

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Venealan koulutusohjelma

Petri Ikonen

YKSIKOMPONENTTISEN POLYURETAANIVAHDON SOVELTUVUUS VENEISIIN

Opinnäytetyö 2008

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Venealan koulutusohjelma

IKONEN, PETRI	Yksikomponenttisen polyuretaanivaahdon soveltuvuus veneisiin
Insinööriyö	31 sivua + 7 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori Tapio Pilhjerta
Toimeksiantaja	Kymi Composites
Avainsanat	polyuretaanivaahdo, vesiabsorptio, liimaavuus, liimat, polyuretaanit, veneet

Polyuretaanit ovat hyvin monipuolisia polymeerejä. Monipuolisuudesta johtuen polyuretaaneilla on useita erilaisia olomuotoja. Niitä käytetään esimerkiksi maaleissa, laakereissa ja patjoissa.

Opinnäytetyössä selvitetään, mitä polyuretaanit ovat ja mihin niitä käytetään. Työssä käydään myös läpi polyuretaanien ominaisuuksia erilaisissa käyttötilanteissa. Työn päätavoite on tutkia polyuretaanivaahdojen soveltuvuutta veneisiin. Tutkimuksessa selvitetään, kuinka erilaiset polyuretaanivaahdot sietävät upotusta ja kuinka hyvin ne liimaavat kappaleita toisiinsa kiinni. Lisäksi liimaavuudessa tutkitaan, kuinka sauman paksuus ja erilaiset olosuhteet vaikuttavat sauman kestävyys-

Testituloksien avulla päädyttiin lopputulokseen, ettei yksikomponenttinen polyuretaanivaahdo sovellu käytettäväksi veneissä sellaisissa paikoissa, joissa se voi joutua kosteudelle alttiiksi. Polyuretaanivaahdot imevät itseensä vettä. Kuivissa paikoissa polyuretaanit taas toimivat hyvin niin eristeinä kuin ydinaineena. Myös liimaaminen on mahdollista, kunhan liimasaumaan ei kohdistu suuria voimia. Ohuempi sauma kestää kuitenkin enemmän rasitusta kuin paksu sauma. Kosteus ja kylmyys heikentävät sauman kestävyyttä.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Boat Manufacturing

IKONEN, PETRI	Suitability of one component polyurethane foam for boats
Bachelor's Thesis	31 pages + 7 pages of appendices
Supervisor	Tapio Pilhjerta, Senior Lecturer
Commissioned by	Kymi Composites
Keywords	polyurethane foam, water absorption, gluing, glue, polyurethane, boats

Polyurethanes are versatile polymers. Due to the versatility there are several different forms of the polyurethanes. They are used, for example, in paints, bearings and mattresses.

This thesis describes what polyurethanes are and where they are used, and their properties in different uses. The main object of this thesis was to study the suitability of polyurethane foams for boats. The thesis describes how different polyurethane foams bear sinking and how well they glue parts together, and how the thickness of the seam and the different conditions affect the durability of the seam.

As a result it can be said that one component polyurethane foam is not suitable for most parts of the boat. The polyurethane foams absorb water. In dry places the polyurethanes, however, serve well as insulator as well as core material. Also, the gluing is possible when the seams are not subjected to heavy stress. However, a thinner seam tolerates more stress than a thick seam. Moisture and cold decrease the strength of the seam.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT.....	3
SANASTO.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 POLYURETAANI.....	7
2.1 PUR:n kemia.....	7
2.2 Olomuodot.....	8
2.2.1 Solumuovit.....	8
2.2.2 Kovat polyuretaanit.....	9
2.2.3 Polyuretaaniliimat.....	9
2.2.4 Polyuretaanimaalit ja lakat.....	10
3 POLYURETAANIEN KÄYTTÖKOHTEET.....	10
3.1 Vaahtomaiset polyuretaanit.....	10
3.2 Kovat polyuretaanit.....	12
3.3 Maalit, lakat ja liimat.....	13
4 POLYURETAANIEN KÄYTTÖ VENEISSÄ.....	14
5 TUTKIMUS.....	16
5.1 Vesiabsorptio.....	16
5.1.1 Testikappaleet.....	16
5.1.2 Testaus.....	19
5.2 Liimaavuus.....	19
5.2.1 Testikappaleet.....	20
5.2.2 Testaus.....	21
5.3 Testien tulokset.....	22
5.3.1 Vesiabsorptio.....	23
5.3.2 Liimaavuus.....	24
6 PÄÄTELMÄT.....	27
LÄHTEET.....	28
LIITTEET.....	31

SANASTO

Eksoterminen reaktio: Lämpöä vapauttava reaktio

Integraalisolumuovi: Vaahtomuovi, jolla on tiivis ja huokoseton pinta

Kertamuovi: Muovi, joka syntyy lähtöaineiden silloittumisreaktion seurauksena. Kertamuoveja ei voida muokata uudelleen lämmön avulla.

Kestomuovi: Muovi, jota voidaan muokata lukuisia kertoja lämmön avulla, ilman että sen molekyyli rakenne muuttuu.

Komponentti: Osa

Poly-: Moni, koostuu useasta samanlaisesta osasta

Polymeeri: Toistuvien rakenneyksiköiden eli monomeerien muodostama makromolekyyl

PUR: Polyuretaani

Sandwich: Kerrosrakenne, koostuu pintalevyistä ja ydinaineesta

Silloittuminen: Kemiallisten sidosten muodostuminen polymeeriketjujen välille

Stabiili: Vakaa, ei reagoi muiden aineiden kanssa

Styrofoam: Polystyreenistä valmistettu solumuovinen eristyslevy

Vaahtomuovi: Pehmeää ja huokoista materiaalia, jonka tilavuudesta yli 90 % on ilmaa

Vesiabsorptio: Kosteuden imeytyminen materiaaliin ympäröivästä vedestä

Ydinaine: Kerroslevyrakenteessa pintalevyjen välissä oleva aine. Sen tarkoituksena on lisätä rakenteen paksuutta ja alentaa painoa.

1 JOHDANTO

Polyuretaanit ovat monikäyttöisiä kertamuoveja ja niitä käytetään runsaasti varsinkin rakennusteollisuudessa. Edullinen hinta ja hyvät ominaisuudet tekevät polyuretaaneista merkittävän materiaalin. Lujitemuoviveneiden osuuden kasvu ja kelluvuusvaatimuksien tiukentuminen ovat saaneet veneteollisuuden kiinnostumaan jo käytössä olevista sekä uusista polyuretaanisovelluksista.

Tämän opinnäytetyön idea sai alkunsa Kymenlaakson ammattikorkeakoulun komposiittilaboratoriossa suoritetusta epävirallisesta kokeesta. Kokeessa upotettiin pala rakennusuretaanivaahtoa, pala uretaaniliimaa ja pala kaksikomponentista uretaanivaahtoa veteen. Viikon kuluttua tarkastettiin imeytyneen veden määrä. Rakennusuretaani oli imenyt vettä vain parikymmentä massaprosenttia, kun taas kaksikomponenttinen uretaani ja uretaaniliima olivat imeneet vettä useita satoja prosentteja. Tämä tulos oli täysin päinvastainen yleisten olettamuksien kanssa. Yllättävä tulos herätti useita kysymyksiä.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään erilaisten polyuretaanituotteiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta veneisiin sekä tutkitaan epävirallisen kokeen tuloksen paikkansapitävyys. Tuotteista testataan vesiabsorptio ja liimaliitoksen kestävyys. Testituloksien pohjalta päätellään yksikomponenttisen polyuretaanin soveltuvuus veneissä vallitseviin olosuhteisiin. Tutkimustulosten perustella päädyttiin lopputulokseen: yksikomponenttinen polyuretaanivaaho ei sovellu käytettäväksi veneissä.

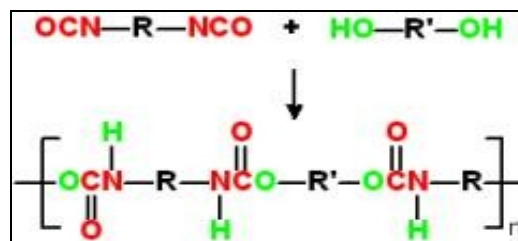
2 POLYURETAANI

Polyuretaanit, joista käytetään lyhennettä PUR, ovat hyvin monipuolisia polymeerejä. Niiden ominaisuudet vaihtelevat paljon reaktioaineesta ja lisäaineista riippuen. Myös käyttökohteiden kirjo on valtava. Niitä käytetään täytevaahdoista aina keino-niveliin ja pintakäsittelyaineista aina suuriin koneiden osiin. (Uudenmaan pintasuojaus Oy.)

2.1 PUR:n kemia

Polyuretaanien tuotantoa kehiteltiin Saksassa 1930-luvulla, mutta kaupallinen tuotanto alkoi vasta 1950-luvulla. Niiden monipuolisuus on laaja. Niistä valmistetaan sekä kestopuoveja että kertamuoveja. (Seppälä 1997, 123.)

Vaikka polyuretaanit ovat suurimolekyylisiä polymeerejä, niiden valmistus on varsin yksinkertaista. Vaikka polyuretaaneilla on runsaasti erilaisia olomuotoja, niiden perusrakenne perustuu samaan suhteellisen yksinkertaiseen reaktioon. Kemiallisessa reaktiossa polyisosyanaatti reagoi polyolin kanssa. Reaktiossa polyisosyanaatin (-NCO) osa reagoi reaktioaineen OH- tai NH²-osan kanssa muodostaen uretaaniryhmän (-NH-CO-O). Ketjuuntumisaineilla saadaan uretaaniryhmä reagoimaan isosyanaatin kanssa, jolloin molekyylin koko kasvaa. Eksotermisessä reaktiossa ei synny ylimääräisiä sivutuotteita, paitsi isosyanaatin reagoidessa veden kanssa, jolloin syntyy myös hiilidioksidia. Polyuretaanien monimuotoisuus perustuu erilaisten polysyanaattien ja reaktioaineiden suureen määrään ja niiden yhdistelymahdollisuuksiin. (Häihä 1985, 8.)



