

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Veneteknologia

Mikko Mäki

POLYETEENIVENEEN RAKENNEMITOITUS

Opinnäytetyö 2015

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Veneteknologia

Mäki, Mikko	Polyeteeniveneen rakennemitoitus
Opinnäytetyö	57 sivua + 17 liitesivua
Työn ohjaaja	Terho Halme
Toimeksiantaja	Tibeko Marine Oy
Huhtikuu 2015	
Avainsanat	Polyeteeni, hitsausliitos, vene, rakennemitoitus

Opinnäytetyö käsittelee polyeteenin käyttöä veneteollisuudessa veneenvalmistusmateriaalina. Lisäksi työssä käsitellään polyeteeniveneen rakenteen mitoitusta ja mitoituksen ongelmakohtia. Työn tarkoituksena on ollut selvittää käytössä olevia polyeteeniveneen valmistus- ja mitoitusmenetelmiä sekä niiden vaikutuksia veneen lujuuteen ja kestävyYTEEN.

Työssä on käsitelty polyeteenin hitsausmenetelmiä ja erilaatuisten hitsaussaumojen vaikutusta veneen lujuuteen ja kestävyYTEEN. Hitsausmenetelmiä ja -saumoja on tarkasteltu mekaanisten kokeiden avulla Kymenlaakson ammattikorkeakoulun veneteknologian komposiittilaboratoriossa.

Tässä työssä on tehty ISO 12215 standardin mukainen rakennelaskelma, jossa on otettu huomioon mekaanisten kokeiden tulokset ja polyeteenin lommahdustarkastelu. Polyeteenin lommahdusta on tarkasteltu Solid works -ohjelman FEM-laskennalla, ISO 12215-5 standardin mukaisella materiaalin raja-arvojen tarkastelulla sekä lommahdusvoimalaskennalla. Rakennelaskelta toimii työkaluna polyeteeniveneen mitoituksessa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Boat Technology

Mäki Mikko	Structure Dimensioning of Polyethylene Boat
Bachelor's Thesis	57 pages + 17 pages of appendices
Supervisor	Terho Halme
Commissioned by	Tibeko Marine Oy
April 2015	
Keywords	polyethylene, boat, welding, structure dimensioning

The purpose of this thesis was to study use of polyethylene material in the marine industry and problems in the polyethylene structure dimensioning. In addition, the purpose of this thesis was to evaluate manufacturing and structure dimensioning methods of the polyethylene boats, and their effects on the strength and durability.

The thesis was concentrated on polyethylene welding methods and different weldment qualities and their effect on the strength and durability of the boat. Welding methods and welds were examined with mechanical tests in composite laboratory of Kymenlaakso University of Applied Sciences.

The priority of the thesis was to create calculation model according on the ISO 12215 standard for structure dimensioning of the polyethylene boat. The calculation model takes into account the results of mechanical tests and polyethylene buckling analysis. The buckling analysis is based on Solid Works programs FEM-calculations, ISO 12215-5 standard material analysis according to the limit values as well as buckling calculation methods.

ISO 12215-5 based calculation which includes the results from the mechanical tests is used as a guideline for the structure dimensioning of the polyethylene boat.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	7
SELITYSLUETTELO	8
1.1 Työn tavoitteet ja rajaus	8
2 POLYETEENI MATERIAALINA	9
2.1 Polyeteeni yleisesti	9
2.2 Muovien lisäaineet	10
2.3 Polyeteenin historia	10
2.4 Polyeteenin fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet	11
2.5 Polyeteenin käyttökohteet	14
2.6 Polyeteeni veneenrakennusmateriaalina	14
3 POLYETEENIN HITSAUS	15
3.1 Muovien hitsausmenetelmiä	16
3.1.1 Kuumakaasuhitsaus	16
3.1.2 Ekstruuderihitsaus	16
3.1.3 Muita hitsausmenetelmiä	17
3.2 Hitsauksen laadun valvonta	18
3.3 Hitsauslaitteisto	18
3.3.1 Kuumakaasuhitsauslaitteet	19
3.3.2 Ekstruuderihitsauslaitteet	21
4 POLYETEENIN NAARMUUNTUMINEN JA KOLHIINTUMINEN	23
4.1 Naarmujen ehkäiseminen	23
4.2 Naarmujen peittäminen	24
4.3 Naarmujen vaikutus lujuuteen	24
5 POLYETEENIRAKENNE –KYSELY	25
5.1 Haastattelukysymykset	25

5.2	Haastatteluiden vastaukset	26
5.3	Vastausten analysointi	27
6	POLYETEENIVENEEN RAKENNELASKENTA	28
6.1	Yleistä mitoituksista	28
6.2	Suunnittelukategoriat	29
6.3	Muut tarkastelumenetelmät	30
6.3.1	NBS1990. DNV. Standard for certification No. 2.20	30
6.3.2	Pudotuskoe alle 6 metrin veneille	30
6.3.3	Polyeteenin taipuma ja lommahdus	32
6.4	SFS ISO 12215-5 standardin mukainen laskelma	35
6.4.1	Veneen tietojen määrittäminen	35
6.4.2	Suunnittelupaineet	35
6.4.3	Materiaalin mekaaniset ominaisuudet	36
6.4.4	Minimipaksuudet	37
6.4.5	Pohjan mitoitus	38
6.4.6	Kylkien mitoitus	41
6.4.7	Kannen mitoitus	42
7	MEKAANISET LUJUUSKOKEET	44
7.1	Rakennelaskelman ongelmakohtat	44
7.2	Testausmenetelmät	45
7.3	Koekappaleet	46
7.4	Kokeiden suoritus ja tulokset	48
7.4.1	Vetokoe	48
7.4.2	Puristuskoe	52
7.5	Yhteenveto kokeista ja niiden vaikutuksesta rakenteiden mitoittamiseen	54
8	YHTEENVETO	55
	LÄHTEET	56

LIITTEET

Liite 1. Polyeteeniveneen rakennelaskelma (Excel-tiedosto, vain sähköisessä muodossa)

Liite 2. Lommahdustarkastelu Euler (Excel-tiedosto, vain sähköisessä muodossa)

Liite 3. Kuvasarja mekaanisista kokeista (38 kuvaa)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutustutaan polyeteenin ominaisuuksiin ja sen käyttöön veneteollisuudessa. Erilaisia polyeteenihitsausaumoja tarkastellaan hitsaamalla näytekappaleita ja testaamalla niitä. Työn tarkoitus on tehdä polyeteenirakenteelle mitoituslaskelma ISO 12215 standardin ja omien kokeiden ja tarkasteluiden pohjalta.

Polyeteeniä käytetään venevalmistusmateriaalina, mutta se on vielä melko tuntematon materiaali. Suomessa polyeteenistä veneitä valmistavia yrityksiä on vähän ja tietoa veneiden valmistuksesta ei löydy kirjallisuudesta tai internetistä. Polyeteeniveneitä on toistaiseksi vähän, mutta erityisesti ammattikäyttöön valmistettujen veneiden kysyntä kasvaa. Polyeteeniä on käytetty jo pitkään muilla teollisuuden aloilla ja esimerkiksi lämpö-, vesi- ja ilmastointijärjestelmissä polyeteeni on käytössä ollut materiaali. Polyeteenistä löytyy paljon tietoa muista kuin venetuotannon käyttötarkoituksista ja yksi tämän työn tavoitteista on ollut koota kattava tietopaketti polyeteenistä sovellettuna veneteollisuuteen ja sen tarpeisiin. Tämä opinnäytetyö perustuu kirjallisuusselvitykseen, testikappaleille suoritettuihin testeihin, henkilö- ja yrityshaastatteluihin ja standardin mukaiseen laskentaan.

