuttaneet lasittumislämpötilan, niiden tiheydessä ja pituuden

lämpötilakertoimessa tapahtuu suuria muutoksia. Lasittumislämpötilan alapuolella polymeeriketjut jähmettyvät paikoilleen, mikä näkyy niiden tilavuuden pientymisenä. Lujitteilla ei yleensä ole vaikutusta lasittumislämpötilaan, mutta ne vähentävät muovin pehmentymistä. (Kurri ym. 2008, 53.)

Kestomuovien mekaaniset ominaisuudet, kuten jäykkyys ja lujuus putoavat viidesosaan niiden suurimmassa käyttölämpötilassa. Amorfisilla kestomuoveilla on kaksi merkittävää muutoslämpötila-alueita. Lasittumislämpötilassa amorfinen muovi muuttuu jäykästä tilasta kumimaiseksi. Tämä muutos tapahtuu melko laajalla lämpötila-alueella esimerkiksi 20-30 °C välillä. Lasittumislämpötilaksi ilmoitetaan alueen keskiarvo eli esimerkiksi 25 °C. Toinen tärkeä lämpötila amorfisilla muoveilla on lämpötila, jolloin se muuttuu juoksevaksi. Lasittumislämpötila on korkein käyttölämpötila amorfisilla muoveilla, koska sen yläpuolella jäykkyys pienenee huomattavasti. (Kurri ym. 2008, 61, 62.)

Osittain kiteisillä kestomuoveilla lasittumislämpötilalla on vaikutus vain amorfiseen osaan, mistä johtuen ne pystyvät käytännön käyttösovellutuksissa riittävän lujina. Osittain kiteiset kestomuovit pehmenevät vasta lähellä niiden sulamislämpötilaa (T_m). (Kurri ym. 2008, 62.)

Kertamuoveilla ainoa muutoslämpötila lasittumislämpötilan yläpuolella on se, jossa molekyyli rakenne alkaa lämmön vaikutuksesta hajota. Ennen hajoamislämpötilaa ominaisuudet heikentyvät vähäisesti. (Kurri ym. 2008, 61.)

Muovit jäykistyvät lämpötilan laskiessa, koska niiden molekyyli rakenteen liikkuvuus pienenee. Osakiteisten muovien amorfiset alueet lasittuvat. Alimman käyttölämpötilan määrää muovin haurastuminen. Haurastumislämpötilaksi sanotaan lämpötilaa, jolloin kappaleesta murtuu puolet hauraasti tietyissä koeolosuhteissa. Tätä koetta sanotaan pudotus- tai iskukokeeksi, ja sen on standardissa ISO 974. (Kurri ym. 2008, 62; Höök 2010, 8.)

Yleisimmät kestomuovit voivat imeä pieniä määriä vettä itseensä. Vesi voi pehmentää muovin rakennetta sekä vaikuttaa kappaleen ominaisuuksiin ja mittoihin. Mitä suurempi on ilman suhteellinen kosteus sitä enemmän muovi imee itseensä vettä. Muovilajeista esimerkiksi polyamidi imee itseensä

runsaasti vettä. Kosteuden sitoutuminen muoveihin riippuu täysin muovilajista ja olosuhteista. (Kurri ym. 2008, 62, 63.)

4.5 Lujitteet

Lujitemuovi on matriisiaineen ja lujitteen muodostama komposiitti. Lujitteen tehtävänä on parantaa kovetetun hartsin mekaanisia ominaisuuksia. (Airasmaa ym. 1987, 70.) Lujitteiden tarkoituksena on kantaa komposiittiin kohdistuvat kuormitukset. Matriisi sitoo lujitteet yhteen, suojaa niitä ja välittää kuormitukset lujitteille. Muovien joitain mekaanisia ominaisuuksia voidaan myös parantaa muilla lisä- ja täyteaineilla, mutta varsinaiseksi lujitteeksi katsotaan kuidut, sillä niiden pääasiallinen tehtävä on kuitenkin toimia jäykistävä osana. (Airasmaa ym. 1991, 102.)

Lujitekuiduista ylivoimaisesti käytetyin on lasikuitu, jonka osuus kaikesta lujitekäytöstä on lähes 99 % (Airasmaa ym. 1991, 102). Lasikuituja käytetään esimerkiksi vene-, autoteollisuudessa. Viime aikoina ovat yleistyneet orgaaniset lujitteet, koska niiden keveys- ja lujuusominaisuudet ovat parempia, niiden käyttöä kuitenkin rajoittaa korkea hintataso. Orgaanisia lujitteita ovat esimerkiksi hiilikuidut ja aromaattiset polyamidikuidut eli aramidikuidut. Näitä lujitteita käytetään lentokoneteollisuudessa ja urheiluvälineiden valmistuksessa. (Airasmaa ym. 1987, 70.)

Lasikuitujen ja orgaanisten lujitteiden lisäksi valmistetaan monia hybridikuituja, jotka koostuvat lasikuitujen ja orgaanisten lujitteiden yhdistelmästä. Hybridikuidut ovat huomattavasti orgaanisia kuituja edullisempia. Niiden ominaisuudet riippuvat käytettyjen lujitteiden keskinäisistä tilavuusosuuksista. Muita orgaanisia lujitteita ovat niin sanotut pintahuovat, joita valmistetaan polyakryylnitriilistä (PAN) ja polyesteristä (PETP). Näitä käytetään lujitemuoveissa, jotka vaativat hyvää korroosionkestoa. (Airasmaa ym. 1987, 70, 88.)

Tämän päivän lujitteita ovat luonnonkuidut, joita ovat esimerkiksi puu, villa ja pellava. Ne ovat huomattavasti ympäristöyställisempiä kuin orgaaniset kuidut. Luonnonkuitujen kehitys on kuitenkin niin alkuvaiheessa, että niiden käyttö

muovikomposiittimateriaaleissa lujitteena on vielä merkityksetöntä, mutta tulevaisuuden materiaaleja ne kyllä ovat.

Lujitteilla on erilaisia käyttömuotoja, jotka valitaan käyttökohteen tarpeiden mukaan. Muovikomposiiteissa käytettyjä käyttömuotoja ovat:

- jatkuvat kuidut ja langat
- lyhyet kuidut
- kudokset
- neulokset
- punokset
- matot ja huovat
- prepregit (teipit)
- kestopuoveilla pinnoitetut lujitekuidut
- seosaineet

(Kurri ym. 2008, 140, 141.)

4.5.1 Lasikuidut

Lasikuitujen valmistus kuituina keksittiin 1930-luvulla. Suurimpana lasikuidun käyttäjänä pidetään lujitemuoviteollisuutta. Lasikuitua valmistetaan jokaisessa maanosassa. (Airasmaa ym. 1991, 102.)

Lasikuitua on mahdollista valmistaa monesta eri lasityypistä. Kaupallisesti käytetään vain muutamia lasityyppejä. Vanhimpana lasityyppinä on käytetty A-lasia (Alkali glass), mutta sen huonon vedenkestävyyden vuoksi käyttö on lopetettu. (Airasmaa ym. 1991, 103.) Kuvassa 3 on lasikuitumattoa.



Kuva 3. Lasikuitua (Comprocks).