Kuva 1: Polyuretaanin polymeroitumisreaktio. (Wapedia)

Polyuretaanien valmistuksessa lähtöaineina käytetään di- tai tri-isosyanaattia. Käytetyimpiä isosyanaatteja ovat 2,4- ja 2,6-tolueenidi-isosyanaatti (TDI), 4,4-di-

fenyylimetaanidi-isosyanaatti (MDI) ja 4,4',4''-trifenyylimetaanitri-isosyanaatti. Reaktioaineina käytetään kaksi- tai useampiarvoisia alkoholeja; polyestereitä joiden päissä on hydroksyyli-ryhmä; polyeettereitä tai rasvahappojen glyseroliestereitä (Seppälä 1997, 124.)

Polymeroitumisreaktiossa molekyylin päissä olevat isosyanaattiryhmät reagoivat hydroksyyli-ryhmien kanssa suuretaen uretaanimolekyylin kokoa. Myös uretaaniryhmä reagoi isosyanaatin kanssa, jolloin polyuretaani silloittuu. Silloittumista tapahtuu, kun tarjolla on aine, jossa on aktiivinen vety. Silloittumista edistäviä aineita ovat mm. uretaanit, amiinit, orgaaniset hapot ja vesi. Lämpötilan nosto lyhentää polymeroitumisaikaa muutamia minuutteihin, mutta reaktio tapahtuu kuitenkin jo huoneenlämmössä. (Seppälä 1997, 125-126.)

Lisäaineilla saadaan polyuretaaniin haluttuja ominaisuuksia. Lisäaineilla parannetaan mm. uretaanin palonkestoa, kemikaalien kestoa, mekaanisia ominaisuuksia, paisuntaa, UV-sietoa, lämmön eristävyyttä ja monia muita ominaisuuksia. (Oksanen 2007, 10-12.)

2.2 Olomuodot

Polyuretaanit esiintyvät useina eri olomuotoina. Yleisimmät uretaanien olomuodot ovat solumuoveja, kovia muoveja, liimoja ja maaleja/lakkoja. Eri olomuodot saadaan aikaan lähtöaineiden erilaisilla suhteilla ja erilaisilla lisäaineilla. (Uudenmaan pintasuojaus Oy.)

2.2.1 Solumuovit

Solumuoveja kutsutaan myös vaahtomuoveiksi. Solumuovit edustavat merkittävää osaa käytetyistä polyuretaanimuoveista. Vaahto muodostetaan ponneaineiden avulla ja solujen kokoa säädellään silikoniöljyjen avulla. Ponneaineina käytetään matalan kiehumispisteen omaavia aineita, kuten fluoritrikloorimetaania ja difuorikloorimetaania. Isosyanaatin reagoidessa veden kanssa vapautuu hiilidioksidia, joka myös edesauttaa vaahtoutumista. (Seppälä 1997, 126-127.)

Solumuovit voidaan lajitella kahteen päätyyppiin: pehmeät solumuovit ja kovat solumuovit. Pehmeissä solumuoveissa käytetään raaka-aineina polyestereitä, polyeettereitä ja di-isosyanaatteja. Reagoiessa molekyylien välille muodostuu suhteellisen vähäistä tai ei ollenkaan silloittumista. Solurakenne on avointa, jopa 80 % soluista ovat avoimia. Pehmeä solumuovi on hyvin joustavaa ja palautuu rasituksen jälkeen muotoonsa. Pehmeitä solumuoveja käytetään erityisesti pehmusteina. (Seppälä 1997, 126-127.)

Kovien solumuovien valmistukseen käytetään kolme- tai useampiarvoisia polyestereitä ja polyeettereitä. Uretaanimolekyylit silloittuvat voimakkaasti ja rakenteesta tulee jäykkä. Kovien vaahtojen solut ovat suljettuja. Integraalisolumuoveissa vaahton pintaan muodostuu tiivis ja huokosvapaa pintanahka. Kovia uretaanivaahtoja käytetään täyteaineina ja eristeinä. (Häihä 1985, 15. ; Seppälä 1997, 126-127.)

2.2.2 Kovat polyuretaanit

Kovien polyuretaanien valmistus on hyvin samanlaista kuin vaahtojen, vain vaahtotusaine puuttuu. Valetuilla polyuretaanituotteilla on hyvä kimmoisuus ja kulutuksen kestävyys. Kuten solupolyuretaaneissa, niin myös kovissa polyuretaaneissa lisäaineet vaikuttavat paljon valmiin muovin ominaisuuksiin. Yleisesti ottaen polyuretaaneilla on hyvä vetolujuus, iskulujuus, kulutuskestävyys, puristuskestävyys, lämpötilavaihteluiden kestävyys, hapen ja otsonin kestävyys, säteilykestävyys sekä kohtalainen liuottimien kestävyys. Kovia uretaaneja voidaan valaa alumiinista tai epoksisista valmistettuihin muotteihin ja työstää mekaanisesti. (Raaka-ainekäsikirja 4 2001, 74. ; Oksanen 2007, 10-12.)

2.2.3 Polyuretaaniliimat

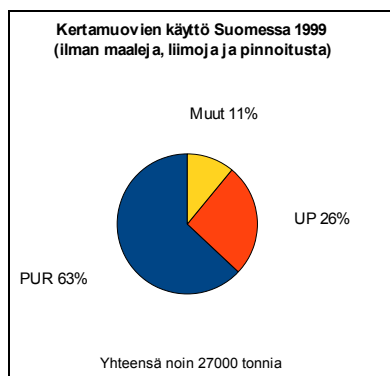
Polyuretaaniliimat ovat joko yksi- tai kaksikomponenttisiä. Yksikomponenttisissä kovettuminen tapahtuu kosteuden vaikutuksesta, jota ilmassa on yleensä riittävästi. Kaksikomponenttisillä kovettumiseen vaaditaan oma kovetin. Myös polyuretaaniliimojen ominaisuuksia pystytään muokkaamaan lähtöaineiden suhteilla ja lisäaineilla. Ominaisuuksiltaan polyuretaaniliimat ovat usein hyvin tarttuvia ja sitkeitä. Liimat kestävät myös yleisesti hyvin säätä, kemikaaleja ja säteilyä, mutta eivät korkeita lämpötiloja. (Saarela et al. 2003, 117.)

2.2.4 Polyuretaanimaalit ja lakat

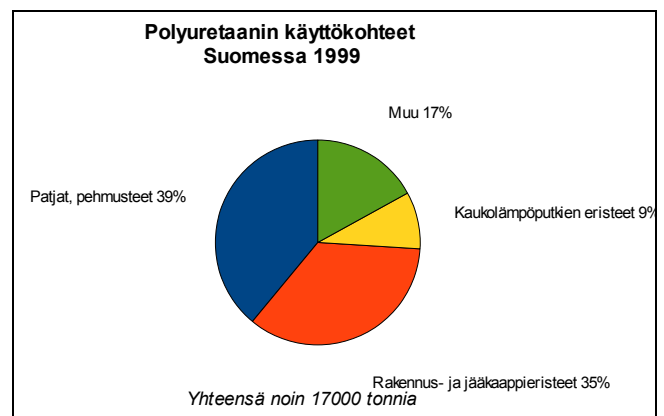
Polyuretaanimaalit ovat usein kaksikomponenttisiä. Maaleilla on hyvä ja kestävä kiilto. Maalit kestävät myös hyvin UV-säteilyä, kosteutta, kemikaaleja ja kulutusta. Maalien ominaisuuksia pystytään lisäaineiden ansiosta muuttamaan ja kovettumisaikaa pidentämään. Polyuretaanilakat ovat ominaisuuksiltaan maaleja vastaavia. Polyuretaanipinnat ovat helppohoitoisia, koska pinta hylkii vettä ja likaa. Vain neutraali pesu riittää pinnan puhtaanapitoon. (Saarela et al. 2003, 102. ; Uudenmaan pintasuojaus Oy.)

3 POLYURETAANIEN KÄYTTÖKOHTEET

Polyuretaanit ovat käytetyimpiä kertamuoveja. Niiden ominaisuudet ja olomuodot vaihtelevat käyttötarkoituksista riippuen. Monipuolisuuden ansiosta polyuretaaneja voidaan käyttää monissa eri kohteissa ja moniin eri tarkoituksiin. Niitä voidaan käyttää suoraan sellaisinaan tai niitä voidaan, lisälujuuden saavuttamiseksi, lujittaa lasikuidulla. Lujitetun polyuretaanin kestävyys on merkittävästi lujittamatonta vahvempaa. Valmiit polyuretaanituotteet ovat stabiileja ja niiden käsittely onnistuu ilman suojaimia. Valtaosa käytetyistä polyuretaaneista on vaahtoja, ja niitä käytetään pääasiassa joko pehmusteina tai eristeinä. (Järvinen 2000, 68. ; Kurri et al. 1999, 162-164.)



Kaavio 1. Kertamuovien käyttö (Järvinen 2000, 67.)



Kaavio 2. Polyuretaanin käyttö (Järvinen 2000, 68.)

3.1 Vaahtomaiset polyuretaanit

Valtaosa käytetyimmistä polyuretaaneista on vaahtomaisia. Vaahtot voivat olla joko

kovia tai pehmeitä. Kovia vaahtoja käytetään erityisesti eristeinä ja pehmeitä pehmusteina. Koska vaahto sisältää runsaasti ilmaa, se antaa hyvän eristävyuden. (Sepälä 1997, 126-127.)

Kovia vaahtoja on tarjolla runsaasti erilaisia. Niitä saa valmiista levyistä aina pulloissa myytäviin pursotusvaahtoihin. Levyjä käytetään pääasiassa lattioiden, kattojen ja seinien eristämiseen, mutta niitä voidaan käyttää myös moniin muihin eri tarkoituksiin. Polyuretaania voidaan liimata ja muovilla mekaanisesti, jolloin siitä voidaan valmistaa vaikkapa mallikappaleita. Purkkivaahtoja käytetään pääasiassa tiivistämiseen. Rakentamisessa ovien ja ikkunoiden tiivistämiseen käytetään pääasiassa juuri yksikomponentista saumausvaahtoa. Vaahtoa voidaan käyttää myös tilojen täyttämiseen silloin, kun sillä ei tarvitse olla lujuusominaisuuksia ja se ei joudu kosteudelle alttiiksi. (Henkel Makroflex Oy.)