Työn päämääränä on selvittää muilla teollisuuden aloilla käytettyjä polyeteenin hitsausmenetelmiä, tehdä niiden mukaisia testikappaleita, tehdä vertailevia veto- ja puristuskokeita, haastatella ja tutustua polyeteeniveneissä käytettyihin mitoitusmenetelmiin ja tehdä veneen rakennelaskentaan työkalu, jota voidaan käyttää pohjana rakennesuunnittelussa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on kotimainen Tibeko Marine Oy. Tibeko on 2010 perustettu venealan yritys, joka valmistaa hi-tech veneiden lisäksi polyeteeniveneitä pelastusvene- ja viranomaiskäyttöön.

SELITYSLUETTELO

PE	Polyeteeni
Polymeeri	Pitkä hiili- tai hiili-pii-atomien ketju
HDPE	High density polyeteeni
LDPE	Low density polyeteeni
SFS EN ISO 12215	Työssä käytetty rungon rakenne-standardi

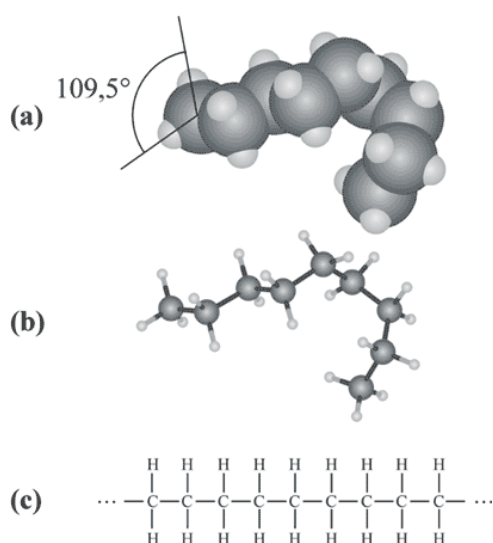
1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän työn tavoitteet muuttuivat työn aikana. Alussa työn tarkoitus oli koota olemassaolevasta tiedosta tietopaketti polyeteenituotteiden valmistukseen ja soveltaa tätä venetuotantoon tutustutumalla polyeteenituotteiden valmistusmenetelmiin, tutkia olemassaolevia hitsaus- ja mitoitusohjeita sekä tehdä erilaisia haastatteluita ja kyselyitä polyeteenimateriaalin käsittelystä. Työn aikana mukaan tuli polyeteenirakenteen mitoitus veneelle, soveltaen SFS ISO 12215 standardia. Standardin mukaisen mitoituslaskurin tekeminen muodostui työn päätarkoitukseksi ja työ päätettiin rajata teoreettiseen laskelmaan, sisältäen muutamia mekaanisia kokeita (kappale 8). Alussa hankittu pohjatieto polyeteenistä, sen hitsaamisesta ja käyttäytymisestä katsottiin olevan relevanttia tietoa myös mitoituspainotteisen työn pohjustukseksi.

2 POLYETEENI MATERIAALINA

2.1 Polyeteeni yleisesti

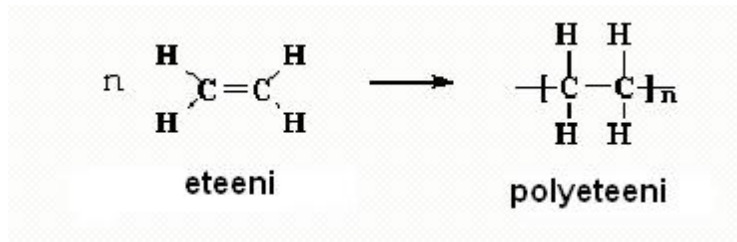
Polyeteeni on yksi yksinkertaisimmista ja edullisimmista polymeereistä. Polyeteeni on käytetyin muovin polymeerinen raaka-aine ympäri maailmaa. Ominaisuuksiltaan se on vahamaista ja kemiallisesti reagoimatonta muovia, tämän vuoksi polyeteenia on erityisen vaikea liittää liimaliitoksilla muihin materiaaleihin. Polyeteenimolekyyli on hiiliketju, jossa jokaiseen hiileen on sitoutunut kaksi vetymolekyyliä. (1.)



Kuva 1. Polyeteenin rakenne (1)

Kuvassa on esitetty polyeteenin rakenne kolmella tavalla. C-kohdan esitystapa on yksinkertainen ja yleisin. Siinä esitetään atomit niiden kemiallisilla merkeillä, sekä eri atomien väliset sidostyypit. A ja B kohdassa atomit esitetään palloina, sekä niissä otetaan huomioon myös hiiliatomin sidoskulmat. Näin saadaan aikaiseksi polymeerin siksak-rakenne. A-kohdan malli on lähinnä todellisuutta, mutta se on vaikein piirtää ja ymmärtää. (1.)

Polyeteeniä valmistetaan polymeroimalla eteeniä, eli etyleeniä. Polymeraatio voi olla radikaalipolymeraatio, anioninen additiopolymeraatio, ionikoordinaatiopolymeraatio, tai kationinen additiopolymeraatio. Vaihtoehtoja on useita, sillä eteenillä ei ole mitään sivuryhmiä, jotka vaikuttaisivat polymeerin etenemispään stabiilisuuteen. Erilaisilla polymeraatiomenetelmillä voidaan valmistaa erilaisia polyeteenejä. (2.)



Kuva 2. Eteenin polymeraatio polyeteeniksi (1)

Polyeteeni jaotellaan yleensä kolmeen luokkaan tiheyden perusteella (2):

- pientiheyspolyeteeni (LDPE)
- keskitiheyspolyeteeni (MDPE)
- suurtiheyspolyeteeni (HDPE)

2.2 Muovien lisäaineet

Muoveissa, kuten polyeteenissä, käytetään lisäaineita. Täyteaineilla pyritään halventamaan raaka-ainetta, eikä se oleellisesti vaikuta muovin ominaisuuksiin. Jos muovissa on yli 10 % lisäainetta, sitä kutsutaan täyteaineeksi. Seosaineilla voidaan muokata muovien ominaisuuksia tarpeen mukaisiksi. Seosaineita ovat esimerkiksi stabilisaattorit, väripigmentit, palonestoaineet ja pehmittimet. Väriaineilla voidaan muokata muovi halutun väriseksi polymeerin normaalista läpikuultavan valkoisesta tai kellertävästä väristä. Muoveissa saatetaan käyttää apuaineita seosaineiden lisäksi, jotka eivät vaikuta käyttöominaisuuksiin. Niillä helpotetaan muovin prosessointia. Apuaineiden määrä muovissa on pieni, 0,01 – 2 %. (3, 25 – 29.)

2.3 Polyeteenin historia

Saksalainen kemisti Hans Von Pechmann oli tiettävästi ensimmäinen henkilö, joka onnistui sattumalta syntetisoimaan polyeteeniä vuonna 1898. ICI Chemicalsin laboratoriossa kehitettiin vuonna 1933 sattumalta teollisen polyeteenin syntetisointi Eric Fawcettin ja Reginald Gibsonin toimesta. Vuonna 1935 Michael Perrin jatkoi

tämän vahinkoreaktion kehitystä eteenpäin ICI Chemicalsin laboratorioissa. Vuonna 1939 polyeteenin teollinen tuotanto saatiin käyntiin. Polyeteenin ensimmäinen käyttötarkoitus oli toimia eristeenä tutkakaapeleissa toisessa maailmansodassa. (6.)