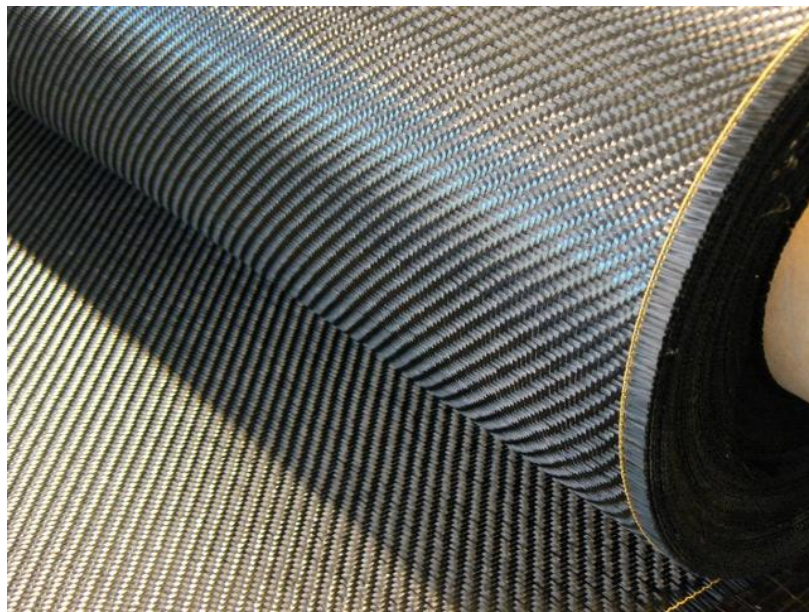
Nykyisin noin 99 % kaikesta käytetystä lasikuidusta on E-lasia. Sen hyvät sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet sekä kemiallinen kestävyys happamissa olosuhteissa perustuvat vähäiseen alkalipitoisuuteen, joka on alle 1 paino prosenttia (p- %). E-lasista on kehitetty myös muunnos, jota kutsutaan nimellä ECR-lasi (E-glass, Chemically Resistant). Se koostuu E- ja C-lasin yhdistelmästä, joka on hyvin mekaanista ja kemiallista rasitusta kestävä. (Airasmaa ym. 1991, 103.)

Kolmas lasityyppi on C-lasi, jota käytetään lujitemuoveissa erityisesti korroosio alttiissa ympäristöissä. C-lasista valmistettua pintahuopaa käytetään laminaatin pintakerroksessa. Laminaatti on useista kerroksista liimaamalla valmistettu rakenne, joka on erityisesti komposiittiteknikassa käytetty kuitulujitettu tuote.

Muita lasityyppejä ovat S-, R- ja AR-lasi (Alkali Resistant glass). S- ja R-lasi ovat E-lasia parempia kimmokertoimeltaan ja vetolujuudeltaan sekä niiden lämmönkestävyys on korkeampi. Niitä käytetään erityisesti lentokoneteollisuudessa. AR-lasi on kehitetty erityisesti sementin lujittamiseen ja se kestää korkeita alkalipitoisuuksia. (Airasmaa ym. 1991, 103, 534.)

4.5.2 Hiilikuidut

Hiilikuidut kuuluvat orgaanisiin lujitteisiin. Ne valmistetaan sopivaa lähtöainetta hiilittämällä. Tämä tapahtuu kontrolloidussa prosessissa. Hiilikuidun valmistusmenetelmät vaihtelevat sen mukaan mitä ominaisuuksia kuiduilta halutaan. Hiilikuiduiksi katsotaan kuitua, jonka hiilipitoisuus on yli 95 p- %. Hiilikuiduille on ominaista korkea kimmomoduli ja suuri lujuus. Siksi se soveltuu hyvin myös muovien lujittamiseen. Hiilikuitujen kehittämistä on vauhdittanut lentokone-, avaruusteollisuuden tarve saada yhä kevyempiä ja kestävämpiä materiaaleja. (Airasmaa ym. 1991, 110.) Kuvassa 4 on hiilikuitua mattona.



Kuva 4. Hiilikuitua (Comprocks).

Aluksi lähtöaineina käytettiin viskoosi- ja polyakryliniitrilikuituja (PAN). Viskoosikuitu menetti merkityksensä, koska siitä saatiin keskimäärin hiilikuitua vain 25 %, kun taas PAN-kuidusta saatiin huomattavasti enemmän jopa 45–55 %. Lisäksi viskoosikuidun valmistusmenetelmät olivat teknisesti monimutkaisemmat. (Airasmaa ym. 1991, 110.)

Hiilikuituja valmistetaan nykyisin myös luonnonasfaltista ja kivihiilitervasta. Näistä saanto voi olla jopa 85 %. Nämä ns. pikipohjaiset raaka-aineet ovat myös edullisempia kuin PAN-kuidut. Pikipohjaisten hiilikuitujen käyttöä kuitenkin

rajoittaa niiden alhainen vetomurtolujuus, hauraus ja vaikea käsiteltävyys. Niiden ominaispaino on myös korkeampi. Pikipohjaisia kuituja käytetään esimerkiksi asbestikuitujen korvaamisessa, betonin lujittamisessa sekä täyteaineena muoveissa. (Airasmaa ym. 1991, 111.)

Hiilikuituluokat

Hiilikuidut voidaan jakaa kolmeen eri laatuluokkaan kimmomodulin perusteella. Lisäksi neljäntenä luokkana voidaan pitää pikipohjaisia kuituja. Hiilikuitulaadun hinta kasvaa sen ominaisuuksien parantuessa. (Airasmaa ym. 1991, 114.)

Ensimmäinen luokka on SM-kuidut (Standard Modulus). Ne ovat standardisoituja kuituja ja niitä käytetään eniten. Näitä kuituja on kutsuttu myös suuren lujuuden tai suuren venymän kuiduiksi. Myös HT-kuitu (High Tenacity) nimitystä käytetään. SM-luokan kuiduilla on alhaisin kimmomoduli ja siksi ne ovat hiilikuitujen edullisin laatu. Tyypillistä SM-kuiduille on korkea vetomurtolujuus, murtovenymä ja n. 230 GPa kimmomoduli. SM-kuitujen lähtöaineena käytetään yleensä PAN-pohjaisia hiilikuituja. (Airasmaa ym. 1991, 114.)

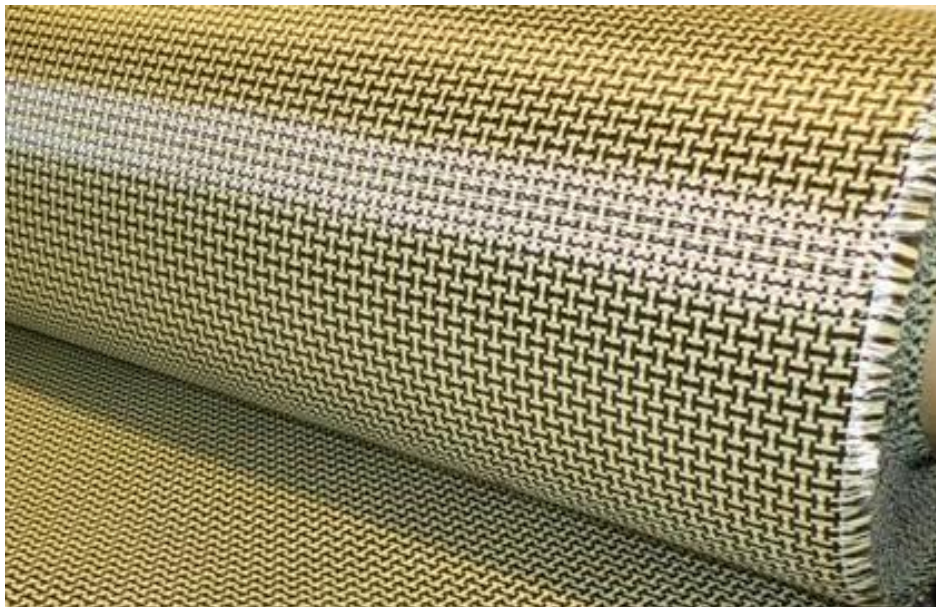
Toinen hiilikuitu luokka on IM-kuidut (Intermediate Modulus). Ne ovat nimensä mukaisesti keskijäykkiä kuituja. IM-kuitujen kimmomoduli vaihtelee 270 ja 320 GPa välillä. Niiden hintataso on vastaavasti SM-kuituja korkeampi. (Airasmaa ym. 1991, 115.)