*Kuva 2: Erilaisia saumausvaahtoja ja eristelevyjä
(Henkel Makroflex Oy.)*

Pehmeitä polyuretaaneja käytetään runsaasti pehmusteina. Monet vaahtomuovipatjat ovat polyuretaanivaahtomuovia. Vaahtomuovit sisältävät noin 90 % ilmaa. Erilaatuisia vaahtomuoveja on lukuisia, ja ne eroavat toisistaan tilavuuspainon, kimmoisuuden ja pehmeiden mukaan. Vaahtomuovit kestävät hyvin lämpötilojen vaihtelua kohtuullisissa rajoissa (-50... +100 °C) ja auringon UV-säteilyä. Polyuretaanivaahtomuovit eivät kuitenkaan ole vedenpitäviä ja kosteina käytettyinä ne menettävät osan ominaisuuksistaan. Vesi ei kuitenkaan vahingoita vaahtoa, ja se on kuivauksen jälkeen taas käyttökelpoista. Polyuretaanivaahtomuovi pitää asentaa niin, että se pääsee jotakin kautta hengittämään. Normaalisessa käytössä vaahtomuovi kestää, laadusta

riippuen, noin kymmenen vuotta. (Vaahtomuoviopas, 2-9.)



*Kuva 3:
Polyuretaanivaahdumuovista
valmistettu lasten leikki-
istuim (Vaahtomuoviopas, 3.)*

3.2 Kovat polyuretaanit

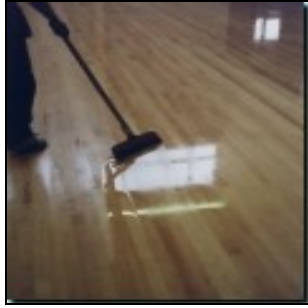
Kovat vaahtoutumattomat polyuretaanit ovat hyvin kulutusta kestäviä. Lisäksi ne ovat sitkeitä ja kestävät hyvin repimistä, iskuja ja kuormitusta. Lisäaineiden avulla polyuretaaneista saadaan täysin kovia tai kumimaisia sekä kaikkea siltä väliltä. Näiden ominaisuuksien ansiosta kovilla polyuretaaneilla on lukuisia käyttösovelluksia. Käyttökohteita ovat laakerit, pyörät, tiivisteet, värinänvaimentimet, kengänpohjat, letkut sekä monet muut kohteet. Kovista polyuretaaneista voidaan valmistaa myös mittatarkkoja muotteja niiden pienen kutistuman ansiosta. Polyuretaanien etuna on myös se, että niillä voidaan pinnoittaa valmiita osia. (Soft Diamond Oy.)



*Kuva 4:
Polyuretaanista
valmistettu
siipipyörä (Soft
Diamond Oy.)*

3.3 Maalit, lakat ja liimat

Polyuretaanipohjaisia pinnoitteita käytetään, koska niillä on hyvä tarttuvuus erilaisiin pintoihin ja ne ovat pitkäikäisiä. Lisäksi ne kestävät hyvin säätilojen vaihteluita, erilaisia kemikaaleja, kaasuja, UV-säteilyä ja kulutusta. Ne eivät kuitenkaan kestä voimakkaita happoja ja emäksiä. Maalit ja lakat säilyttävät värinsä ja kiiltonsa hyvin. Myös liimoja on saatavissa moniin eri käyttötarkoituksiin. Liimojen yhteisiä ominaisuuksia ovat hyvä tarttuvuus moniin erilaisiin materiaaleihin sekä erilaisten olosuhteiden ja aineiden kestävyys. Polyuretaanimaaleja käytetään varsinkin ulkotilojen maalaamiseen. Etenkin suurten rakennusten teräs- ja betoniosia maalataan juuri polyuretaanipohjaisilla maaleilla, koska ne ovat hyvin tarttuvia ja erittäin pitkäikäisiä. Polyuretaanilakat muodostavat erittäin kovan ja kulutusta kestävän pinnan. Tästä johtuen niitä käytetään julkisten tilojen lattioiden lakkaukseen. Lakoilla voidaan lakata betonia, puuta, epoksimaalattuja ja metallipintoja. Lakat soveltuvat jopa vaappujen pintalakaksi. Polyuretaanipohjaisia liimoja on yksi- ja kaksikomponenttisinä. Niiden monipuolisuuden ansioista käyttökohteita on lukuisia. Liimoilla voidaan liimata puuta, metallia, lasia, kiveä ja muoveja. (Findur HT Oy ; Solmaster Oy ; Uudenmaan pintasuojaus Oy ; Oy Sika Finland Ab.)



Kuva 5: PUR-lakalla lakattu lattia (Solmaster Oy.)



Kuva 6: PUR-puuliima (Akzo Nobel Coatings Oy.)



Kuva 7: Parvekkeen lattia maalattu PUR-pohjaisella maalilla (Tikkurila Oy.)

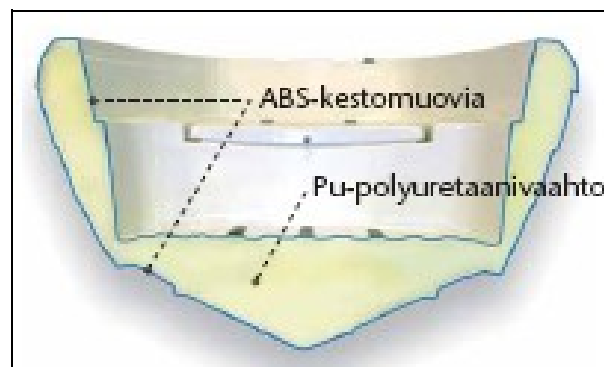
4 POLYURETAANIEN KÄYTTÖ VENEISSÄ

Koska polyuretaanit ovat monipuolisia muoveja, niitä voidaan käyttää veneissä monissa eri paikoissa. Eniten veneissä käytettyjä polyuretaaneja ovat penkeissä ja punkeissa käytetyt vaahtomuovit ja liimaamiseen käytetyt Sikaflex-tuotteet. Veneen ulkotiiloissa olevien penkkien istuintyynyinä voidaan käyttää polyuretaanivaahtomuovia, kunhan niiden päälle asetetaan vedenpitävä päällyskangas. Sisätiloissa olevien polyuretaanivaahtomuovien pintakankaiden pitää olla hengittäviä, jotta niissä oleva kosteus pääsee haihtumaan. Sikaflex-tuotepiheeseen kuuluu myös erityinen marine-tuoteryhmä. Nämä tuotteet on erityisesti suunniteltu veneitä varten. Tuotteita löytyy niin liimaukseen kuin saumaukseen ja tiivistämiseen. Puuveneissä voidaan käyttää, vesilinjan yläpuoleisiin osiin polyuretaanipohjaisia maaleja ja lakkoja. Pinnoitteet kestävät veden roisketa mutta eivät jatkuvaa ja pitkäkestoista upotusta. Näiden pinnoitteiden hyvinä puolina on kuitenkin hyvä kemikaalien, auringon UV-säteilyn ja kulutuksen kestävyys. Integraalisolumuovista voidaan valmistaa vaikkapa avoveneiden ohjauspulpetteja tai muita vastaavia tuotteita. Kovista polyuretaaneista voidaan valmistaa esimerkiksi potkuriakselin laakereita tai muita mittatarkkoja osia. (Vaahtomuoviopas, 2-9. ; Oy Sika Finland Ab ; Oy Hempel Ab.)



*Kuva 8: Tiikkikannen saumat massattu
(Oy Sika Finland Ab.)*

Kovia polyuretaanivaahtoja käytetään erityisesti kellukkeissa. Niitä voidaan käyttää myös jäykisteissä tai laipioiden ja seinien ydinaineena. Pienveneissä polyuretaani-vaahdolla liimataan veneen sisä- ja ulkokuori kiinni toisiinsa. Suuremmissa veneissä polyuretaani-vaahdolla voidaan liimata tankkeja kiinni runkoon. (Terhi Oy.)



Kuva 9: Terhiveneen rakenne (Terhi Oy.)

Polyuretaani-vaahdon ongelmana on se, että se imee itseensä vettä. Jos tätä vedenimevyysoongelmaa ei olisi, polyuretaani-vaahdot olisivat hyviä materiaaleja veneisiin. Ne ovat halpoja, niitä on helppo valmistaa ja käsitellä ja ne kestävät yleisesti käytettyjä hartseja. Lisäksi ne ovat hyviä lämmön- ja ääneneristeitä. Polyuretaani-vaahtoja voidaan käyttää myös lestien ja muottien valmistukseen.



Kuva 10: Lestin valmistus polyuretaanivaahtolevystä

5 TUTKIMUS

Testeissä pyrittiin selvittämään polyuretaanien kosteuden sietoa ja liimaavuutta. Testausmenetelmät muodostuivat käytettävissä oleiden tilojen ja laitteiden mukaan. Testeissä jokaisesta tyyppistä tehtiin kymmenen kappaleen otos. Näin saatiin tuloksia, joiden perusteella voitiin päätellä, kuinka eri polyuretaanivaahdot käyttäytyvät erilaisissa olosuhteissa.

5.1 Vesiabsorptio

Vesiabsorptio eli veden imeytyminen on yleinen ongelma polyuretaanivaahtoja käytettäessä. Huokoisessa rakenteessa on runsaasti tilaa vedelle. Testissä tutkittiin eri vaahtojen veden imeytymistä ja pintanahan vaikutusta imeytyvyyteen. Tarkoituksena oli myös saada selville veden imeytymismäärä ja nopeus eri polyuretaanivaahdotyypeille.

5.1.1 Testikappaleet

Testattavat vaahdot olivat Würthin pistoolivaahto Mega+, Henkelin uretaanivaahtolevy Makropur- J ja Terpolin kaksikomponenttiuretaanivaahto. Würthin Mega+ on yksikomponenttiuretaanivaahto, jota käytetään rakennuksissa tiivistämiseen, eristämiseen, kiinnittämiseen ja täyttämiseen. Valmistajan mukaan se kestää hyvin vettä (Würth Oy). Henkelin Makropur- J on myös eristämiseen käytetty uretaanivaahtolevy. Levyn paksuus on 20 mm ja valmistajan mukaan se imee vettä vain 2,5 % (Hen-

kel Makroflex Oy). Kolmantena vaahtona oli Terpolin kaksikomponenttiuretaani-vahto. Tätä vaahtoa käytetään erilaisten tilojen täyttämiseen, ja valmistajan mukaan se soveltuu myös veneisiin kellukevaahdoksi (Terpol Oy). Lisäksi mukaan otettiin polyuretaanipohjainen Casco-puuliima. Valmistajan mukaan liima soveltuu myös ulkokäyttöön ja sen vedenpitävyys on hyvä (Akzo Nobel Coatings Oy).