Pian toisen maailmansodan jälkeen kemistit alkoivat tutkia polyeteenin jalostusmahdollisuuksia. Polymeerivalmistajat huomioivat nopeasti nämä performoidut polyeteenilaadut ja polyeteeniä alettiin valmistaa tyhjiömuovaus- ja extruusiomenetelmillä. (6.)

Vuosi 1940 oli merkittävä polyeteenin polymeerien tutkinnan kannalta. Infrapuna spektroskopioteknologia kehittyi ja polyeteenin molekyyliketjuja tutkiessa huomattiin, että polyeteenin polymeeriketju ei ole suoraketjuinen polymeeri kuten aiemmin luultiin. (6.)

Ennen vuotta 1951 valmistetut polyeteenit olivat matalatiheys-polyeteenejä. Vuonna 1951 Karl Ziegler alkoi valmistaa tiheämpilaatuista polyeteeniä lämmittämällä polyeteeniä paineessa. Näin syntyi korkeatiheys-polyeteeni ja samalla opittiin eri tiheyksisten polyeteenilaatujen valmistusmenetelmä sekä laatujen erot. Tästä alkoi polyeteenin nopeasti kiihtyvä matka kohti maailman käytetyintä muovia. (5.) (6.)

2.4 Polyeteenin fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet

Polyeteenin ominaisuudet vaihtelevat suuresti riippuen valmistusmenetelmästä. Ominaisuuksiin eniten vaikuttavat polymeerin moolimassa, tiheys, rakenne ja kiteisyys. Kiteisyys on suoraan verrannollinen tiheyteen ja on tärkeä tekijä luokiteltaessa polyeteenejä kolmeen eri pääryhmään (LDPE, MDPE ja HDPE). Tiheydestä riippuvaisia ominaisuuksia ovat myötölujuus, taivutuslujuus, kimmomoduuli, shore-kovuus, leikkausmoduuli sekä termiset ominaisuudet. Tiheyttä kasvattamalla saadaan nostettua polyeteenin myötörajaa, sitkeyttä, kimmomoduulia, kovuutta ja lämmönkestoa. Tiheyden kasvatus vähentää liukoisuutta ja turpoamista, kaasujen läpäisevyyttä sekä iskulujuutta. (2).

Taulukko 1. Polyeteenin fysikaalisia ominaisuuksia (2)

Ominaisuus (+20 °C)	Polyeteeni
Tiheys (g/cm ³)	0,918 - 1,4
Veden absorptio (%)	0,01 - 1,5
Kosteuden imeytyminen (%)	0,01 - 0,05
Jännityskorrosion kesto aika (h)	3 - 3000
Lineaarinen muottikutistuma (cm/cm)	0,003 - 0,02
Sulaviskositeetti (g/10min)	0,1 - 90

Taulukko 2. Polyeteenin mekaanisia ominaisuuksia. (2)

Ominaisuus	Polyeteeni
Kovuus, Rockwell R	60 - 65
Kovuus, Shore D	55 - 69
Vetomurtolujuus (Mpa)	10 - 50
Vetolujuus (Mpa)	2,4 - 31,7
Murtovenymä (%)	10 - 1500
Myötövenymä (%)	6,9 - 15
Vetokerroin (Gpa)	0,18 - 1,6
Taivutuskerroin (Gpa)	0,179 - 1,7
Taivutuslujuus (Mpa)	14 - 25
Puristuslujuus (Mpa)	4 - 25
Iskulujuus; Izod, lovettu (J/cm)	0,21 - 8,01
Iskulujuus; Charpy, lovettu (J/cm)	0,38 - 11
Virumiskerroin (1h) (Mpa)	400 - 570
Virumiskerroin (1000h) (Mpa)	270 - 400

2.5 Polyeteenin käyttökohteet

Polyeteenit ovat eniten käytettyjä muoveja maailmassa. Keveys, erinomainen kemiallinen kestävyys ja edullisuus ovat polyeteenin vahvuuksia valittaessa eri muovimateriaalien välillä. Huonoja puolia ovat muun muassa lämmönkesto ja suuri muottikutistuma. (4.)

Modifioimalla polyeteeniä voidaan helposti saada tarvittavia ominaisuuksia tarvittavaan käyttöön. Modifioinnin takia materiaalin ominaisuudet muuttuvat ja syntyy jako kolmeen eri polyeteenin pääluokkaan. Eri luokan polyeteeneitä käytetään hyvin erilaisissa tarkoituksissa.

Pientiheyspolyeteeniä (LDPE) käytetään muun muassa kalvoihin, kartonginpinnoitukseen, putkiin, leikkikaluihin, kylpyammeisiin, sankoihin ja tuotteiden pakkauskalvoihin.

Keskitiheyspolyeteeniä (MDPE) käytetään yleisesti kaapeleissa, putkissa, säkeissä sekä taloustarvikkeissa.

Suurtiheyspolyeteeniä (HDPE), sekä siitä jalostettuja polyeteenilaatuja käytetään paikoissa, joissa vaaditaan enemmän mekaanisia, fysikaalisia tai termisiä ominaisuuksia. Tällaisia käyttökohteita ovat muun muassa polttoainetankit, putket, lokasuojat, kaukaloiden laidat, moottorikelkan sukset, veneet, hammaspyörät sekä kulutuspalat.

2.6 Polyeteeni veneenrakennusmateriaalina

Veneen valmistusmateriaalina polyeteeni on melko tuntematon. Tavallisen kuluttajan silmissä helposti sekoittuvat lasikuitu, polyeteeni ja abs-muovi. Näistä syntyy harhaanjohtava yleiskäsite ”muovivene”. Suomessa polyeteenistä veneitä valmistaa Tibeko Marine Oy:n lisäksi PK Santaharju Oy ja Black boat -veneitä valmistava MJR-company Oy. Maailmalla valmistajia on muutamia, pohjoismaissa tunnetuimpana merkkinä Pioner boats, joita valmistaa Cipax AS Ruotsissa. Cipax AS on valmistanut

pioner-veneitä jo vuodesta 1959 lähtien, ja myytyjä veneitä on yli 300 000. Yritys on pohjoismaiden johtava rotaatiovalutuotevalmistaja ja se valmistaa myös polyeteeniveneet rotaatiovalutekniikalla. (7.)

3 POLYETEENIN HITSAUS

Työssä perehdyttiin polyeteeniveneiden valmistukseen hitsausmenetelmällä. Hitsaamalla polyeteenivene levytavaraa voidaan käyttää parempilaatuista polyeteeniä verrattuna polyeteenin laatuun, jota saadaan rotaatiovalu-menetelmällä.

Muovikappaleita voidaan liittää samoilla menetelmillä kuin metalleja, liimaamalla, hitsaamalla tai mekaanisesti. Muovien ominaisuudet asettavat kuitenkin liitosmenetelmille erityisiä vaatimuksia. Hitsaus soveltuu hyvin kestopuovien liittämiseen. (8, 173.)

Muovien hitsauksella tarkoitetaan materiaalien liittämistä lämmön ja paineen avulla. Hitsaus voidaan suorittaa joko käyttäen lisäainetta tai ilman sitä. Hitsattaessa liitettävät pinnat lämmitetään, jolloin muovi pehmenee. Pehmenneet pinnat puristetaan vastakkain. Muovin pitkät molekyyliketjut asettuvat lomittain ja tällöin tapahtuu hitsattavien materiaalien sekoittumista eli diffuusiota. Lämpötilan laskiessa pinnat tarttuvat toisiinsa ja asettuvat lähes alkuperäiseen olotilaansa ja näin muovi on hitsaantunut. (8,174.)