Kolmas luokka on HM-kuidut (High Modulus). Nämä hiilikuidut omaavat korkean kimmomodulin, joka on noin 350 GPa tai suurempi. Niiden vetolujuudet ja murtovenymät ovat kuitenkin pienemmät kuin SM- ja IM-kuiduilla. Näitä hiilikuituja käytetään lentokone ja avaruusteollisuudessa. HM-kuitujen hinta on korkein kuituluokista. (Airasmaa ym. 1991, 115.)

4.5.3 Aramidikuidut

Aromaattisista polyamidikuiduista käytetään yleisesti nimitystä aramidikuidut. Ne kuuluvat orgaanisiin lujitteisiin. Ensimmäinen aramidikuitu valmistettiin 1965 ja se tunnetaan nimellä Kevlar. Kuidut valmistetaan kehräämällä polymeeriä. Kuitutuottajien on valmistettava itse valmistukseen tarvittavaa polymeeriä, sillä

sitä ei ole kaupallisesti saatavilla. (Airasmaa ym. 1991, 118.) Kuvassa 5 on aramidi- ja hiilikudun yhdistelmä kudosta mattona.



Kuva 5. Hybridikuitua (Comprocks).

Ominaisuudet

Aramidikuidut omaavat suuren vetomurtolujuuden ja kimmomodulin, mutta niiden murtovenymä on pienempi kuin muilla orgaanisilla kuiduilla. Muita heikkoja ominaisuuksia ovat huono tartunta matriisiin, uv-säteilyn kesto sekä alhainen puristuslujuus. Aramidikuitujen hyviä ominaisuuksia ovat korkea lämpötilan kesto sekä hyvä orgaanisten liuotteiden kesto. Aramidikuidut eroavat sitkeydellään, tekstiilikuitumaisuudellaan lasi- ja hiilikuiduista. Muista lujitteista poiketen aramidikuidut voivat imeä jonkin verran kosteutta, minkä on todettu heikentävän lujuus ominaisuuksia. (Airasmaa ym. 1991, 118, 123.)

Aramidikuitulaadut

Aramidikuitulaatuja on useita. Ensimmäisenä kehitetty Kevlar 49 on Yhdysvaltalaisen Du Pont yhtiön vuonna 1972 valmistama tuote. Yhtiö on edelleen aramidikuitujen suurimpia valmistajia maailmassa. Sen jälkeen Kevlarista on tullut useita muita laatuja joiden ominaisuudet ovat parantuneet. Aluksi Kevlar 49:llä oli lasikuitua korkeampi, mutta hiilikuitua pienempi

ominaiskimmomoduli. Myöhemmin kehitettiin Kevlar 149 eli Kevlar HM-kuitu, jonka kimmomoduli oli suurempi ja veden imeytyminen kuituun pienempi. Tämän jälkeen Du Pont on kehittänyt Kevlar 68 eli Kevlar HP-kuidun. Erityisesti Kevlar HP-kuitu on tarkoitettu muovien lujittamiseen. (Airasmaa ym. 1991, 119, 120.)

Euroopassa aramidikuituja valmistaa Akzon, joka on tunnettu myös pinnoitteiden, maalien ja eri tarkoituksiin soveltuvien massojen valmistajana. Se on tuonut jo 1982 markkinoille Twaron HM-kuidun muovien lujittamiseen. (Airasmaa ym. 1991, 120.)

Lujitemuoviteollisuudessa käytetään yleensä aramidikuidun ja lasi- tai hiilikuidun yhdistelmiä. Näin saadaan hyödynnettyä kustannustehokkaasti kaikkien kuitujen hyviä ominaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi lasikuidun alhainen hinta, hyvä taivutus ja puristuslujuus ja puolestaan aramidikuitujen kyky rajoittaa halkeamien leviämistä vaurion yhteydessä sekä estää murtuminen. Aramidikuidun ja hiilikuidun yhdistelmä on mahdollista, koska kuitujen lämpölaajenemisominaisuudet ovat samankaltaiset. Aramidikuitujen keveys, iskulujuus, sitkeys ja hyvät vaimennusominaisuudet täydentävät hiilikuitujen puristus- ja taivutuslujuutta. (Airasmaa ym. 1991, 121.)

Aramidikuidun tartunta matriisiin on yleensä heikko ja siksi matriisiin valintaa on kiinnitettävä erityisesti huomiota. Tämän vuoksi on kehitetty uusia viimeistelymenetelmiä sekä käsitelty kuituja kemiallisesti, jotta tartunta olisi parempi. Aramidikuidut soveltuvat kuitenkin samojen muovien lujittamiseen kuin lasi- ja hiilikuidut. (Airasmaa ym. 1991, 121.)

4.5.4 Muut orgaaniset kuidut

Polyeteenikuidut

Polyeteenikuidut ovat lähes samankaltaisia kuin aramidikuidut ominaisuuksiltaan sekä käyttökohteiltaan. Ne valmistetaan polymeeriliuoksesta kehräämällä. Poikkeuksena polyeteenikuidut eivät kestä kovin korkeita lämpötiloja varsinkaan kuormitettuna. Myös huono tarttuvuus matriisiin on otettava huomioon. Hyviä ominaisuuksia ovat:

- ominaisvetomurtolujuus
- kimmomoduli
- taivutusväsymislujuus
- iskulujuus
- iskusitkeys ja -lujuus
- mekaanisen kulutuksen kesto
- uv-säteilyn kesto

Kuituja voidaan käyttää sekä kerta- että kestopuovien lujittamisessa. Ainoa rajoitus on ettei lämpötila valmistuksen yhteydessä saa ylittää 120 °C. Tämän vuoksi matriisina voidaan käyttää vain muoveja, jotka sulavat alhaisessa lämpötilassa. Polyeteenikuituja käytetään esimerkiksi tuotteissa, jotka suojaavat viilloilta, räjähteiltä ja sirpaleilta. (Airasmaa ym. 1991, 124.)

Boorikuidut

Boorikuitujen käyttöä muovin lujitteena rajoittaa korkea hinta ja vaikea käsiteltävyys. Niiden tilalla käytetään hiilikuituja, jotka ovat huomattavasti edullisempia. Boorikuitujen korkea hinta johtuu valmistustavasta, jossa kemiallisella höyrypäällistyksellä pinnoitetaan wolframikuitua. Metallien lujittamisessa boorikuitujen sijaan käytetään piikarbidikuituja. (Airasmaa ym. 1991, 126.)