Testikappaleet valmistettiin itse ja jokaista tyyppiä valmistettiin kymmenen kappaleen sarja, jotta tuloksista saataisiin selkeät johtopäätökset. Testikappaleista tehtiin pieniä, jotta niiden valmistus ja käsittely olisi helppoa. Valmiista uretaanilevystä sahatut kappaleet olivat kaikki kooltaan 50 mm * 30 mm * 20 mm.



Kuva 11: Muotit vuorattu tuorekelmulla

Vaahtoutuvista uretaaneista valmistetut testikappaleet valmistettiin muottiin valamalla. Muotteina toimivat työkalupakkien lokerikko-osiot. Lokerot vuorattiin tuorekelmulla, jotta uretaani ei liimautuisi itse pakkiin kiinni. Kelmun ansioista kappaleiden jokainen sivu oli nahkapintainen.

Yhdellä valamiskerralla valmistui 24 testikappaletta. Koska tutkimukseen tarvittiin vain 20 testikappaletta, neljä ylimääräistä kappaletta antoivat mahdollisuuden valita parhaat testikappaleet. Liimasta valettiin vain yksi kappale, koska se toimi vertailukappaleena vaahtoihin nähden.

Uretaani valettiin muotteihin valmistajan ohjeiden mukaisesti ja jätettiin kuivumaan vuorokaudeksi. Seuraavana päivänä kappaleet irrotettiin ja kelmut poistettiin. Muotit

vuorattiin uudelleen kelmuilla ja niihin valettiin seuraava uretaanivaaho. Vaahdon annettiin taas kovettua yön yli ja seuraavana päivänä ne irrotettiin ja kelmut poistettiin. Irrotetut kappaleet saivat vielä kovettua rauhassa useita päiviä.



Kuva 12: Toinen uretaanisarja valettu.

Hyvin kovettuneista kappaleista valittiin parhaat 20 kappaletta testiin. Molemmista vaahdotyypeistä valittiin kymmenen kappaletta sellaisinaan upotettavaksi ja kymmenen kappaletta, joista hiottaisiin nahkapinta rikki. Hiotuista kappaleista poistettiin hiontapöly paineilmalla. Puhdistettuihin kappaleisiin merkittiin veden kestäväällä tus-silla tunniste numero. Koska kappaleet eivät olleet täysin identtisen kokoisia ja pun-nitus tapahtui gramman sadasosan tarkkuudella, oli jokainen kappale tunnistettava yksilöllisesti. Merkitsemismenetelmässä käytettiin yksinkertaista numerointia. Nu-meroinnissa luvun kokonaisluku kertoi vaahdotyyppin ja desimaali kertoi yksilöluvun [Liite 1]. Vaahdotyyppien numerointi tapahtui seuraavasti:

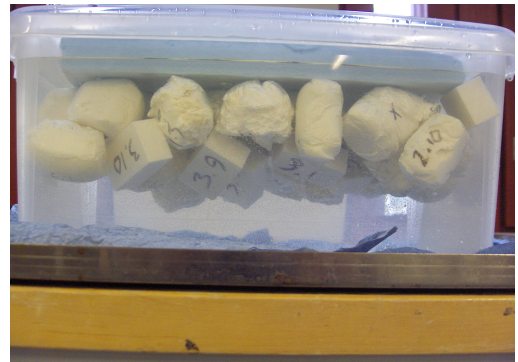
1. yksikomponenttiuretaanivaaho ehjällä pinnalla
2. yksikomponenttiuretaanivaaho hiotulla pinnalla
3. valmis uretaanivaahtolevy
4. kaksikomponenttiuretaanivaaho ehjällä pinnalla
5. kaksikomponenttiuretaanivaaho hiotulla pinnalla.

5.1.2 Testaus

Valmiit ja täysin kovettuneet testikappaleet punnittiin yksilöllisesti ja paino kirjattiin muistiin. Punnituksen jälkeen kaikki testattavat kappaleet laitettiin vesiastiaan. Jotta kaikki testikappaleet saatiin tasaisesti veden alle, oli niiden päälle laitettava vettä imemätön styrofoam-levy. Levyn asettamisen jälkeen astian kansi suljettiin. Levyn ansiosta kaikki kappaleet olivat veden pinnan alapuolella. Näin kaikki testikappaleet altistuvat kosteudelle tasaisesti.



Kuva 13: Kappaleen punnitus



Kuva 14: Testikappaleet suljetussa vesiastiassa.

Ensimmäinen punnitus, kosteudelle altistumisen jälkeen, tapahtui seuraavana päivänä. Ennen punnitusta testikappaleet nostettiin vesiastiasta pois ja ylimääräinen vesi kuivattiin pinnasta pois. Pintakuivaus suoritettiin, koska kappaleet olivat keveitä ja punnitustarkkuus suuri. 0,01 grammaa vettä on tilavuudeltaan vain kymmenen mikrolitraa (0,00001 litraa). Pienikin pinnassa oleva vesipisara saattaisi antaa monen prosentin painon lisäyksen. Kun jokainen kappale oli punnittu yksilöllisesti, kaikki kappaleet laitettiin takaisin vesiastiaan yhtä aikaa, painolevy lisättiin ja kansi suljettiin.

Seuraavat punnitukset tapahtuivat toisena, kolmantena sekä kahdeksantena päivänä kosteudelle altistumisen jälkeen sekä kahden ja kolmen viikon kuluttua testin alkamisesta. Jokainen punnitus tapahtui samalla tavalla: kappaleet nostettiin vedestä pois, pinta kuivattiin, testikappaleet punnittiin ja laitettiin takaisin veteen.

5.2 Liimaavuus

Polyuretaaneille on ominaista hyvä tarttuvuus monenlaisiin pintoihin. Tässä tutki-

muksessa selvitettiin, kuinka sauman paksuus sekä erilaiset olosuhteet vaikuttavat polyuretaanien liimaavuuteen. Olosuhteet valittiin seuraavasti:

1. Vertailuryhmä; normaalissa huoneenlämmössä olevat
2. 7 vuorokauden upotus ja yhden vuorokauden kuivuminen
3. 1 tunnin upotus, 7 vuorokauden pakastus ja 2 vuorokauden sulatus.

Näillä olosuhteilla pyrittiin selvittämään, kuinka polyuretaanien ominaisuudet muuttuvat kosteuden ja kylmän rasituksissa.

5.2.1 Testikappaleet

Testattavien vaahtojen sauman paksuudet olivat 0 mm, 4 mm ja 20 mm, liimojen vain 0 mm. Polyuretaaneina olivat yksikomponenttinen uretaanivaaho Würth Mega + ja kaksikomponenttinen Terpol-uretaanivaaho sekä vertailuliimoina käytettiin uretaanipohjaista Casco-puuliimaa ja Aralditin kaksikomponenttista epoksiliimaa.

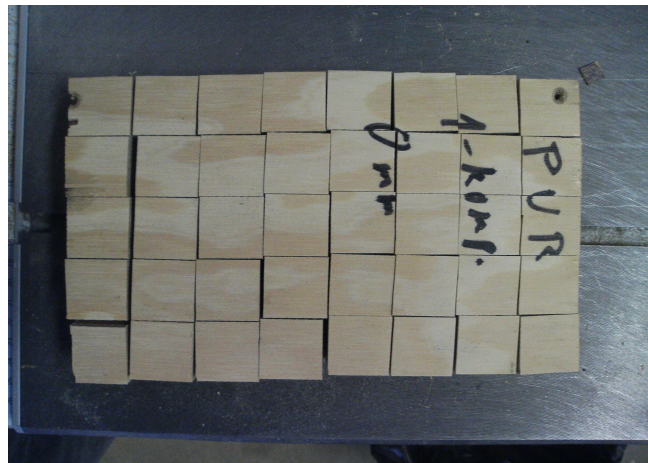
Liimattavat kappaleet olivat 16 mm paksua vanerilevyä. Vanerista sahattiin 125 mm * 200 mm kokoisia paloja, joiden liimattava pinta hiottiin koneellisesti puhtaaksi ja tasaiseksi. Hiomapaperin karkeus oli 400. Hiontapöly poistettiin paineilmalla. Jotta haluttu sauman paksuus saavutettiin, vanereiden kulmiin lisättiin korotuspalat. Uretaani levitettiin vanerille ja vastalevy ruuvattiin kiinni.



Kuva 15: Liimaussaumat kuivumassa.

Liimasaumat saivat kuivua ja kovettua rauhassa kaksi vuorokautta. Kuivuneista palikoista poistettiin ruuvit ja yli pursunneet vaahdot. Levyistä sahattiin vannesahalla 25

mm * 25 mm kokoisia paloja.



Kuva 16: Liimalevy sahattu osiin.

Paloista poistettiin kulmapalat ja valittiin 30 tasalaatuista palaa. Palat numeroitiin ja siirrettiin odottamaan testin alkua.



Kuva 17: Testikappaleet sahattuina, numeroituina ja järjesteltyinä.

5.2.2 Testaus

Testaus aloitettiin upottamalla pakastettavat testikappaleet tunniksi veteen. Upotus tehtiin samalla tavalla kuin vesiabsorptiokokeessa. Vedessä olevien testikappaleiden päälle laitettiin styrofoam-levy, joka painoi testikappaleet veden alle, kun kansi suljettiin. Tunnin kuluttua testikappaleet nostettiin toiseen rasiaan, joka laitettiin pakastimeen (-18 °C). Upotetut testikappaleet upotettiin samalla tavalla kuin pakastetut testikappaleet.