Muovien hitsaus tapahtuu yleensä lämpötila-alueella 200-300 °C. Muoveilla ei ole selvää sulamislämpöpistettä, kuten metalleilla, vaan lämpötila-alue, jolla sulaminen tapahtuu. Oikea hitsauslämpötila on erittäin tärkeää hitsin laadun kannalta. Liian alhaisessa lämpötilassa ei tapahdu riittävää pehmenemistä, kun taas liian korkea lämpötila saa aikaan molekyyliketjun katkeilemista ja pinnan hapettumista. Väärällä hitsauslämpötilalla hitsatessa hitsin lujuus alentuu merkittävästi. Materiaalin puhtaus on toinen tärkeä tekijä hitsin onnistumisen kannalta. Hitsattavat pinnat tulee puhdistaa mekaanisesti, kemiallisesti tai sopivalla lämpökäsittelyllä ennen hitsausta. (8,174.)

3.1 Muovien hitsausmenetelmiä

3.1.1 Kuumakaasuhitsaus

Kuumakaasuhitsaus muistuttaa metallien kaasuhitsausta, jossa kaasuliekki korvataan kuumalla ilmalla tai joissakin tapauksissa typpellä. Hitsauslämpötilat ovat kuitenkin kuumakaasuhitsauksessa muovilla huomattavasti alhaisemmat. (8,175.)

Menetelmä soveltuu useimmille muoveille ja se on luotettava. Hitsin laatu on riippuvainen hitsaajan ammattitaidoista. Tyypillisiä virheitä ovat reunahaavat, ilmahuokokset sekä erilaiset juurivirheet. Hitsauksen onnistumiseen vaaditaan oikea lämpötila, pintojen puhtaus sekä oikea hitsausnopeus. (8,175.)

Menetelmän huonoja puolia ovat hitsin laadun riippuvuus hitsaajasta, huono ulkonäkö ja hitaus. Hyvä hitsaaja voi tietysti saada aikaan hyvännäköisen hitsisauman suhteellisen nopeasti. Hyviä puolia taas ovat liitoksen vahvuus, soveltuvuus suurille pinnoille ja hyvä tiiveys. (8,176.)

3.1.2 Ekstruuderihitsaus

Ekstruuderihitsaus eli suulakepuristushitsaus on kehitetty kuumakaasuhitsauksesta. Menetelmää käytetään erityisesti paksujen kappaleiden hitsaukseen, suurin etu on sen nopeus syvien railojen hitsauksessa. (8,176.)

Tässä menetelmässä perusaine sulatetaan kuumalla kaasulla. Lisäaine sulatetaan sähkövastuksen avulla suulakkeen lämmityskammiossa, josta sula massa puristetaan suulakkeen kautta hitsattavaan kohtaan. Hitsin laatu on riippuvainen samoista tekijöistä kuin kuumakaasuhitsauksessa, sekä oikeasta lämpötilasta. Liian matalalla lämmöllä hitsattaessa sauma ei tartu, ja liian korkealla lämmöllä sauma ei tartu eikä hitsattava pinta muuttuu öljymäiseksi. Hyvät ja huonot puolet ovat samoja kuin kuumakaasuhitsauksessa. (8,176.)

3.1.3 Muita hitsausmenetelmiä

Työssä on keskitytty polyeteenin hitsaukseen kuumakaasu- ja ekstruuderihitsaus menetelmillä. Muita kestopuoveille mahdollisia hitsausmenetelmiä ovat

- Puskuhitsaus
- Kitkahitsaus
- Ultraäänihitsaus
- Vastuslankahitsaus
- Muhvihitsaus

Muovit, joilla on kapea pehmenemislämpötila-alue (polyeteeni), ovat helpompia hitsata kuin laajan pehmenemislämpötila-alueen omaavat muovit. Alla olevassa taulukossa on esitetty polyeteenin hitsausarvoja kuumakaasuhitsauksessa. (8,176 – 180.)

Taulukko 3. Polyeteenin hitsausarvoja kuumakaasuhitsauksessa. (8, 178.)

Kuumakaasuhitsaus	Polyeteeni
Kuumennuslämpötila (°C)	
Pyörösuutin	210-230
Pikahitsaussuutin	260-280
Hitsausnopeus (cm/min)	
Pyörösuutin	12-20
Pikahitsaussuutin	40-70
Ilmamäärä (l/min)	60-70

3.2 Hitsauksen laadun valvonta

Polyeteenin hitsaus teollisuudessa ja LVI-puolella vaativat saumoilta ehdotonta kestävyyttä, eikä virheisiin ole varaa. Esimerkiksi maahan upotettujen polyeteeniputkijen esiin kaivaminen aiheuttaa suuria kustannuksia. Tämän vuoksi hitsilaadunvalvontaan on erilaisia menetelmiä. Polyeteeniputkille on standardi, jossa määritellään niiltä vaadittavat ominaisuudet. Putket tulee valmistaa sertifioidusta polyeteenistä (esimerkiksi nordic poly mark -hyväksyntä). Putkien valmistajilla on rajoitetut testivaatimukset, eikä puolueettoman osapuolen tarkastuksia vaadita. Luotettava hitsaussauman laaduntarkastus voidaan tehdä ainoastaan rikkovalla kokeella. Kokeessa hitsaussaumasta leikataan koesauvoja kohtisuoraan saumaan nähden. Oikein suoritettuna puskuhitsaussaumoilla on käytännössä sama lujuus kuin putkella. Jos tuotteessa vaaditaan hitsaussaumojen lujuuden tarkastusta, on tärkeää, että koestus suoritetaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Hitsaustyön edetessä on tärkeää huolehtia siitä, että työ kirjataan tarkasti: näin voidaan myöhemmin selvittää, kuka on hitsaussauman tehnyt ja millä hitsausparametreillä. Hitsauspurseen silmämääräisellä tarkastelulla saadaan suuntaa antavaa tietoa hitsaustyön laadusta, mutta tätä ei voida käyttää laadunvalvonnan menetelmänä. Saumojen silmämääräistä arviointia käytetään valittaessa saumoja täydentäviin testeihin. Puskuhitsauksen koemenetelmiä on myös mainittu standardissa SFS-EN 12201-5. Jos halutaan varmistaa, että putket täyttävät standardin kestävyysvaatimukset, pitää putkenvalmistajan testata putkensa tai testauttaa ne riippumattomalla testauslaitoksella. Suomessa käytetään yleensä laatumerkittyjä PE-putkia. Näitä putkia testataan jatkuvasti valmistajalla ja puolueeton taho valvoo putkien laatua. Nordic Poly Mark merkittyjen putkien osalta ei normaalitilanteessa tarvita lisätarkastuksia tai tarkastuksia. (9.)

3.3 Hitsauslaitteisto

Tässä työssä on tutustutu tarkemmin kuumakaasuhitsaus- ja ekstruuderihitsauslaitteisiin, koska laitteet soveltuvat parhaiten polyeteeniveneen hitsaukseen ja ovat käytössä Tibeko Marine Oy:llä. LVI- ja muussa

putkitekollisuudessa on usein käytössä puskuhitsaus-, ruiskuvalu- ja muovilankahitsaus-laitteita.