Piikarbidikuidut

Piikarbidikuidut valmistetaan samalla valmistusmenetelmällä kuin boorikuidut. Piikarbidikuituja käytetään lähinnä metallien lujittamiseen. Ne kestävät hyvin kuumuutta ja korroosiota. Ohuempia piikarbidikuituja käytetään myös muovien lujittamiseen. (Airasmaa ym. 1991, 127.)

5 Muovikomposiitin valinta

Muovikomposiittituotteita valmistetaan käyttötarkoituksen mukaan. Siltojen välitukipilareiden pinnoilla olosuhteet ovat tärkein kriteeri määritettäessä materiaalia, koska jatkuva lämpötilan vaihtelu, rakenteesta vapautuva kosteus ja ulkopuolella vallitseva ilman kosteus rasittavat ja aiheuttavat sisäisiä muutoksia rakenteessa. Myös materiaalikustannuksiin on kiinnitettävä huomiota, mutta olennaisinta on löytää teknisesti keskenään sopivat materiaalit, jotka suojaavat betonia ja estävät kloridien tunkeutumisen rakenteeseen. Muovikomposiitti ja betoni ovat monella tapaa erilaisia materiaaleja ja niinpä niiden yhteen liittäminen vaatii hyvää tartuntaa ja muovikomposiitilta mahdollisimman samanlaisia lämpölaajenemisominaisuuksia kuin betonilta. Lisäksi muovikomposiitin tulee kestää ympäristöstä aiheutuvat rasiustekijät. Betonin valmistuksessa pystytään jo ennalta varautumaan tuleviin rasituksiin betonilaatua määritettäessä, mutta toinen tapa on suojata jo olemassa olevaa betonia esimerkiksi pinnoitusaineilla.

Muovikomposiittituotteita valmistavilta yrityksiltä kysyttiin lisätietoa eri tuotteiden ominaisuuksista, mutta he eivät vastanneet tiedusteluihin. Taulukossa 1 esitettyjen muovikomposiittituotteiden materiaalitiedot on saatu Aikolon Oy:n verkkosivuilta. Laajempi tuotteiden vertailu olisi vaatinut tarkempia tai vähintään yhtä kattavia materiaalitietoja kuin Aikolon Oy:n myös muilta valmistajilta, mutta muilta tuotevalmistajilta ei löytynyt verkkosivuilta tarvittavia tietoja, eikä niitä myöskään annettu.

Muovikomposiittien mahdollisuuksia teoriassa betonin pinnoitukseen esitetään seuraavaksi.

5.1 Muovikomposiittien raaka-aineet

Lujitemuoveissa käytetään sekä kerta- että kestopuoveja. Kestomuovien lujuusominaisuuksia parannetaan kuituja lisäämällä ja jäykkyyttä täyteaineilla,

jotka molemmat parantavat muovin lämmönkestoa. Ruiskuvalettavien muovituotteiden raaka-aineena käytetään lujitettuja ja täytettyjä kestopuovigranulaatteja. Granulaatit ovat noin 2-3 mm halkaisijaltaan olevia muovirakeita. Toisena raaka-aineena käytetään kuiduilla lujitettuja kestopuovilevyjä. Käytettäessä lyhyt- ja pitkäkuituisia kestopuoveja voidaan valmistus tehdä ruiskuvalamalla, mutta jatkuvilla kuiduilla tuote on valmistettava erikoismenetelmin. Kertamuoveista muovikomposiiteissa käytetään yleisimmin tyydyttymätöntä polyesteriä (UP). (Kurri ym. 2008, 137, 138, 218.)

5.2 Muovikomposiittirakenteiden ominaisuudet

Lujitemuovien käyttöä rajoittavia tekijöitä ovat esimerkiksi valmistusmenetelmien hankaluus. Osa valmistusmenetelmistä ei vielä sovellu sarjatuotantoon. Lisäksi lämmönkestävyys on alhainen verrattuna esimerkiksi teräkseen. Suunnittelua vaikeuttaa laminaattirakenteiden lujuuslaskenta eikä materiaaleja ole yleensä standardoitu. Muovikomposiittien ominaisuuksiin vaikuttavat seuraavat tekijät:

- raaka-ainevalinnat ja niiden seossuhteet
- kuitujen ominaisuudet
- matriisin eli muovin ominaisuudet
- lujitteen hauraus/sitkeys
- kuiduista valmistetut lujiterakenteet ja niiden sijoittelu
- kuiturakenteen veto-, puristus- ja leikkauslujuus
- valmistuksen laatu

(Kurri ym. 2008, 145, 146.)

Muovikomposiittia valittaessa on ensin selvitettävä tuotteelta vaadittavia ominaisuuksia. Näin ollen betonin ominaisuudet on selvitettävä ensin. Ensimmäinen on betonin pituuden lämpötilakerroin, koska lujitemuovin tulee kiinnittyä betoniin ja pysyä sen pinnalla vaihtelevista lämpötiloista huolimatta. Toinen muodonmuutoksia aiheuttava tekijä on kosteus. Matriisimuovit imevät aina jonkin verran kosteutta, josta johtuen muoviaiaine paisuu jonkin verran.

Tuotevalmistajien ilmoittamat termiset ominaisuudet on ilmoitettu jo valmiiksi lujitemuoville eikä siinä ole eriteltynä matriisin ja lujitteen ominaisuuksia. Näin vertailtaviksi materiaaleiksi jäävät lujitemuovit sekä betoni.

5.3 Betonin ominaisuudet

Betoni koostuu kiviaineesta, vedestä ja sementistä. Kiviaineen raekoko määräytyy käyttökohteen mukaan. Vesisementtisuhteella määritetään betonin lujuus. Mitä huokoisempaa betonin on koostumukseltaan, sitä heikompi on sen puristuslujuus. Sillanrakennuksessa käytetyn betonin tulee olla mahdollisimman tiivistä, jotta sen huokosiin ei pääse vettä, klorideja ja muita haitallisia aineita. Vesi laajenee jäätyessään ja aiheuttaa betonille pakkasrapautumista mikäli se pääsee täyttämään betonissa olevia huokosia. Suuret kloridipitoisuudet aiheuttavat betonissa oleville teräksille korroosioaurioita ja heikentävät näin rakennetta. Kuvassa 6 näkyy Koivulan risteyssilta Keravalla. Kuvasta nähdään kosteuden vaikutusalueet välitukipilareille. Tumma alue molemmissa pilareissa on saanut kosteutta ilmasta ja osaksi liikenteen johdosta. Vesi voi nousta pilareissa myös kapilaarisesti, varsinkin vesistöosilloissa. Kuva on otettu kesällä 2009 ja talvella kyseiset pilarit ovat osittain lumen ja jään peitossa. Silloin tiesuola pääsee osaltaan vaikuttamaan betonin kloridirasitukseen.



Kuva 6. Koivulan risteyssilta (Lindholm 2009).