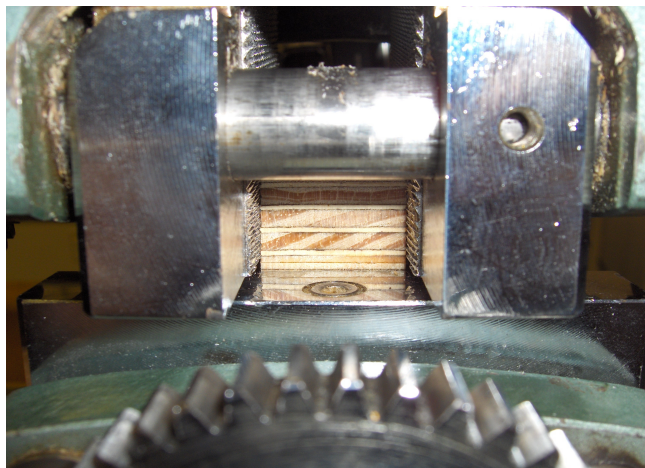
Viikon kuluttua kaikki kappaleet nostettiin huoneenlämpöön tasaantumaan. Upotetut testikappaleet saivat tasaantua vuorokauden ja pakastetut testikappaleet kaksi vuoro-

kautta.



Kuva 18: Testikappaleet tasaantumassa

Liimaavuuden testauksessa käytettiin Tiratest-merkkistä materiaalienkoestuslaitetta. Veto tapahtui kohtisuoraan liimasaumaan nähden ja vetonopeus oli 0-5 mm/min. Testissä tarkkailtiin liimasauman rikkoutumiseen tarvittavaa voimaa ja rikkoutumiskohtaa. Jokaisesta testikappaleesta merkittiin muistiin suurin voima ja rikkoutumiskohta ylös.



Kuva 19: Testikappale kiinnitettynä vetopenkkiin.

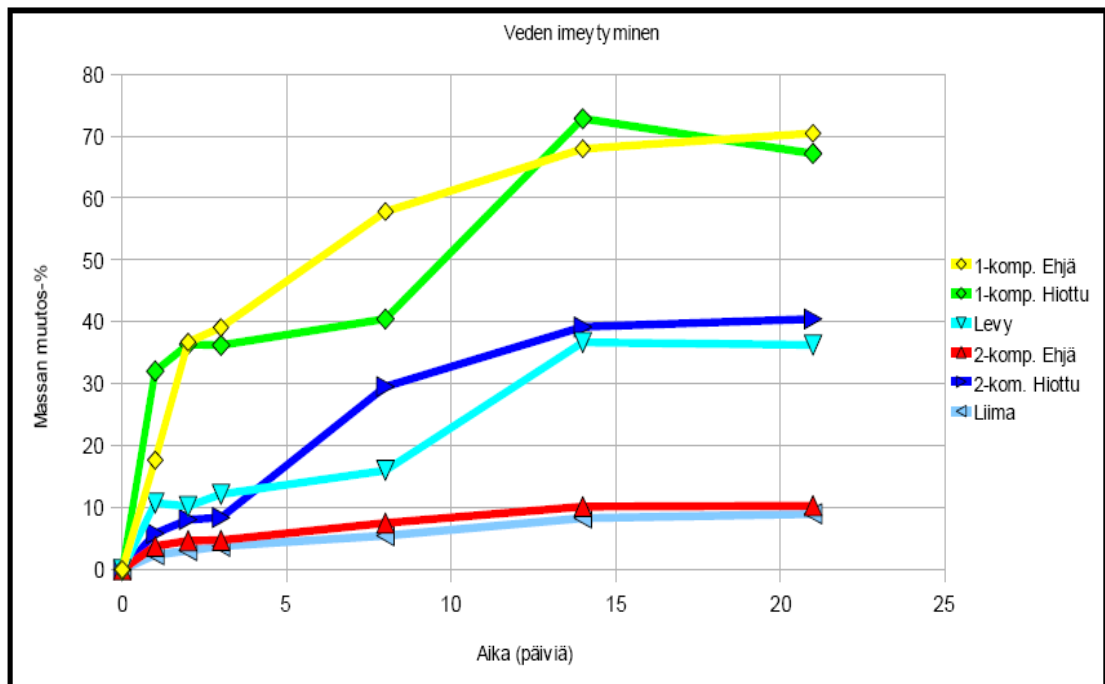
5.3 Testien tulokset

Testien päätyttyä kaikki tulokset koottiin yhteen ja niitä analysoitiin taulukkolaskentaohjelmalla. Ohjelman avulla pystyttiin muuntamaan erilaisista uretaanivaahdoista saaduista tiedoista yhtenäinen lopputulos.

Testausmenetelmät ovat muodostuneet tilojen ja olosuhteiden mukaan, joten analysointi vaatii myös soveltamista. Analysointitekniikat olivat jo testien suunnittelu vaiheessa miettimisen kohteena. Testien tuloksien pitää olla selkeästi luettavissa ja helposti ymmärrettävissä.

5.3.1 Vesiabsorptio

Koska testissä käytettiin erityyppisiä polyuretaanivaahoja, ei tuloksia voi vertailla suoraan. Punnitusten tulokset muutettiin grammoista massaprosentin muutokseen. Massaprosentin muutos kertoo, kuinka paljon kappaleen massa on muuttunut kuivapainoon nähden. Koska upotukseen käytetty neste oli vesijohtovettä, voidaan sen tiheytenä pitää 1 kg/dm^3 . Kymmenen kappaleen otoksen ansiosta voidaan jokaisesta erästä ottaa keskiarvo. Yhden polyuretaanilevykappaleen kuivapunnituksessa oli tapahtunut punnitusvirhe, joten sitä ei otettu tuloksissa huomioon. Kymmenen kappaleen keskiarvo antaa selkeän kuvan veden imeytymisestä, ja mahdolliset pienet yksilölliset poikkeamat pyöristyvät pois. Näin saatiin seuraavanlainen kuvaaja, joka kuvaa veden imeytymistä erilaatuisiin polyuretaaneihin tutkimusajanjaksolla (kaikki arvot liitteessä 1).



Kaavio 3. Massaprosentin keskiarvon muutos.

Kuvaajasta käy selvästi ilmi, että yksikomponenttinen uretaanivaaho imee vettä it-

seensä huomattavia määriä jo lyhyen altistumisen jälkeen. Myöskään vaahdon pinnalla olevasta nahasta ei ole mitään hyötyä yksikomponenttisen uretaanivaahdon kohdalla. Hiotun yksikomponenttisen uretaanivaahdon erilainen käyrä selittyy sillä, että pintanahka ei vain hidasta veden imeytymistä vaan myös hidastaa sen pois valumista. Yksikomponenttinen polyuretaanivaahdo sisältää erikokoisia huokosia. Suurimpiin huokosiin mahtuu jopa gramma vettä. Hiotussa testikappaleessa nämä huokokset tyhjentyivät heti kun kappale nostettiin vedestä. Avoimista huokosista huolimatta yksikomponenttiset polyuretaanit imevät itseensä suuria määriä vettä.

Kaksikomponenttisten polyuretaanivaahdojen tapauksessa tilanne on erilainen. Kuvajasta näkee, kuinka paljon pintanahka merkitsee. Hiomaton pinta ei päästä vettä sisään paljoakaan verrattuna muihin testikappaleisiin. Hiotullakaan pinnalla ei ole yhtä voimakasta imeytymistä kuin yksikomponenttisillä vaahdoilla, koska kaksikomponenttinen vaahdo on rakenteeltaan tasalaatuisempaa ja huokokset ovat pienempiä. Tiiviimmän rakenteen ansiosta vesi ei pääse suurissa määrin imeytymään vaahdoon lyhyen altistumisen aikana.

Valmiissa vaahtolevyssä ei ole minkäänlaista suojaavaa pintakerrosta. Koska levy on tarkoitettu eristeeksi, siihen on lisäaineiden avulla saatu aikaan vedenkestävyyttä. Lisäaineista huolimatta vaahdon solurakenne on avoin ja vesi pääsee tunkeutumaan soluihin.

Polyuretaanipohjainen liima kesti vettä testatuista materiaaleista parhaiten. Liimasta valettu kappale ei sisältänyt minkäänlaista huokosrakennetta. Huokosvapaasta rakenteesta huolimatta liimakin imi itseensä vettä. Lisäksi ehjäpintainen kaksikomponenttipolyuretaanivaahdo ei imenyt kuin muutaman prosentin enemmän vettä kuin liima.

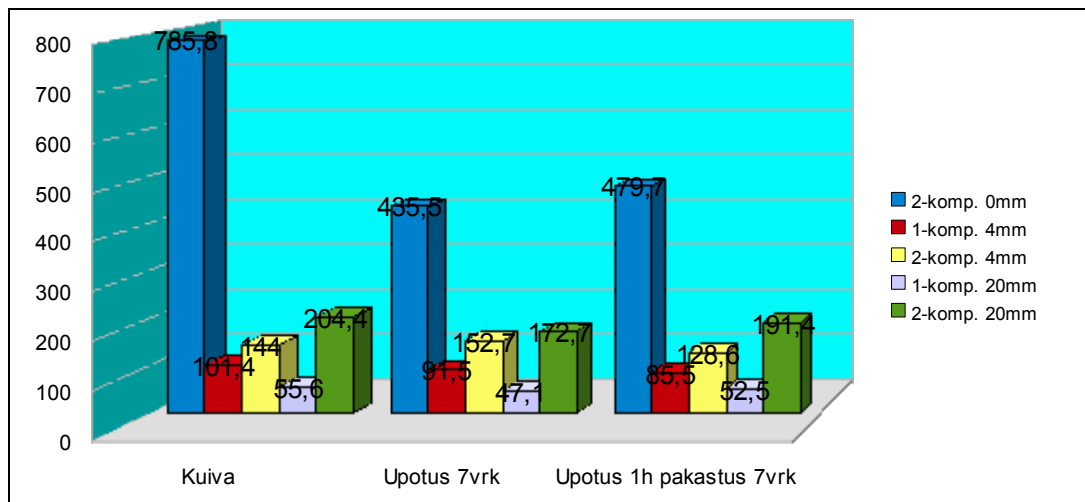
5.3.2 Liimaavuus

Testissä kaksi samanlaista vaneripalaa liimattiin yhteen käyttäen erilaisia ja eripakuisia liimaussaumoja. Heti testin alussa ilmaantui odottamattomia tilanteita. Veto-kokeessa liimasauma oli kestävämpi kuin vanerilevyn rakenne. Varsinaisilla liimoilla ja ohuilla vaahtosaumoilla liimasauman kestävyys ylitti vanerilevyn kestävyuden.