3.3.1 Kuumakaasuhitsauslaitteet

Kuumakaasuhitsauksessa perusaine sekä lisäaine lämmitetään puhallusilman avulla pehmeäksi, jonka jälkeen lisäainelanka painetaan sopivalla paineella vasten perusainetta. Muovien kuumakaasuhitsauksessa käytettävät lämpötilat ovat muovikohtaiset. Kuumakaasuhitsauslaitteella ei hitsata kuten ekstruuderilla, eli ei edetä kokoajan eteenpäin, vaan oikea tapa on vetää suutinta ”taaksepäin”, eli hitsaaja peruuttaa edetessään saumaa eteenpäin. Työkalu on kevyt ja sillä voidaan hitsata helposti pienempiä saumoja ja sitä voidaan käyttää ahtaammissa paikoissa. Käyttökohteesta riippuen voidaan hitsauksessa käyttää erilaisia suuttimia. Yleisimmät suutintyyppit ovat ns. heftaus-suutin ja pikasuutin. Pikasuutin on tarkoitettu varsinaiseen hitsaukseen, ja niitä on saatavilla eri lankapaksuuksille. Kuumennettu ilma puhalletaan suuttimen läpi hitsauskohtaan siten, että sekä perusaine että lisäaine pehmenevät. Pyörösuutinta käytettäessä tarvittava paine saadaan aikaan painamalla lisäainelankaa hitsausaumaa vasten. Menetelmä on hidas, mutta sitä voidaan nopeuttaa käyttämällä pikasuutinta. (8,175.)

Pikasuuttimessa lisäainelanka viedään hitsauskohteeseen suuttimen läpi. Suuttimen kärki on muotoiltu siten, että sulatettu lisäaine painetaan sen avulla hitsausrailloon. Langan syöttöputki on muotoiltu lisäaineen halkaisijan ja muodon mukaan. (8,175.)

Hitsaimessa voidaan käyttää silloitus-suutinta, jota käytetään, kun liitettävät osat silloitetaan paikoilleen ennen varsinaista hitsausta. Silloitus tapahtuu ilman lisäainetta. Kuumalla ilmalla lämmitetään railopinnat ja suuttimen muotoilulla kärjellä painetaan pehmenneet pinnat yhteen. Silloitus-suutinta voidaan käyttää myös korjauskohteiden viimeistelyssä tai pienten repeämien korjauksessa. (8,175.)

Heftaus-suutin helpottaa varsinaista hitsausta. Suuttimella voidaan tehdä kevyitä saumoja lämmittämällä molempia pintoja saumakohdasta, jolloin hitsattavat pinnat sulavat kevyesti yhteen ja näin helpottavat varsinaista hitsausta. (8,175.)



Kuva 3. Heftaus-suutin (Ditzler Vulkan AG)

Pikasuuttimella suoritetaan varsinainen hitsaus. Hitsauslanka työnnetään suuttimessa olevan reiän läpi siten, että lanka on suuttimen edessä ja siihen puhaltaa kuumaa ilmaa. Kun hitsaus aloitetaan lämmitetään ensin muutaman sekunnin ajan hitsattavaa pintaa sauman alusta, jotta lanka tarttuisi siihen. Tämän jälkeen aletaan painaa suuttimella lankaa hitsattavaa saumaa vasten ja vedetään suutinta hitaasti sauman yli. Hyvässä saumassa on molemmin puolin pienet purseet ja sauma on ”puolipallomainen”. (8,176.)



Kuva 4. Pikasuutin (Ditzler Vulkan AG)



Kuva 5. Kuumakaasuhitsauslaite (Vink Finland Oy)

3.3.2 Ekstruuderihitsauslaitteet

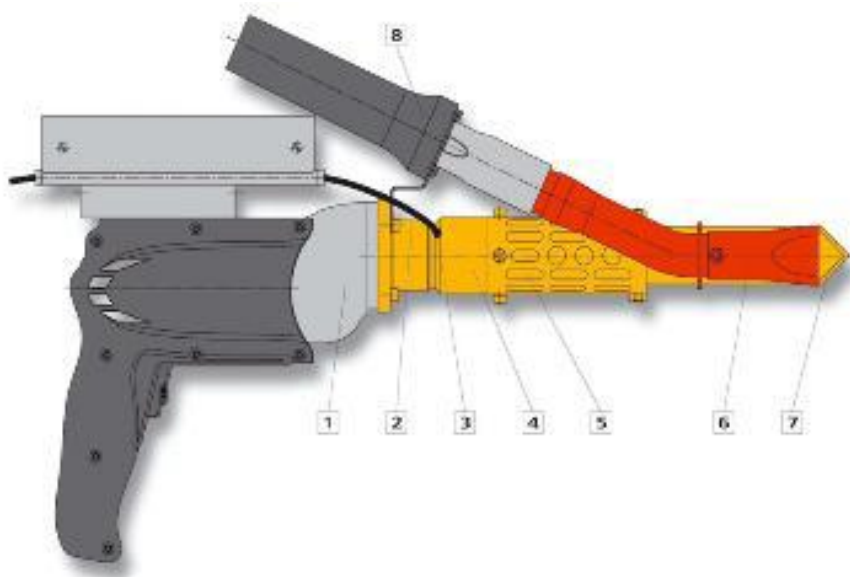
Ekstruuderilla hitsattaessa on ensimmäisenä löydettävä sopivat lämpötilat kahteen paikkaan. Ensiksi langan sulatuskammiolle, jossa muovilanka sulatetaan massaksi ja toiseksi esilämmitysuutimelle, johon puhalletaan ilmaa moottorista.

Esilämmityssuutin lämmittää hitsattavan pinnan sulaksi, jotta sula massa kiinnittyisi siihen kunnolla. Hitsaimen käyttöönotossa joudutaan esilämmittämään laitetta. Jos ekstruuderin ruuvia yritetään pyörittää sylinterissä olevan muovin ollessa liian kankeaa, kuormittuu hitsaimen moottori liikaa. Ennen hitsaustyön aloittamista pursotetaan sylinterissä oleva muovi pois, sillä se ei välttämättä ole sopivaa sen hetkiseen hitsaustyöhön. (8,176.)

Ekstruuderissa on muokattava hitsaussuutin (kuva 7), jota voidaan muokata hitsattavan pinnan muodon mukaan. Suutin asetetaan suoraan kohden hitsattavaa kohtaa ja asento pidetään samana koko hitsauksen ajan. Suutinta lähdetään viemään pitkin hitsattavaa saumaa kohtisuorassa ja syöttäen massaa koko ajan. Massan etureunan tulee näkyä noin 5 mm suuttimen edellä hitsauksen etenemissuuntaan. Kun saavutetaan hitsattavan sauman loppu, lopetetaan massan syöttö noin 5 mm ennen päätepistettä ja kun massa loppuu käännetään ekstruuderin hitaasti vaakaan, jotta massa katkeaa. Kun massa on katkennut painellaan loppu massa sauman jatkeeksi. (8,176.)