Betonin yleisesti käytetty piteuden lämpötilakerroin on $7-10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Betonin kimmokerroin vaihtelee $30\,000-40\,000 \text{ MN/m}^2$. Lämmönjohtavuus on $0,6-2,3 \text{ W/mK}$. Betonin tiheys vaihtelee $2\,300-2\,400 \text{ kg/m}^3$. (Tiehallitus 1990, 5). Nämä fysikaaliset arvot on otettava huomioon muovikomposiittimateriaaleja valittaessa.

5.4 Muovikomposiittituotteiden ominaisuudet

Esimerkeiksi valittujen kolmen muovikomposiitin piteuden lämpötilakerroimet vaihtelevat $10-30 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ välillä. Kimmokerroimet ovat $9\,000$ ja $24\,000 \text{ MN/m}^2$ välillä. Lämmönjohtavuus muovikomposiiteilla on betonia alhaisempi $0,3-0,41 \text{ W/mK}$. Muovikomposiittien tiheydet vaihtelevat $1\,800-1\,850 \text{ kg/m}^3$. (Aikolon Oy.) Ne ovat siis huomattavasti betonia kevyempiä materiaaleja, mutta vettä raskaampia. Veden tiheys on $1\,000 \text{ kg/m}^3$. Erityisesti puhuttaessa vesistösilloista, joiden välitukipilarit ovat osaksi veden pinnan alapuolella, on olennaista, että pinnoitteena käytettävät muovikomposiitit eivät kellu. Taulukossa 1 esitetään Aikolon Oy:n muovikomposiittituotteita, joiden ominaisuudet ovat hyvin lähellä betonin ominaisuuksia.

Taulukko 1. Materiaalien ominaisuuksia (Aikolon Oy; Tiehallinto 1990, 5).

Tuote	Piteuden lämpötilakerroin	Kimmokerroin	Lämmönjohtavuus	Tiheys	Vetolujuus
Durastone UPM 203	$15-30 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	9000 MN/m^2	$0,3 \text{ W/mK}$	1800 kg/m^3	70 N/mm^2
Durastone EPC 203	$10-20 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	24000 MN/m^2	$0,41 \text{ W/mK}$	1850 kg/m^3	300 N/mm^2
Durastone EPM 203	$10-20 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	18000 MN/m^2	$0,35 \text{ W/mK}$	1850 kg/m^3	280 N/mm^2
Betoni	$7-10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$35\,000 \text{ MN/m}^2$	$0,6 - 2,3 \text{ W/mK}$	2300 kg/m^3	$1,5-3,5 \text{ N/mm}^2$

5.5 Keskinäinen vertailu

Piteuden lämpötilakerroin kuvaa materiaalin käyttäytymistä lämpötilan vaihdellessa. Mikäli piteuden lämpötilakerroimet ovat samat lujitemuovilla ja betonilla ei eroa rakenteiden välisille pinnoille pääse syntymään, koska molemmat materiaalit elävät samassa suhteessa lämpötilojen vaihdellessa.

Taulukossa 1 on esitetty kolmen eri muovikomposiitin pituuden lämpötilakertoimia, ne ovat lähes samalla tasolla kuin betonin.

Kimmoisuus kuvaa materiaalin kykyä palautua alkuperäiseen muotoonsa kuormituksen jälkeen. Kimmokerroin on laskennoissa yleisesti käytetty suure, jolla kuvataan materiaalin jännityksen ja venymän suhdetta aksiaalisessa jännityksessä. (Airasmaa 1991, 532.) Jännitys (σ) ilmoitetaan kappaleeseen kohdistuvan voiman (F) ja ennen jännitystä olevan kappaleen poikkipinta-alan (A) suhteena. Venymä (ϵ) lasketaan jännityksen aiheuttaman kappaleen pituuden muutoksen (Δl) ja alkuperäisen pituuden (l) suhteena.

Kappaleen kykyä siirtää lämpöä kuvaa lämmönjohtavuus (λ). Mitä suurempi on lämmönjohtavuuslukema, sitä paremmin materiaali pystyy johtamaan lämpöä. Lämmönjohtavuudella ei ole muovikomposiittien valinnassa niin suurta merkitystä, koska se ei sinällään vaikuta kappaleiden keskinäiseen tartuntaan. Esimerkiksi eristeissä sillä on suurempi merkitys.

Kappaleen tiheys kertoo käytännössä kappaleen massan tilavuutta kohden. Muovikomposiittien valinnassa olennaisinta on että ne ovat vettä raskaampia materiaaleja. Tämä käy ilmi myös taulukossa 1.

Vetolujuus kertoo materiaalin kyvyn vastustaa voimia kappaleen pinta-alaan nähden. Mitä suurempi on vetolujuus, sitä kestävämpi on kappaleen rakenne. Vetolujuus ilmoitetaan voiman suhteena vedettävän kappaleen poikkipinta-alaan nähden. Muovikomposiitit omaavat korkean vetolujuuden, kun taas betoni kestää enemmän puristuslujuutta.

Liitteessä 1 olevassa taulukossa kuvataan eri muovilaatujen kemikaalikestävyys. Kestävyys on jaettu 3 eri luokkaan:

- 1. luokka (+) hyvä kestävyys
- 2. luokka (+-) rajoitettu kestävyys
- 3. luokka (-) ei kestä.

Matriisina toimivien muovien kemikaalikestävyydellä on suuri merkitys lujitemuovien säilyvyyteen ja kykyyn suojata betonipintaa haitallisilta aineilta.

Lujitemuovien tartuntaan vaikuttaa oleellisesti kosteus sekä lämpötila. Lujitemuovia valittaessa on kyseisen tuotteen alin ja korkein käyttölämpötila huomioitava. Lisäksi tartuntaan vaikuttaa betonista mahdollisesti vapautuva kosteus, joka voi irrottaa pinnoitteen, mikäli pinnoitemateriaali ei päästä lävitseen riittävästi kosteutta. Näihin tartuntaan vaikuttaviin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa materiaalia valittaessa.

Muovikomposiittien valmistuksessa on mahdollista vaikuttaa hyvinkin paljon pinnoitteen ulkonäköön. Matriisina toimiva muoviaine on värjättävissä ja siten se saadaan ympäristöön mukautuvaksi. Kapeiden ajoratojen välissä tai vierellä sijaitsevat vaaralliset pilarit voisivat esimerkiksi olla osittain heijastavia, mikä lisäisi samalla liikenneturvallisuutta.

6 Pohdinta ja johtopäätökset

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää muovikomposiitin soveltuvuutta betonin pinnoitukseen. Tutkimuksen alussa perehdyttiin muovikomposiitteja käsiteltävään teoriaan, jossa käytettiin hyväksi alalta löytyvää kirjallisuutta ja muovikomposiittivalmistajien antamia tietoja. Erityisesti valmistajilta oli erittäin hankalaa saada teknisiä tietotoja materiaaleista. Usealta lujitemuovien valmistajalta ei tullut minkäänlaista vastausta kyselyihin. Tämä saattaa johtua osaksi puutteellisista kyselyistä tai tiedon panttaamisesta. Yritykset saattavat kokea muovikomposiitteihin liittyvän tiedon olevan vielä niin uutta, että pitävät tiedon toistaiseksi omanaan. Toisaalta muovikomposiittituotteiden valmistajat tekevät tällä hetkellä itse tuotteen alusta asti valmiiksi kaupalliseksi tuotteeksi sen sijaan, että kaupallistaisivat kehittämiään materiaaleja eri sovelluksien käyttöön.