Tästä johtuen ohuiden saumojen kestävyys tulos on saatu vain muutaman tuloksen avulla. Koska otos on merkittävästi pienempi kuin muilla, tulos huomioidaan varauksella. Toinen ilmennyt ongelma oli kaksikomponenttisen epoksiliiman huono tarttuminen: osa liimatuista kappaleista irtosi kosketuksesta. Kolmas ongelma oli käytetyn vanerilevyn epätasainen laatu. Samasta levystä leikattujen palojen vetolujuudessa saattoi olla useiden satojen newtonien eroja rikkoutumispisteessä.

Ongelmista huolimatta tuloksista on mahdollista tehdä päätelmiä. Puuliiman, epoksiliiman ja 0 mm:n raolla olevan yksikomponenttipolyuretaanivaahdon liimaavuus ylitti vanerin kestävyys, joten nämä aineet toimivat hyvin liimoina kaikissa testatuissa olosuhteissa.

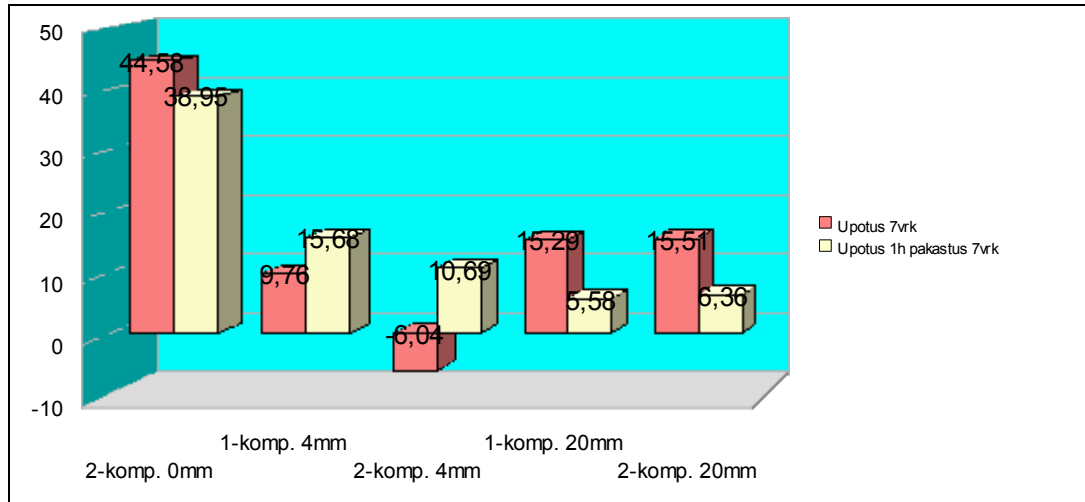
Lopuilla testikappaleilla jokaisesta otoksesta laskettiin keskiarvo ja keskiarvoja vertaamalla saatiin selville, kuinka monta prosenttia olosuhteet heikentävät sauman kestävyttä verrattuna stabiiliin tilanteeseen. Lisäksi keskiarvojen avulla pääteltiin, kuinka paljon sauman paksuus vaikuttaa kappaleen kestävyteen. Tuloksiksi saatiin seuraavanlaisia arvoja (tarkat arvot liitteessä 2).



Kaavio 4. Sauman rikkoutumiseen tarvittu voima [N]

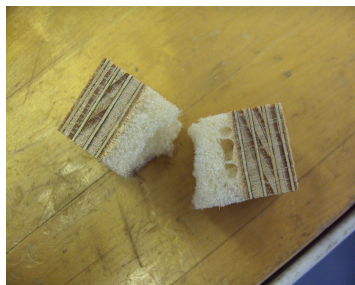
Kuten kuvaajasta käy ilmi, kaksikomponenttisen uretaanivaahdon liimaavuus on muihin nähden erinomainen. Tosin kosteus ja kylmyys laskevat liimasauman kestävyttä paljon neutraaliin tilanteeseen verrattuna. Sauman paksuuden kasvaessa olosuhteiden aiheuttama rasitus pienenee. Kaksikomponenttisellä saumalla on havaitta-

vissa lievää kestävyiden lisääntymistä saumapaksuuden kasvaessa 4 mm:stä 20 mm:iin. Yksikomponenttinen sauma taas heikkenee saumapaksuuden kasvaessa. Syynä tähän heikkenemiseen ovat yksikomponenttisen vaahdon suuret huokokset.

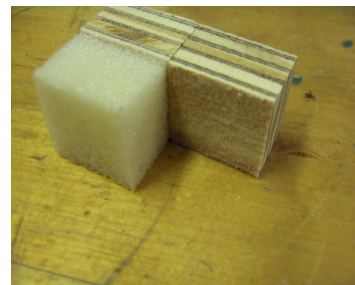


Kaavio 5. Liimasauman kestävyiden heikkeneminen prosentteina.

Arvoista saadaan monta erikoista tulosta. Neljän millimetrin paksuisella saumalla on parempi kosteuden kesto kuin pakastuksen kesto, vaikka se muilla saumapaksuuksilla on päinvastainen. Kaksikomponenttisella saumalla kylmyyden heikentävä vaikutus pienenee sauman paksuuden kasvaessa. Sama ilmiö on myös havaittavissa yksikomponenttisen sauman yhteydessä. Pitää kuitenkin huomioida, että luvut ovat prosentteja verrattuna neutraalissa tilassa olevasta testikappaleista, eli paksumpi sauma ei ole sama asia kuin vahvempi liimasauma.



Kuva 20: 1-komponenttinen vaahdo



Kuva 21: 2-komponenttinen vaahdo

Vaahtojen kestävydessäkin oli eroja. Kaksikomponenttinen sauma rikkoutui aina vaahdon ja vanerin rajapinnasta, kun taas yksikomponenttisella rikkoutuminen ta-

pahtui keskeltä vaahtoa. Voidaan siis sanoa, että yksikomponenttinen vaahto tarttuu paremmin, mutta kaksikomponenttinen vaahto on taas vahvempaa rakenteeltaan.

6 PÄÄTELMÄT

Testeissä todettiin, että testatut polyuretaanivaahdot imevät itseensä suuria määriä vettä valmistajan antamista arvioista huolimatta. Tästä johtuen polyuretaanivaahtoja ei pitäisi käyttää kohteissa, joissa ne joutuvat alttiiksi kosteudelle ja joissa ne eivät pääse kuivumaan. Tiloihin, joihin vesi ei pääse, polyuretaani soveltuu hyvin. Polyuretaanivaahtoja voidaan käyttää esimerkiksi laipioiden ja sisustuselementtien sandwich-rakenteen ydinaineena. Mikäli polyuretaanivaahtoa kuitenkin joudutaan laittamaan tilaan, jossa se altistuu kosteudelle, kannattaa valita kaksikomponenttinen vaahto. Vaahdon pintaa ei saa kuitenkaan rikkoa, jotta vesi ei pääse tunkeutumaan sen rakenteeseen.

Polyuretaanivaahdolla voidaan liimata, jos liimattavien kappaleiden välillä on rako. Saumat eivät kuitenkaan kestä suuria rasituksia. Yhteen puristetuille kappaleille kannattaa käyttää liimoja. Kylmyys ja kosteus eivät kuitenkaan tuhoa saumaa, mutta alentavat kuitenkin sen kestävyyttä.

Testitulokset, jotka antoi alkusysäyksen tähän opinnäytetyöhön, on osoittautunut virheelliseksi. Yksikomponenttista polyuretaanivaahtoa ei kannata käyttää veneissä. Sen käyttämisestä saatu säästö ei ole samassa suhteessa sen aiheuttamien haittojen kanssa.

LÄHTEET

Akzo Nobel Coatings Oy internetsivut. Saatavissa:

<http://www.casco.fi/> [viitattu 30.09.08]

Findur HT Oy:n internetsivut. Saatavissa:

<http://www.findur.fi/> [viitattu 30.09.08]

Henkel Makroflex Oy:n internetsivut. Saatavissa:

http://www.makroflex.ee/global/index.php?finland_about [viitattu 29.09.08]

Häihä, A. 1985 Polyuretaanit ja niiden käyttökäytännöt. Helsinki: Muoviyhdistys ry.

Järvinen, P. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Muovifakta Oy

Kurri, V., Malén, T., Sandell, R., & Virtanen, M. 1999. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus

Oksanen, T. 2007 Laboratorionäytteiden valmistus kertamuovista. Tutkintatyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Saatavissa:

<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/5618/Oksanen.Tytti.pdf?sequence=1>

[viitattu 15.02.08]

Oy Hempel Finland Ab internetsivut. Saatavissa:

<http://www.hempel.fi/internet/inefic.nsf/vDOC/207FB384E7139219C1256BE4004DF139?OpenDocument> [viitattu 30.09.08]

Oy Sika Finland Ab internetsivut. Saatavissa:

<http://www.sika.fi/> [viitattu 30.09.08]

Raaka-ainekäsikirja 4: Muovit ja kumit. 2001 2. Uudistettu painos. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET

Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa, V. 2003. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys ry.