Kuva 6. Ekstruuderit (Vink Finland Oy)



- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1. Moottori | 5. Ruuvi |
| 2. Hitsauslanka | 6. Esilämmityssuutin |
| 3. Hitsauslangan
syöttöjärjestelmä | 7. Hitsaussuutin |
| 4. Sulakammio | 8. Kuumailmapuhallin
esilämmitykselle |

Kuva 7. Ekstruuderihitsauslaitteen perusrakenne (Vink Finland)

4 POLYETEENIN NAARMUUNTUMINEN JA KOLHIINTUMINEN

Polyeteeni on materiaalina suhteellisen pehmeä ja helposti naarmuuntuva, jos sitä käsitellään varomattomasti. Normaalikäsitelyssä syntyvät polyeteenikappaleen naarmut ovat pieniä, eivätkä ne yleensä vaikuta kappaleen pitkäaikaiskestävyyteen. Naarmut näyttävät usein silmämääräisesti syvemmiltä, kuin mitä ne todellisuudessa ovat. Naarmun syvyys voidaan mitata ns. naarmunsyvyysmittarilla (katso kuva 1).



Kuva 8. Naarmunsyvyysmittari

PE-putket kestävät yleisesti hyvin naarmuuntumista. Naarmut, jotka ovat syvyydeltään enintään 10 % putken seinämäpaksuudesta, eivät vaikuta käytännössä ollenkaan putken kestävyyteen. (9.)

4.1 Naarmujen ehkäiseminen

Polyeteenituotteessa naarmuuntumisen ehkäisy on lähes mahdotonta. Polyeteenin liimattavuusominaisuudet ovat heikot, eikä tämän vuoksi ole mahdollista käyttää suojaavia materiaaleja pinnoilla. Naarmuuntumista voidaan ehkäistä lähinnä varovaisella käytöllä. Pienet naarmut eivät yleensä vaikuta tuotteen kestävyyteen, joten naarmuuntumisen ongelmat polyeteenituotteilla ovat lähinnä kosmeettisia.

Polyeteenin maalaaminen on lähes mahdotonta polyeteenin vahamaisen pinnan vuoksi.

4.2 Naarmujen peittäminen

Polyeteeniin syntyviä naarmuja on suhteellisen helppo peittää siten, että lujuusominaisuudet palaavat ehjän levyn tasolle. Syviä naarmuja voidaan täyttöhitsata, mutta usein paikkauksesta jää kosmeettinen, näkyvä, jälki. Naarmuja voidaan peittää täyttö- ja korjaushitsauksen lisäksi lämmittämällä ja sulattamalla polyeteenipintaa, tai naarmukohdat voidaan poistaa, esimerkiksi talttaamalla, jos materiaalia on vauriokohdassa riittävästi. Polyeteenin hiominen on mahdollista, mutta polyeteenin kiiltävä, vahamainen pinta kärsii hiomisesta, eikä sitä saada enää hiomisen jälkeen kiiltäväksi.

4.3 Naarmujen vaikutus lujuuteen

Pienet naarmut eivät vaikuta kappaleen keston. Polyeteeniputkissa ja muissa LVI-puolen tuotteissa nyrkkisääntönä on, että 10% polyeteenin paksuudesta syvät naarmut eivät vaikuta lujuuteen. Syvemmät naarmut ja kolhiintumat saattavat heikentää rakennetta ja ne tulisi korjata. Uusien polyeteenimateriaalien jatkuva kehitys on johtanut siihen, että on olemassa polyeteenilaatuja, joissa naarmuilla on entistä pienempi vaikutus polyeteenin kestävyteen.

Polyeteenin ominaisuus kestää suurta taivutusta hajoamatta on vaarassa, kun levyyn tulee syviä, viiltomaisia, naarmuja. Levy, jossa on tällaisia naarmuja, hajoaa helposti pamahtamalla taivutettassa levyä paljon. Veneen rakenteeseen tällaisia naarmuja saattaa syntyä pienissä veneenkäsittelyvirheissä, esimerkiksi traileroinnissa, kivellejossa tai rantautuessa kivikkoiseen rantaan. Veneen jäykisterakenne kuitenkin estää sen, ettei pohjapaneeli pääse taipumaan tai joustamaan niin paljoa, että tällaisesta hajoamisilmiöstä olisi vaaraa. Tässä kohtaa taas jäykistepalkkien hitsaussaumojen kestävyys astuu tärkeään rooliin.

5 POLYETEENIRAKENNE –KYSELY

Työssä selvitettiin polyeteenituotteissa aikaisemmin käytettyjä mitoitusmenetelmiä, polyeteeniä ammatikseen hitsaavien, tai polyeteeniä ammatikseen työstävien henkilöiden kokemuksia polyeteenirakenteista ja niiden ongelmakohdista. Kyselyt suoritettiin sähköpostin välityksellä, puheluilla sekä henkilöhaastatteluin kasvotusten. Kyselyn tarkoitus oli selvittää, miten eri yrityksissä polyeteenirakenteita on mitoitettu, ovatko ne kestäneet, minkälaisissa tilanteissa tuotteita on hajonnut ja mistä tämä on johtunut.

5.1 Haastattelukysymykset

Haastattelusta oli tarkoitus tehdä lyhyt ja ytimekäs, jotta kynnys vastata kyselyyn olisi pieni, eikä se veisi vastaajalta liikaa aikaa. Tavoitteena ei ollut saada suuria määriä vastauksia, vaan saada muutamien eri henkilöin mielipiteitä ja havaintoja aiheesta, jotta saadaan pohjatietoa aiheesta.

Kysymys 1. Mitä tuotteita olette valmistaneet polyeteenistä ja kuinka kauan?

Kysymys 2. Millä menetelmällä tuotteet ovat valmistettu?

Kysymys 3. Miten olette mitoittaneet tuotteet?

Kysymys 4. Onko tuotteissa ollut mitoituksesta johtuvia ongelmia?

Kysymys 5. Ovat tuotteet hajonneet?

Kysymys 6. Muita lisätietoja johonkin kysymykseen?

5.2 Haastatteluiden vastaukset

Haastatteluita tehtiin viisi kappaletta. Työssä ei julkaista haastatteluun vastanneiden henkilöiden nimiä tai heidän edustamiaan yrityksiä.

Kyselyt tehtiin polyeteenistä veneitä valmistaville henkilöille ja yrityksille. Kaikki vastanneet tahot valmistavat pääasiassa polyeteeniveneitä. Vastanneista kolmella henkilöllä oli kokemusta polyeteeniveneiden valmistuksesta kahdenkymmenen vuoden ajalta, kaksi muuta vastaajaa olivat olleet tekemisissä polyeteeniveneiden kanssa 5 ja 2 vuotta. On todennäköistä, että tietoa ja kokemusta rakenteiden kestävyysasioissa on kertynyt vastaajille paljon ja heiltä saa hyvää kokemuspohjaista tietoa.

Kaikki kyselyyn vastanneet ovat olleet tekemisissä levytavarasta hitsattujen polyeteeniveneiden kanssa. Rotaatiovalettuihin veneenvalmistajiin oltiin yhdeydessä, muttei vastauksia kysymyksiin saatu. Tätä ei koettu haittaavaksi tekijäksi, sillä työ nimenomaan käsittelee levytavarasta hitsattuja polyeteeniveneitä.

Mitoituskyselyyn yksi vastaaja kertoi heillä käytettävän toimivaksi todettua, muualta kopioitua runkomallia, ja paksuudeksi on valikoitunut ”varmasti riittävä” ja kulutusta kestävä polyeteenilevy. Näin polyeteenille jää niin sanottu naarmuuntumis- ja kulutusvara. Kaksi vastaajaa olivat tehneet polyeteeniprotoveneille isku-, pudotus- ja käyttötestejä ja rakenne on niillä todettu kestäväksi. Testien tuloksia on sovellettu muissa veneissä suuntaa antamaan paneelin paksuutta. Yksi vastaajista oli alihankintapalveluna laskettanut rungon rakenteen ja muodon. Mitoitusasiaa tiedusteltiin Suomen VTT:ltä. VTT kertoi tarkastelleensa polyeteeniveneitä soveltaen ISO 12215 standardia.