Mikäli lujitemuoveja koskevia standardeja saataisiin luotua ja yleistettyä joitakin materiaalilaatuja, olisi niiden markkinointi huomattavasti helpompaa, mutta ymmärrettävästi tämän saavuttaminen tarvitsee vielä aikaa. Standardit asettaisivat valmistuksessa käytettäville materiaaleille tarkemmat ohjeet ja määräykset, jotka antaisivat pohjan yleisimmille käytettäville tuotteille. Erikoistuotteet voisivat koostua useammasta standardisoidusta muovikomposiittimateriaalista tai halutuista lisäaineista.

6.1 Kehitysehdotus

Mikäli SiltaExpert Oy haluaisi kehittää tuotteen betonin pinnoitukseen, tulisi heidän mielestäni kartoittaa eri tuotevalmistajat ja tehdä yhteistyötä lujitemuovia valmistavien yritysten kanssa. Näin voitaisiin hyödyntää molempien jo olemassa olevaa tietoa ja kokemusta. SiltaExpert Oy:llä on riittävästi tietoa siltojen ja betonirakenteiden korjaussuunnittelusta. Tähän voitaisiin yhdistää lujitemuovivalmistajan tieto muovikomposiittituotteista ja niiden

valmistustavoista. Tutkimustyötä olisi mahdollista tehdä yhdessä Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen kanssa (VTT).

Toinen vaihtoehto olisi itse kouluttautua muovialaan sekä lujitteisiin ja sitä kautta saada teorian pohjalta riittävästi tietoa eri materiaaleista ja valmistustavoista. Muovitekniikkaan ja polymeereihin löytyy koulutusta ammattikorkeakouluista ja yliopistoista. Mahdollisia muovialan yrityksiä, jotka toimisivat yhteistyö kumppaneina, voisivat olla esimerkiksi Aikolon Oy, Kevra Oy tai KG Enterprise Oy. Tämän jälkeen tulisi suorittaa testejä valituille materiaaliyhdistelmille, verrata niiden ominaisuuksia ja valita asetetut vaatimukset täyttävä lujitemuovi. Oikeiden testimenetelmien hyväksytyt suoritustavat on jo VTT:lla olemassa ja he esimerkiksi tutkivat eri komposiitti yhdisteistä tehtyjen standardimittaisten sauvojen vetolujuuksia sekä iskunkestävyyttä. Menetelmät ovat ASTM- ja ISO-standardien mukaiset. Kuvassa 6 on VTT:n käyttämiä komposiiteista valmistettuja vetosauvoja, joissa on käytetty materiaaleina ympäristöystävällistä kestopuuvia ja luonnonkuituja (Myllymaa & Vestebacka 2005).



Kuva 6. VTT:n testaamia vetosauvoja (Myllymaa & Vestebacka 2005).

Tämä vaihtoehto vaatisi huomattavasti enemmän resursseja SiltaExpert Oy:ltä sen sijaan, että he toimisivat yhteistyössä lujitemuoveja valmistavan yrityksen

kanssa. Yhteistyössä molemmat osapuolet voisivat keskittyä omaan ydinosaamiseensa ja lopulta yhdistää tietotaitonsa toimivaksi tuotteeksi.

Jatkokehityksessä esimerkiksi eri vuodenaikojen vaikutusta muovikomposiitin ja betonin yhdistelmään olisi mahdollista tutkia sääkoestuskaapissa, mikä on ainakin Turun ammattikorkeakoululla käytössä. Se nopeuttaisi huomattavasti käytännön kokeita ja mahdollistaisi näin nopeamman tutkimuksen tuottamisen. Sääkoestuskaapissa voidaan tutkia eri lämpötilojen ja kosteuden vaikutusta materiaaleihin. Sääkoestuslaitteita Suomessa valmistaa Arctest Oy.

6.2 Tutkimuksen arviointi

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan mielestäni ymmärtää muovien, lujitteiden ja niiden yhdistämisen muovikomposiittituotteeksi olevan vaativa prosessi. Se vaatii kattavan tiedon sekä aiheeseen liittyvästä teoriasta että käytännön kokemuksesta. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää nykytilanne muovikomposiiteista ja niiden mahdollisuudesta betonin pinnoitukseen sekä perehtyä aiheeseen. Mielestäni tietoa löytyy erittäin paljon ja sen sisäistäminen vaatii aikansa. Suurin osa lähteistä on kirjoitettu jo 1990-luvulla. Tämä selittää osaltaan sitä, että muovikomposiiteista tiedetään teoriassa jo paljon, mutta teorian liittäminen käytäntöön on huomattavasti haastavampaa. Käytännön osaamisen puute voi johtua osaksi siitä, että muovilaatuja on erittäin paljon ja niiden valmistajia suhteessa aika vähän.

Muovilaadut eroavat toisistaan paljon, ja niiden vaihtelevat ominaisuudet tekevät valmistuksesta haastavaa. Muovien lujittaminen kuiduilla on osaltaan oma prosessi. Lujitemuovin valmistuksessa on otettava huomioon sekä muovin ominaisuudet että lujitteen ominaisuudet. Lujitteita on olemassa monia ja niitä kehitetään jatkuvasti. Uusimmat niin sanotut luonnonkuidut ovat esimerkki siitä, että ympäristön merkitys myös rakentamisessa on otettava jo materiaalien kehityksessä huomioon. Näiden kahden komponentin liittäminen yhteen on jo oma haasteensa. Lisäksi tämän komposiittituotteen eli lujitemuovin sovittaminen yhteen betonipinnan kanssa on oma prosessinsa.

Tutkimukseen pitäisi yhdistää käytännön kokeita esimerkiksi muutamien muovilaatujen ja lujitteiden laminointia betonipintaan. Ne antaisivat käytännön kuvan ideasta, mutta tarkempien tartuntaominaisuuksien määrittäminen vaatisi huomattavasti enemmän aikaa kuin tämä projekti salli. Koekappaleiden ympäristöolosuhteita voitaisiin esimerkiksi vaihdella niin, että ne sijoitettaisiin talven ajaksi ulos tien penkereelle. Tämän jälkeen siirrettäisiin kappaleet lämpimään ja vertailtu näin vaihtuvien lämpötilojen ja kosteuden vaikutusta. Muovikomposiittipinnoille voitaisiin tehdä tartuntavetokokeita, puristus- tai taivutuskokeita. Niiden avulla saataisiin tietoa materiaalien liitosten kestävydestä sekä kuormitusten vaikutuksista.

Mielestäni käytännön kokeiden merkitys olisi kiinnostava ja informatiivinen lisäys projektiin. Riittävän muovikomposiitteihin liittyvän tiedon omaksuminen ja muovituotevalmistajilta saatava ammattitaito ovat mielestäni merkityksellisempiä ennen materiaalien testausta käytännössä. Teoriassa laskennat ja materiaalien teknisten tietojen vertailu antavat hyvän pohjan mahdollisesti onnistuviin kokeisiin. Työssä käydyn teorian pohjalta muovikomposiitti ei sovellu betonin pinnoitukseen. Tämä johtuu siitä, että betonissa oleva rakennekosteus pyrkii rakenteen sisältä ulos eikä muovikomposiitti päästä juuri ollenkaan lävitseen kosteutta. Tästä johtuen muovikomposiitin tartunta betoniin on hyvin vaikea toteuttaa. Mikäli kosteus ongelma voidaan mahdollisesti välttää, ei muovikomposiitin käytölle ole estettä ainakaan teoreettisesti.