Seppälä, J. 1997. Polymeeritekniologian perusteet. 3. tarkistettu ja korjattu painos. Otaniemi: Otaniemi Oy

Soft Diamond Oy internetsivut. Saatavissa:

<http://www.softdiamond.fi/> [viitattu 30.09.08]

Solmaster Oy internetsivut. Saatavissa:

<http://www.solmaster.fi/> [viitattu 30.09.08]

Terhi Oy internetsivut. Saatavissa:

<http://www.terhi.fi/> [viitattu 30.09.08]

Terpol Oy internetsivut. Saatavissa:

<http://www.terpol.fi/tuotteet.htm> [viitattu 17.09.08]

Tikkurila Oy:n Lattian maalausopas. Saatavissa:

http://www.tikkurila.fi/files/413/Tikkurila_opas_Lattian_maalausopas.pdf

[viitattu 30.09.08]

Uudenmaan pintasuojaus Oy:n Internet-sivut. Saatavissa:

http://www.pintasuojaus.com/Polyuretaani/body_polyuretaani.html

[viitattu 07.02.08]

Vaahtomuoviopas. Muoviteollisuus ry. Saatavissa:

[http://www.muoviteollisuus.fi/document.php?](http://www.muoviteollisuus.fi/document.php?DOC_ID=62&SEC=f53b20b94419bcbcf4a7784545f7bfce&SID=1#vaahtoopas1.pdf)

[DOC_ID=62&SEC=f53b20b94419bcbcf4a7784545f7bfce&SID=1#vaahtoopas1.pdf](http://www.muoviteollisuus.fi/document.php?DOC_ID=62&SEC=f53b20b94419bcbcf4a7784545f7bfce&SID=1#vaahtoopas1.pdf)

[viitattu 30.09.08]

Wapedia. Saatavissa:

http://wapedia.mobi/fi/Kuva:PU_synthesis.png [viitattu 09.02.08]

Würth Oy:n kiinnitysopas. Saatavissa:

http://www.wurth.fi/site/media/pdf/taulukkoja/JM_kiinnitys.pdf [viitattu 17.09.08]

LIITTEET

LIITE 1: Veden imeytyminen polyuretaanivaahtoihin

LIITE 2: Polyuretaanien liimaavuus

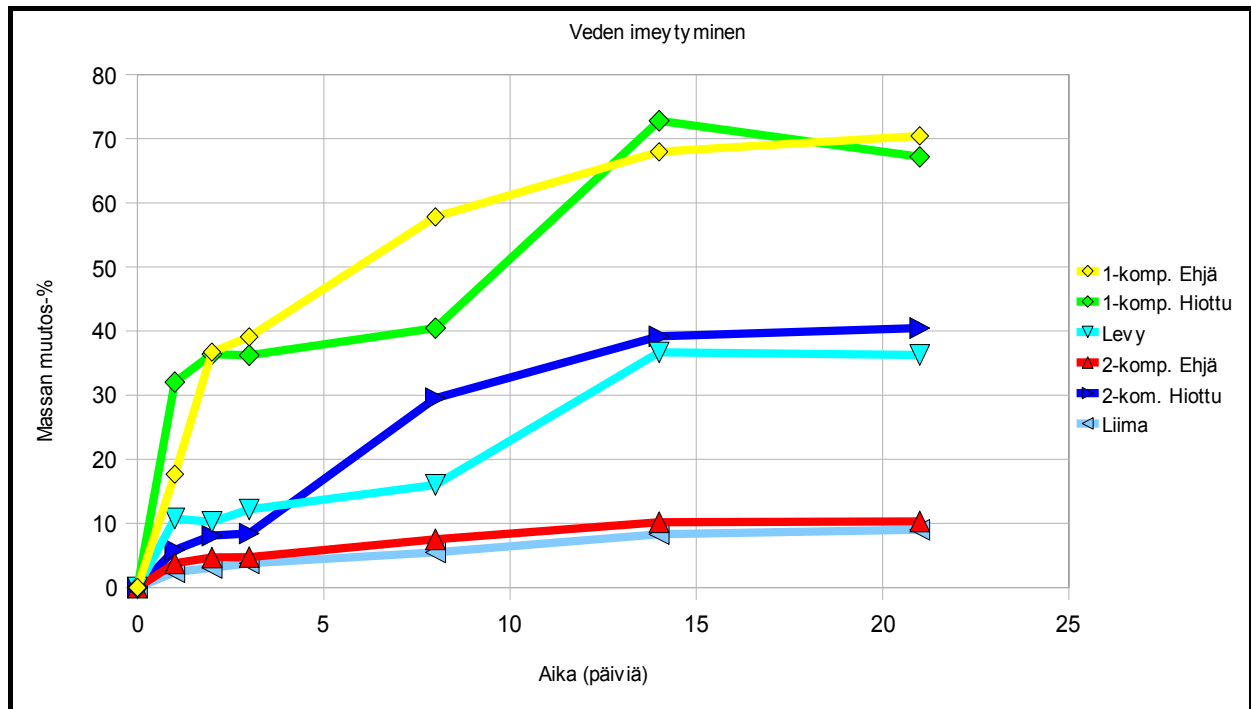
LIITE 1
 (1/3)

Kappale	Kuiva paino	Päivä					
		1	2	3	8	14	21
1,01	2,7	2,9	4,74	4,05	5,12	3,72	4,91
1,02	2,23	2,44	2,6	2,58	2,7	3,12	3,14
1,03	1,8	2,33	2,88	2,55	2,75	2,87	2,95
1,04	1,96	2,24	2,59	2,61	4,64	3,36	3,4
1,05	1,9	2,21	2,08	2,06	2,05	2,85	2,89
1,06	2,11	2,25	2,48	3,62	3,5	3,53	3,61
1,07	2,3	2,48	4,07	4,07	4,24	4,9	4,7
1,08	2,1	2,66	2,46	2,76	3,02	3,45	3,5
1,09	2,25	2,57	2,54	2,61	2,9	3,99	3,79
1,10	2,02	2,92	3,01	2,95	2,97	4,02	3,67
2,01	3,26	3,74	4,13	4,22	4,7	5,17	5,36
2,02	2,95	3,98	3,96	4,41	4,36	5,6	5,1
2,03	2,86	3,65	3,79	3,76	3,93	4,68	4,53
2,04	1,97	2,36	2,61	2,58	2,68	3,53	3,44
2,05	2,42	3,28	3,73	3,2	3,3	4	4
2,06	2,14	2,89	2,68	2,62	2,77	3,58	3,51
2,07	2,48	3,38	3,29	3,36	3,41	4,46	4,21
2,08	2,14	2,85	3,05	2,99	2,83	4,09	3,68
2,09	2,27	3,08	3,08	3,1	3,28	3,66	3,65
2,10	2,1	3,1	3,1	3,24	3,34	3,61	3,56
3,01	1,18	1,27	1,28	1,35	1,35	1,55	1,68
3,02	1,2	1,37	1,33	1,37	1,38	1,62	1,66
3,03	1,22	1,32	1,36	1,38	1,42	1,67	1,69
3,04	1,11	1,26	1,26	1,27	1,32	1,51	1,52
3,05	1,2	1,31	1,3	1,33	1,38	1,58	1,58
3,06	1,24	1,36	1,36	1,38	1,41	1,78	1,63
3,07	1,17	1,28	1,32	1,31	1,4	1,64	1,59
3,08	1,18	1,32	1,29	1,32	1,37	1,62	1,57
3,09	1,21	1,37	1,3	1,3	1,39	1,67	1,67
3,10	1,9	1,34	1,29	1,29	1,42	1,69	1,68
4,01	5,44	5,6	5,64	5,65	5,71	5,78	5,79
4,02	5,02	5,2	5,3	5,27	5,41	5,54	5,59
4,03	4,46	4,61	4,65	4,65	4,68	4,76	4,78
4,04	4,83	5,02	5,08	5,05	5,14	5,17	5,14
4,05	5,09	5,32	5,34	5,35	5,48	5,55	5,53
4,06	5,12	5,36	5,41	5,42	5,59	5,83	5,95
4,07	4,09	4,26	4,28	4,31	4,4	4,59	4,51
4,08	5,52	5,73	5,74	5,75	5,95	6,03	6,04
4,09	3,98	4,12	4,16	4,18	4,52	4,77	4,8
4,10	4,49	4,64	4,68	4,68	4,73	4,81	4,79
5,01	4,5	4,73	4,78	4,79	5,37	5,72	5,81
5,02	4,24	4,44	4,48	4,5	5,02	5,57	5,45
5,03	4,79	5,03	5,12	5,11	5,93	6,17	6,25
5,04	3,95	4,14	4,2	4,22	4,95	5,09	5,14
5,05	3,56	3,75	3,84	3,81	4,57	4,87	4,98
5,06	3,8	3,95	4,04	4,03	4,74	5,34	5,16
5,07	4,3	4,57	4,62	4,66	5,4	5,89	6,04
5,08	4,06	4,61	4,86	5,02	6,54	7,21	7,68
5,09	3,96	4,17	4,25	4,21	5,13	5,42	5,36
5,10	3,72	3,89	3,98	3,97	5,18	5,46	5,42
Liima	19,56	20,03	20,16	20,3	20,63	21,19	21,32

LIITE 1
 (2/3)