Ketään kyselyyn vastanneista ei ole havainnut polyeteeniveneen rungon rakenteissa hajoamisia. Pudotustestissä olleessa veneessä havaittu pituusjäykistäjien lommahdusongelma oli korjattu tuotantoveneisiin. Rungot eivät ole hajonneet kovassakaan käytössä. Muissa polyeteeniosissa ongelmia on havaittu taipumien, joustavuuden ja epäonnistuneiden hitsauksien vuoksi. Ongelmaosia ei ole ollut mitoitettu tai laskettu, joten asia ei ole tässä yhteydessä merkityksellinen. Lisäksi

polyeteeniosien helpon muokattavuuden ansiosta tuotteita voi vaivattomasti jäykistää jälkikäteen, mikäli tarvetta ilmenee.

Kyselyssä korostui monessa kohtaa hitsien laadun tärkeys. Lähes kaikki kyselyyn vastanneet kertoivat uskovansa polyeteenirakenteidensa kestävyYTEEN, mikäli hitsisaumat ovat tehty ammattitaidolla. Huonosti kasaan hitsattu vene saattaa olla rakenteeltaan todella heikko. Tämä asia todettiin myös tässä työssä mekaanisissa lujuuskokeissa (luku 8).

5.3 Vastausten analysointi

Vastauksia kyselyihin saatiin tavoitteiden mukaisesti lähes kaikilta Suomessa polyeteeniveneitä hitsaamalla valmistavilta yrityksiltä ja henkilöiltä. Kyselyn vastaukset olivat suurelta osin odotettuja, eikä mitään yllättävää käynyt ilmi. Oli odotettavissa, että mitoitus on tehty paljon ikäänkuin ”näppituntumalta”, ja toimivia ratkaisuita kopioimalla ja niistä soveltamalla. Pudotuskokeet ja muut käytännön testit ovat antaneet luotettavaa tietoa tuotteiden kestästä ja tietoa on sovellettu muuhunkin käyttöön.

Vastauksissa korostui se, että polyeteeniveneitä tehdään ja suunnitellaan käyttötarkoituksiin, joissa runko joutuu kestävään kovaan kulutusta. Tämän vuoksi optimaalinen mitoitus, jossa materiaalin paksuus on minimissä suhteessa hydrostaattisiin paineisiin ja paineiskuihin vesillä, ei ole kannattavaa. Polyeteenille on usein jätetty naarmuuntumis- ja kulutusvaraa ja valittu sen perusteella varmasti kestävä paksuus. Tämä on huomioitava tässä työssä. Rakennelaskelmaan on syytä lisätä materiaalin paksuuden kerroin tai lisäys, joka määräytyy veneen käyttötarkoituksen mukaan.

6 POLYETEENIVENEEN RAKENNELASKENTA

6.1 Yleistä mitoituksesta

Tämän työn tarkoituksena oli rakentaa Exel-pohjainen polyeteeniveneen rakennemitoituslaskelma, jota voidaan käyttää suunniteltaessa polyeteeniveneitä. Laskelma tehtiin ISO 12215-5 standardin mukaisesti sovellettuna polyeteenirakenteelle. Työn tarkoituksena oli lisäksi selvittää hitsisaumojen ja polyeteenirungon liitoskohtien kestävyys ja niiden huomioiminen rakennemitoituslaskelmassa.

Polyeteenin osalta rajoittavina tekijöinä pidetään sallittua taipumaa ja lommahdusriskiä, sekä tässä työssä liitoskohtien (hitsisaumojen) kestävyyttä. Huvivenedirektiivi ei aseta veneen materiaaleille suuria rajoituksia, standardi määrittää materiaaleille esimerkiksi varmuuskertoimia hitsatuille ja mekaanisesti liitetyille rakenteille. Standardit antavat pienen joukon lujuusominaisuuksia, jotka materiaalin pitää täyttää. Nämä ominaisuudet ovat mekaanisia ja vaihtelevat suuresti eri materiaalien välillä.

Standardissa 12215-1 on vertailulaminaattien tapauksessa materiaalille määritelty raja-arvoja joidenkin lujuusominaisuuksien osalta. Näitä lujuusominaisuuksia ovat esimerkiksi taivutus- ja vetolujuus. Standardin 12215-3 mukaan uusien materiaalien osalta soveltuvuus veneen rakennukseen tulee osoittaa laboratoriotestein, valmiin veneen kanssa suoritetuilla pitkäkestoisilla testeillä ja raporteilla yhtenevästä veneestä, jonka rungon parametrit, koko ja käyttöolosuhteet ovat vertailukelpoisia mitoiltaan. Veneiden rungon materiaalia säätelevät standardit ovat SFS-EN ISO 12215 (1-3).
(10.)

Tässä työssä lähtökohtana oli etsiä ja käyttää materiaalia, jonka oletetaan käyttäytyvän samalla tavalla polyeteenin kanssa ja joka on lisäksi lujuusarvoiltaan hyvin polyeteenin kaltaista.

Polyeteenin säänkesto on verrattavissa standardissa käytettyjen materiaalien säänkestoön, sekä polyeteenin säänkestosta on tietoa ja varmaa dataa, että se kestää

useita vuosia erilaisia sääolosuhteita ilman merkittäviä muutoksia ominaisuuksissa. (11.)

PE-materiaalin matalan E-moduulin ansiosta paineaallon nopeus ja paineiskun suuruus ovat pienempiä PE-putkijärjestelmissä verrattuna kovempiin materiaaleihin. Ohutseinämaisissä PE-putkissa ($SDR > 26$) pitää kuitenkin ottaa huomioon mahdollinen paineiskusta tai pumppukatkon aiheuttamasta alipaineesta syntyvä lommahtamisriski. Myös venerungon mitoituksessa lommahdusriski on mitoitukseen vaikuttava tekijä. (9.)

6.2 Suunnittelukategoriat

Kategoria A ("Valtameri") A-luokan alukset on suunniteltu ja tarkoitettu olosuhteisiin, joissa merkitsevä aallonkorkeus on vähintään 4 metriä ja tuulen nopeus ylittää 8 Boforin nopeuden. Kategoriaan eivät lukeudu epänormaalit olosuhteet (kuten pyörremyrskyt). A-kategorian alustyyppi on pitkien merimatkojen aikana omavarainen. (12.)

Kategoria B ("Avomeri") B-luokan alukset on suunniteltu ja tarkoitettu avomeriolosuhteisiin, joissa merkitsevä aallonkorkeus voi olla maksimissaan 4 metriä korkeita, sekä tuulen nopeus enimmillään 8 Boforia. (12.)

Kategoria C ("Rannikko") C-luokan alukset on suunniteltu matkoille rannikon läheisyyteen. Alukset on tarkoitettu olosuhteisiin, joissa merkitsevä aallonkorkeus voi olla enintään 2 metriä, ja normaali tuulennopeus on 6 Boforia tai vähemmän. (12.)

Kategoria D ("Sisävesi") D-luokan alukset on suunniteltu suojaisille rannikkovesille, pienille lahdille, pienille järville, joille ja kanaville tapahtuville matkoille. Alukset on tarkoitettu olosuhteisiin, joissa merkitsevä aallonkorkeus ei ylitä 0.3 metriä ja satunnaiset aallot ovat enintään 0.5 metriä. Vallitseva tuulen nopeus on 4 Boforia tai alle. (12.)