Tässä projektissa muovikomposiitteja käsiteltiin vielä pintapuolisesti. Materiaalitekniikan sisäistäminen vaatii ehdottomasti alan koulutuksen.

LÄHTEET

Kirjalliset:

Airasmaa, I.; Kokko, J.; Komppa, V. & Saarela, O. 1991. Muovikomposiitit. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Airasmaa, I.; Johansson, C.; Kokko, J.; Komppa, V.; Linkoaho, P.; Piltz, A. & Saarela, O. 1987. Lujitemuovitekniikka. 2. painos. Hämeenlinna: Karisto Oy:n kirjapaino.

Järvinen, P. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Muovifakta Oy. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Kurri, V.; Malen, T.; Sandell, R. & Virtanen, M. 2008. Muovitekniikan perusteet. 4. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Sähköiset:

Aikolon Oy. Viitattu 23.3.2010 <http://www.aikolon.fi/tuotteet.php?cat=8&id=75&tuote=durostone-upm-203>.

Comprocks. Viitattu 25.3.2010 http://www.comprocks.com/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=49&Itemid=10049.

Höök, T. Tampereen teknillinen yliopisto. Polymeerimateriaalit. Viitattu 21.4.2010 http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_injmoulding_materials_FI.pdf.

Ilmatieteen laitos. Sää ja ilmasto, ilmastotilastot, ilmanlämpötila. Viitattu 24.3.2010 http://www.fmi.fi/saa/tilastot_4.html.

Muoviteollisuus Ry. Muovista siltaa ja paljon muutakin rakentavaa. Viitattu 7.1.2010 http://www.luemuovia.net/fin/muovit/muovista_rakentaminen/muovista_siltaa/.

Myllymaa, H. & Vesterbacka, P. Helsingin yliopisto. 20.4.2005. Komposiitit. Viitattu 8.4.2010 <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/komposiitit/vtt.htm>.

Saarikivi, M.; Handelberg, J.; Holmberg, T. & Matilainen, A. HSE Pienyrityskeskus. 2008. Selvitys lujitemuovikomposiittituotteiden mahdollisuuksista rakennusteollisuudessa. Viitattu 17.3.2010 http://www.compofind.fi/fi/content/tutkimukset/lujitemuovikomposiitit_rakennusteollisuudessa_2008.pdf?C:D=1437382.

Salparanta, L. & Kuosa, H. VTT. 2008. Kloridien tunkeutumisen pienentäminen betoniin. Viitattu 29.1.2010 <http://www.betoni.com/download.aspx?intFileID=1852&intLinkedFromObjectID=10420>.

Tiehallinto, Siltatekniikka. 2007. SILKO 1.201, Betoni sillankorjausmateriaalina. Helsinki. Viitattu 4.1.2010 <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/silko1.htm>.

Tiehallitus, tuotanto-osasto, tekniset palvelut. 1990. SILKO 1.202, Betonirakenteet, Polymeerit sillankorjausmateriaalina osa 1. Viitattu 4.1.2010 <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1202a.pdf>.

Vienamo, T. Virtuaaliyliopisto. Muovitekologia. Taideteollinen korkeakoulu. Helsinki. Viitattu 25.3.2010 http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muovitekologia/materiaalit/01-00_muovit.html.

Lindholm, J. SiltaExpert Oy. Tiehallinnon Uudenmaan tiepiirin vuositarkastukset 2009. Kuva-arkisto.

Vaikuttava aine	Pitoisuus %	Materiaali										
		PMMA	PC	PA	POM	PETP	PE	PP	PVC	PVDF	PF	PTFE
Alumiinikloridi	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Allyylialkoholi	100	0	+	±	±	+	+	+	±			+
Ammoniakki, vesipit.	10	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ammoniumkloridi		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Aniliini	100	-	0	±	±	+	+	+	-	+		+
Asetaldehydi	40	-	-	±	+	+	+	+	-	+		+
Asetoni	100	-	-	+	±	±	+	+	-	+	+	+
Bentseeni	100	0	-	+	+	+	±	-	±	+		+
Bensiini, korkeakot.		+	±	+	+	+	+	±	-	+	+	+
Bensiini, lyijytyn		0	0	+	+	+	+	±	+	+	+	+
Bensyylialkoholi	100	-	-	±	+	+	±	±	+	+		+
Boorihappo	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Bromihappo	50			-	-	+	+	+	+	+		+
Butaani, nestemäinen			+	+	+	+	+	+	+	+		+
Butanoli	100	-	+	+	+	±	+	±	+	+		+
Butyyliasetaatti	100	0		+	+	+	+	-	+	+		+
Dikloorietaani	100	0	0	+	+	-	-	+	-	+		±
Dikloorifluorimetaani			katso Freon 21									
Diklooritetrafluorimetaani			katso Freon 114									
Diklooridifluorimetaani			katso Freon 12									
Dieselöljy	100		+	+	+	+	+	±	+	+		+
Dioksaani	100	-	0	+	±	+	+	±	-	-		+
Elohopea	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Elohopeakloridi, vesipit.	5		+	±	+	+	+	+	+	+	+	+
Etanoli	96	-	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Etikkahappo	10	0	-	-	±	+	+	+	+	+	+	+
Etikkahappo	80	0	-	-	-	-	+	+	±	+	+	+
Etyleenikloridi			katso dikloorietaani									
Etyylialkoholi			katso etanoli									
Etyyliasettaatti	100	-	-	+	±	+	+	+	-	+	+	±
Etyylieetteri	100	-	-	+	+	+	±	±	-			±
Fenoli, sula	100	0	0	0	-	-			±	+		+
Fenoli, vesipit.	10	0	-	-	-	-	+	+	±	+		+
Fluori, kuiva				-	-	-	-	-	±	+		+
Fluoritrikloorimetaani			katso Freon 11									
Fluorivetyhappo	40	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+
Formaldehydi, vesipit.	20	+	±	±	+	+	+	+	+	+		+
Formaali			katso formaldehydi									
Fosforihappo	10	-	+	+	±	+	+	+	+	+	+	+
Fosforihappo, puhdas	80	-	-	+	-		+	+	+	+		+
Fredt			katso ruokaöljy									
Freon 11			±	+	+	+	±	-	±	+		+
Freon 12		+	±	+		+	±	-	±	+		+
Freon 22			±	+		+	±	-	±			+
Freon 113			±	+		±	±	-	±			+
Glyseroli	90	+	±	+	+	+	+	+	±	+		+
Heptaani	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Hexaani	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Hiilidioksidi		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Hiilidisulfidi			katso rikkihiili									
Hiilitetrakloridi	100	0	-	±	±	+	-	-	-	+		±
Isopropanoli	90	±	±	+	+	+	+	+	+	+		+
Isopropyylialkoholi			katso isopropanoli									
Jodi/jodi-kalium-liuos	3		+	±		+	±	+	-	+		+
Kalilipeä, vesipitoinen	10	+	-	+	±	-	+	+	+	+		+
Kalilipeä, vesipitoinen	50	+	-	+	±	-	+	+	+	-		+
Kalisalpietari	10	+	+	+	±	+	+	+	+	+		+
Kalumbikromaatti	5	±	+	±		+	+	+	+	+		+
Kaliumnitraatti			katso kalisalpietari									
Kalimpemanganaatti	1	+	+	-	±	+	+	+	+	+		+