Päivä	Painonmuutos massa-%						
	0	1	2	3	8	14	21
1,01	0	7,41	75,56	50	89,63	37,78	81,85
1,02	0	9,42	16,59	15,7	21,08	39,91	40,81
1,03	0	29,44	60	41,67	52,78	59,44	63,89
1,04	0	14,29	32,14	33,16	136,73	71,43	73,47
1,05	0	16,32	9,47	8,42	7,89	50	52,11
1,06	0	6,64	17,54	71,56	65,88	67,3	71,09
1,07	0	7,83	76,96	76,96	84,35	113,04	104,35
1,08	0	26,67	17,14	31,43	43,81	64,29	66,67
1,09	0	14,22	12,89	16	28,89	77,33	68,44
1,10	0	44,55	49,01	46,04	47,03	99,01	81,68
2,01	0	14,72	26,69	29,45	44,17	58,59	64,42
2,02	0	34,92	34,24	49,49	47,8	89,83	72,88
2,03	0	27,62	32,52	31,47	37,41	63,64	58,39
2,04	0	19,8	32,49	30,96	36,04	79,19	74,62
2,05	0	35,54	54,13	32,23	36,36	65,29	65,29
2,06	0	35,05	25,23	22,43	29,44	67,29	64,02
2,07	0	36,29	32,66	35,48	37,5	79,84	69,76
2,08	0	33,18	42,52	39,72	32,24	91,12	71,96
2,09	0	35,68	35,68	36,56	44,49	61,23	60,79
2,10	0	47,62	47,62	54,29	59,05	71,9	69,52
3,01	0	7,63	8,47	14,41	14,41	31,36	42,37
3,02	0	14,17	10,83	14,17	15	35	38,33
3,03	0	8,2	11,48	13,11	16,39	36,89	38,52
3,04	0	13,51	13,51	14,41	18,92	36,04	36,94
3,05	0	9,17	8,33	10,83	15	31,67	31,67
3,06	0	9,68	9,68	11,29	13,71	43,55	31,45
3,07	0	9,4	12,82	11,97	19,66	40,17	35,9
3,08	0	11,86	9,32	11,86	16,1	37,29	33,05
3,09	0	13,22	7,44	7,44	14,88	38,02	38,02
3,10	0	-29,47	-32,11	-32,11	-25,26	-11,05	-11,58
4,01	0	2,94	3,68	3,86	4,96	6,25	6,43
4,02	0	3,59	5,58	4,98	7,77	10,36	11,35
4,03	0	3,36	4,26	4,26	4,93	6,73	7,17
4,04	0	3,93	5,18	4,55	6,42	7,04	6,42
4,05	0	4,52	4,91	5,11	7,66	9,04	8,64
4,06	0	4,69	5,66	5,86	9,18	13,87	16,21
4,07	0	4,16	4,65	5,38	7,58	12,22	10,27
4,08	0	3,8	3,99	4,17	7,79	9,24	9,42
4,09	0	3,52	4,52	5,03	13,57	19,85	20,6
4,10	0	3,34	4,23	4,23	5,35	7,13	6,68
5,01	0	5,11	6,22	6,44	19,33	27,11	29,11
5,02	0	4,72	5,66	6,13	18,4	31,37	28,54
5,03	0	5,01	6,89	6,68	23,8	28,81	30,48
5,04	0	4,81	6,33	6,84	25,32	28,86	30,13
5,05	0	5,34	7,87	7,02	28,37	36,8	39,89
5,06	0	3,95	6,32	6,05	24,74	40,53	35,79
5,07	0	6,28	7,44	8,37	25,58	36,98	40,47
5,08	0	13,55	19,7	23,65	61,08	77,59	89,16
5,09	0	5,3	7,32	6,31	29,55	36,87	35,35
5,10	0	4,57	6,99	6,72	39,25	46,77	45,7
Liima	0	2,4	3,07	3,78	5,47	8,33	9

LIITE 1 (3/3)



LIITE 2 (1/4)

	Kuiva			Upotus 7vrk			Upotus 1h, pakastus 7vrk ja 2vrk sulatus		
	Palikka	Voima [N]	Rikkoutumis- taso	Palikka	Voima [N]	Rikkoutumis- taso	Palikka	Voima [N]	Rikkoutumis- taso
<i>2-Komp epoksiliima</i>	1,11	471	Vaneri	1,21	178	Liimasauma	1,31	238	Vaneri
	1,12	226	Liimasauma	1,22	54	Liimasauma	1,32	0	Liimasauma
	1,13	533	Vaneri	1,23	140	Vaneri	1,33	272	Vaneri
	1,14	537	Vaneri	1,24	175	Vaneri	1,34	212	Liimasauma
	1,15	0	Liimasauma	1,25	156	Vaneri	1,35	7	Liimasauma
	1,16	199	Liimasauma	1,26	382	Vaneri	1,36	442	Liimasauma
	1,17	1132	Vaneri	1,27	115	Liimasauma	1,37	108	Liimasauma
	1,18	927	Vaneri	1,28	312	Vaneri	1,38	115	Liimasauma
	1,19	1159	Vaneri	1,29	322	Liimasauma	1,39	156	Vaneri
	1,110	573	Vaneri	1,210	343	Vaneri	1,310	227	Liimasauma
	141,7			167,3	-18,059		158,7	-12,034	
<i>PUR-puuliima</i>	2,11	927	Vaneri	2,21	555	Vaneri	2,31	766	Vaneri
	2,12	1042	Vaneri	2,22	648	Vaneri	2,32	757	Vaneri
	2,13	1288	Vaneri	2,23	490	Vaneri	2,33	660	Vaneri
	2,14	907	Vaneri	2,24	678	Vaneri	2,34	854	Vaneri
	2,15	1100	Vaneri	2,25	888	Vaneri	2,35	937	Vaneri
	2,16	989	Vaneri	2,26	758	Vaneri	2,36	681	Vaneri
	2,17	1175	Vaneri	2,27	754	Vaneri	2,37	555	Vaneri
	2,18	1060	Vaneri	2,28	762	Vaneri	2,38	741	Vaneri
	2,19	1331	Vaneri	2,29	772	Vaneri	2,39	703	Vaneri
	2,110	1329	Vaneri	2,210	851	Vaneri	2,310	841	Vaneri

LIITE 2 (2/4)

1-Komp ure- taani Omm	3,11	642	Vahto	3,21	310	Vaneri	3,31	478	Vaneri
	3,12	674	Vaneri	3,22	154	Vaneri	3,32	125	Vaneri
	3,13	833	Vaneri	3,23	426	Vahto	3,33	317	Vaneri
	3,14	805	Vaneri	3,24	209	Vaneri	3,34	51	Vaneri
	3,15	652	Vaneri	3,25	387	Vaneri	3,35	324	Vaneri
	3,16	773	Vaneri	3,26	268	Vaneri	3,36	404	Vaneri
	3,17	721	Vaneri	3,27	386	Vaneri	3,37	238	Vaneri
	3,18	967	Vaneri	3,28	251	Vaneri	3,38	182	Vaneri
	3,19	580	Vaneri	3,29	206	Vahto	3,39	257	Vaneri
	3,110	816	Vaneri	3,210	292	Vaneri	3,310	138	Vaneri
	642,0			316,0		50,779			
2-Komp ure- taani Omm	4,11	1035	Vahto	4,21	664	Vahto	4,31	491	Vahto
	4,12	0	Vahto	4,22	477	Vahto	4,32	444	Vahto
	4,13	829	Vahto	4,23	295	Vahto	4,33	522	Vahto
	4,14	836	Vahto	4,24	525	Vahto	4,34	552	Vahto
	4,15	880	Vahto	4,25	295	Vahto	4,35	505	Vahto
	4,16	770	Vahto	4,26	406	Vahto	4,36	500	Vahto
	4,17	1033	Vahto	4,27	520	Vahto	4,37	365	Vahto
	4,18	872	Vahto	4,28	270	Vahto	4,38	488	Vahto
	4,19	480	Vahto	4,29	419	Vahto	4,39	456	Vahto
	4,110	1123	Vahto	4,210	484	Vahto	4,310	474	Vahto
	785,8			435,5		44,579	479,7	38,954	

LIITE 2 (3/4)

1-Komp ure- taani 4mm	5,11	112	Vahto	5,21	111	Vahto	5,31	101	Vahto
	5,12	139	Vahto	5,22	92	Vahto	5,32	100	Vahto
	5,13	150	Vahto	5,23	88	Vahto	5,33	95	Vahto p
	5,14	102	Vahto	5,24	92	Vahto	5,34	108	Vahto
	5,15	102	Vahto	5,25	109	Vaneri	5,35	46	Vahto
	5,16	92	Vahto	5,26	112	Vaneri	5,36	61	Vahto
	5,17	60	Vahto	5,27	61	Vahto	5,37	77	Vahto
	5,18	132	Vahto	5,28	78	Vaneri	5,38	81	Vaneri
	5,19	125	Vahto	5,29	87	Vahto	5,39	82	Vaneri
	5,110	0	Vahto	5,210	85	Vahto	5,310	96	Vahto
	101,4			91,5	9,763		85,5	15,680	
2-Komp ure- taani 4mm	6,11	98	Vahto p	6,21	168	Vahto p	6,31	144	Vahto p
	6,12	192	Vahto p	6,22	156	Vahto p	6,32	173	Vahto p
	6,13	131	Vahto p	6,23	134	Vahto p	6,33	100	Vahto p
	6,14	181	Vahto p	6,24	112	Vahto p	6,34	110	Vahto p
	6,15	159	Vahto p	6,25	203	Vahto p	6,35	146	Vahto p
	6,16	111	Vahto p	6,26	219	Vahto p	6,36	93	Vahto p
	6,17	181	Vahto p	6,27	74	Vahto p	6,37	161	Vahto p
	6,18	90	Vahto p	6,28	188	Vahto p	6,38	175	Vahto p
	6,19	168	Vahto p	6,29	161	Vahto p	6,39	99	Vahto p
	6,110	129	Vahto p	6,210	112	Vahto p	6,310	85	Vahto p
	144,0			152,7	-6,042		128,6	10,694	

LIITE 2 (4/4)

<u>1-Komp uretaani 20mm</u>	7,11	47	Vahto	7,21	44	Vahto	7,31	47	Vahto
	7,12	65	Vahto	7,22	35	Vahto	7,32	57	Vahto
	7,13	58	Vahto	7,23	45	Vahto	7,33	64	Vahto
	7,14	51	Vahto	7,24	51	Vahto	7,34	63	Vahto
	7,15	64	Vahto	7,25	53	Vahto	7,35	58	Vahto
	7,16	58	Vahto	7,26	41	Vahto	7,36	31	Vahto
	7,17	53	Vahto	7,27	53	Vahto	7,37	51	Vahto
	7,18	52	Vahto	7,28	53	Vahto	7,38	55	Vahto
	7,19	52	Vahto	7,29	47	Vahto	7,39	49	Vahto
	7,110	56	Vahto	7,210	49	Vahto	7,310	50	Vahto
	55,6			47,1	15,288		52,5	5,576	
<u>2-Komp uretaani 20mm</u>	8,11	288	Vahto p	8,21	182	Vahto p	8,31	68	Vahto p
	8,12	125	Vahto p	8,22	211	Vahto p	8,32	197	Vahto p
	8,13	235	Vahto p	8,23	138	Vahto p	8,33	181	Vahto p
	8,14	233	Vahto p	8,24	196	Vahto p	8,34	242	Vahto p
	8,15	244	Vahto p	8,25	101	Vahto p	8,35	123	Vahto p
	8,16	121	Vahto p	8,26	163	Vahto p	8,36	210	Vahto p
	8,17	233	Vahto p	8,27	190	Vahto p	8,37	207	Vahto p
	8,18	184	Vahto p	8,28	195	Vahto p	8,38	223	Vahto p
	8,19	100	Vahto p	8,29	163	Vahto p	8,39	212	Vahto p
	8,110	281	Vahto p	8,210	188	Vahto p	8,310	251	Vahto p
	204,4			172,7	15,509		191,4	6,360	