Vaikuttava aine	Pitoisuus %	Materiaali											
		PMMA	PC	PA	POM	PETP	PE	PP	PVC	PVDF	PF	PTFE	
Kalsiumhydroksidi			+	+	+	±	+	+	+	+		+	
Kalsiumkarbonaatti		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Kalsiumkloridi,								+					
alkoholipitoinen	20		+	±	+	+	+	+	+	+		+	
Kalsiumkloridi, vesipit	10	+	+	+	±	+	+	+	+	+		+	
Klooribentseeni	100	-	0	+	±	+	±	+	-	+		+	
Klooridifluorimetaani			katso Freon 22										
Kloorikaasu	100	-	±	-	-	-	±	-	+	+		+	
Kloorivesi			±	+	-	-	±	±	±	+			
Kloroformi	100	0	0	-	-	-	-	±	-	+		+	
Kromihappo	10		+	±	-	±	+	+	+	+		+	
Keitto-suola			katso Natriumkloridi										
Kuparikloridi			+		±		+	+	+	+		+	
Kuparisulfaatti			+	+	+		+	+		+		+	
Liitu			katso Kalsiumkarbonaatti										
Lipeä			katso natronlipeä										
Lyijyasetaatti				+	+		+	+	+	+		+	
Magnesiumkloridi, vesipit	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Maitohappo	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Mangaanisulfaatti	10		+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Merivesi	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Metanoli	98	-	-	+	+	+	+	+	+	+		±	
Metyylialkoholi			katso metanoli										
Metyyliasettaatti	100	-	-	+	+	+	+	+	-	+		+	
Metyleenikloridi	100	0	0	±	-	-	±	±	-	+		+	
Metyleenibensiini			katso Toluoli										
Metyylietyyliketoni	100	0	-	+	±	+	+	+	-	±		+	
Mineraaliöljy	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Natriumbisulfiitti	10		+	+	-	+	+	+	+	+		+	
Natriumhydroksidi			katso natronlipeä										
Natriumkarbonaatti	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Natriumkloridi	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Natriumsulfaatti	10		+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Natriumvetysulfiitti			katso natriumbisulfiitti										
Mangaanisulfaatti	10		+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Merivesi	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Metanoli	98	-	-	+	+	+	+	+	+	+		±	
Metyylialkoholi			katso metanoli										
Metyyliasettaatti	100	-	-	+	+	+	+	+	-	+		+	
Metyleenikloridi	100	0	0	±	-	-	±	±	-	+		+	
Metyleenibensiini			katso Toluoli										
Metyylietyyliketoni	100	0	-	+	±	+	+	+	-	±		+	
Mineraaliöljy	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Natriumbisulfiitti	10		+	+	-	+	+	+	+	+		+	
Natriumhydroksidi			katso natronlipeä										
Natriumkarbonaatti	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Natriumkloridi	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Natriumsulfaatti	10		+	+	+	+	+	+	+	+		+	
Natriumvetysulfiitti			katso natriumbisulfiitti										
Natronlipeä, vesipit.	50	±	-	+	+	-	+	+	+	±		+	
Natronlipeä, vesipit.	10	+	-	+	+	-	+	+	+	+		+	
Nitrobentseeni	100	0	0	±	±	-	+	+	-	+			
Oksaalihappo	10	+	+	+	-	+	+	±	+	+			
Öljyhappo, väkevä	40	+	+	+	+	+	+	±	+	+		±	
Otsoni		+	+	-	-	-	±	±	+	+		+	
Petroli	100	+	-	+	+	+	+	+	+	+			
Phenol			katso Fenoli										
Rauta-III-kloridi		±	±	±	±		+	+	+	+		+	
Rikkidioksidi		+	±	+	±	±	+	+	+	+		+	
Rikkihiili	100	-	-	+	+	+	±	+	±	+		+	
Rikkihappo	98	-	-	-	-	-	-	-	+	+		+	
Rikkihappo	10	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	
Rikkihappo, savuava		±	-	-	-	-	-	-	±	-		+	

Vaikuttava aine	Pitoisuus %	Materiaali										
		PMMA	PC	PA	POM	PETP	PE	PP	PVC	PVDF	PF	PTFE
Rikkihapon natronsuola		katso natriumsulfaatti										
Riikivety, vesipit	2	+	+	+	-	+	+	+	+	+		+
Ruokaöljy		+	+	+	+	+	±	+	+	+		
Saippualiuos	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Selluloosa-asetaatti		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Silikonijöly		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Sitruunahappo	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
Sooda		katso Natriumkarbonaatti										
Soodalipeä		katso natrionilipeä										
Sprii		-	+	+	+	+	+	±	+	+		+
Styreeni	100		-	+	+	-	±	+				+
Suolahappo	2	+	+	+	-	+	+	+	+	+		
Suolahappo	10	+	+	±	-	±	+	+	+	+		+
Tetraliini	100	0	-	+	±	+	+	±	-	+		+
Tionyylikloridi	100		-	-	±	+	-	-	-	+		
Tolueeni	100	0	-	+	±	+	±	±	-	+		
Trifluorikloorietaani		katso Freon 113										
Triklorieteeni	100	0	-	±	±	-	-	±	-	+		+
Triklorimetani		katso Kloroform										
Typpihappo	10	±	±	±	-	±	+	+	+	+		+
Typpihappo, väkevä	65	-	-	-	-	-	±	-	-	+		+
Vaha, sulatettu			+	+	+	+	+	+	+	+		±
Valkaisuliuos			-	-	-	+	±	+	+	±		
0,1 % vaapa klooria												+
Vesi, kylmä		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Vetyperoksidi	0,5	±	±	+	+	+	+	+	+	+		
Vetyperoksidi	1	±	±	±	+	+	+	+	+	+		+
Vetyperoksidi	3	±	±	±	-	+	+	+	+	+		+
Vetyperoksidi	10	-	-	-	-	+	+	+	+	+		+
Vetyperoksidi	30	-	-	-	-	+	+	+	+	+		
Viini			+	+	+	+	+	+		+		+

+ =hyvä kestävyys

± = rajoitettu kestävyys

- = ei kestä

Aikolon Oy/ muovikomposiitti tuotteet

www.aikolon.fi

Axson Technologies/ muovikomposiitti tuotteet

www.axson.com

Comprocks Oy/ muovikomposiitti tuotteet

www.comprocks.com

Kevra Oy/ Lujitteet

www.kevra.fi

KG Enterprise/ muovikomposiitti tuotteet

www.kgenterprise.fi

Ravelast Oy/ polyuretaanituotteet

www.ravelast.fi

**Muovi- ja kumitekniikan perustutkinto (aikuiskoulutus)
muovituotevalmistaja:**

- AEL, Helsinki
- Edupoli, Porvoo
- JAKK, Jalasjärvi Tampere

Insinööri (amk) tutkinto:

- Lahden amk, muovitekniikka
- Turun amk, Konetekniikan tulosityksikkö
- Muoviteollisuus ry
<http://www.muoviteollisuus.fi/fin/koulutus/>