Merkitsevä aallonkorkeus tarkoittaa korkeimman kolmanneksen keskimääräistä aallonkorkeutta. Yksittäisen aaltojen korkeus saattaa olla moninkertainen merkitsevään aallonkorkeuteen verrattuna.

Tässä työssä on keskitytty tutkimaan ja laskemaan C- ja D-suunnittelukategorian veneitä. Laskelma kuitenkin mahdollistaa myös A- ja B-kategorian veneen suunnittelun teoreettisella tasolla.

6.3 Muut tarkastelumenetelmät

Rakennelaskelma on tehty soveltaen SFS ISO 12215-5 standardia, mutta laskelman tueksi rakenteen mitoitusta on tutkittu lisäksi muilla menetelmillä.

6.3.1 NBS1990. DNV. Standard for certification No. 2.20

Vanhassa NBS1990 huvivenesäännössä on ohje polyeteenin mitoittamisella. Ohje on vanhentunutta tietoa, sekä antaa turhan järeitä paksuuksia polyeteenille. Tämän mukainen mitoitus on niin sanotusti varmanpäälle-mitoitus. Tarkastelussa on kuitenkin myös paikkansapitäviä kohtia ja tarkastelu katsottiin hyväksi lähtökohdaksi, ja pohjatedoksi ISO 12215-5 mukaiselle laskennalle.

6.3.2 Pudotuskoe alle 6 metrin veneille

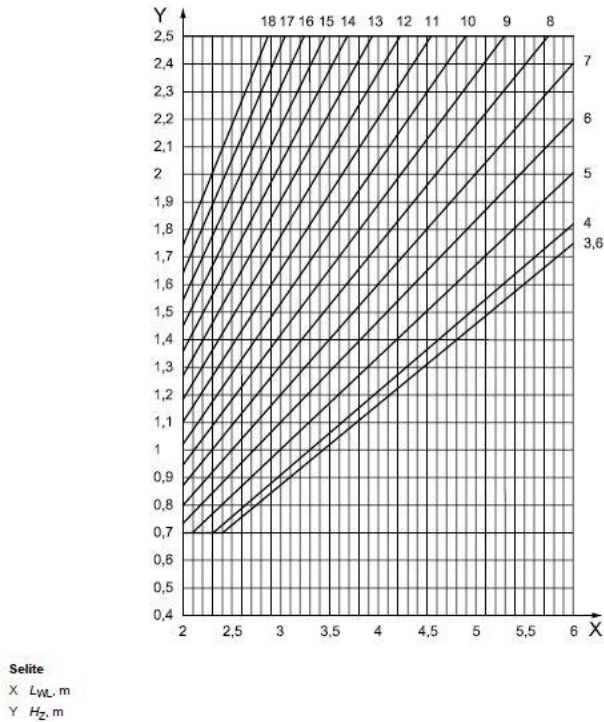
Polyeteeniveneen rakennetta mitoittaessa määrääväksi tekijäksi tulee helposti eräänlainen globaali tarkastelu, koska polyeteenirakenteissa siirtymät ovat suuria ja jäykistetarkastelu voi jäädä epämääräiseksi tarkankin laskennan jälkeen. Varmimpia tuloksia antaa ISO 12215-5 Liitteen B mukainen pudotuskoe. On kuitenkin osoittautunut, että pudotuskoe on erittäin vaativa, koska siinä ei ole eroja

suunnitteluluokkien mukaiselle pudotuskorkeudelle. Koe on erityisesti vaativa pienille veneille (suunnittelukategoriat D ja C), jota tässä työssä pääasiallisesti käsitellään.

Standardin mukaisen pudotuskokeen teoriassa todetaan veneeseen kohdistuvat paineiskut aallokossa määritettäväksi samaksi kuin kaksiulotteiseen veteen sukeltavaan kiilaiseen malliin kohdistuvat iskut. Pudotuskokeessa vene nostetaan määrättyyn korkeuteen Hz (Kuva 9), sen nopeus/pituus-suhteen $V/LWL^{0,5}$ perusteella. (10.)

Pudotuskokeessa on asetettu olettamuksia parametreille, jotta aalto-olosuhteet ja suhteellinen iskunopeus vastaisivat todellista tilannetta. Laskennassa on otettu huomioon varmuusmarginaalit, joten näitä ei tarvitse erikseen huomioida pudotuskokeessa. Laskennan mitoitus ja varmuuskertoimet eivät ota huomioon materiaalin väsymistä. Molemmista tapauksissa on katsottu, että kertaisku antaa riittäviä vastauksia veneen pitkäaikaiskeston suhteen.

Käytännön kokeen tulee täyttää seuraavat ehdot. Vene on lastattu täyteen kuormaan, kölin on oltava suunnilleen veden pinnan suuntainen, aaltojen korkeus koealtaassa ei saa ylittää 100mm. Kokeessa vene tulee laskea vapaaksi niin, että se putoaa veteen. Kokeen jälkeen vene tulee nostaa kuiville ja tarkastaa onko paneelien sisä- tai ulkopinnassa halkeamia, sekä onko sisäpuolen jäykisterakenteissa vaurioita. (10.)



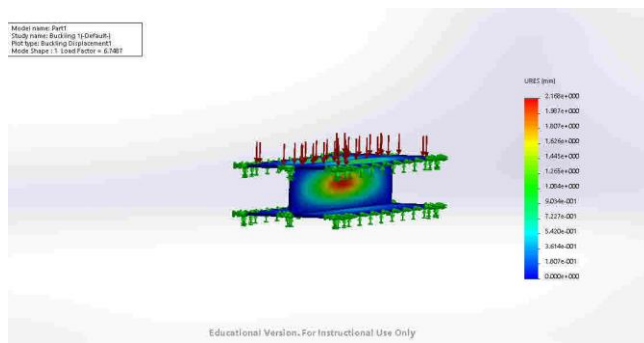
Kuva 9. SFS ISO 12215-5 LIITE B:n mukainen pudotuskorkeus taulukko. Numeroilla jokaisen suoran viivan päässä esitetään tämän viivan nopeus/pituus-suhde $V/(L_{WL})^{0.5}$. (10.)

Pudotuskokeita ei tässä työssä tehty. Työn tarkoitus oli laskennallisesti mitoitaa polyeteenirakenne. Laskelma on pohja uusille polyeteenivenemalleille, ja mahdollisesti laskennan pohjalta saatua rakennetta testataan myöhemmin pudotuskokeilla.

6.3.3 Polyeteenin taipuma ja lommahdus

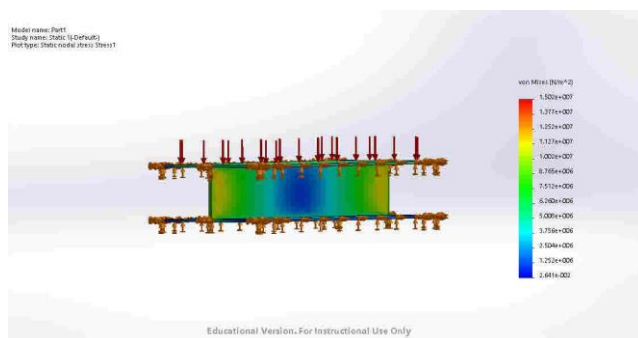
SFS ISO 12215-5 määrittää jäykisteen poikkileikkauksella raja-arvoja. Raja-arvot ovat huomioitu exel-rakennelaskelmassa. Raja-arvolaskelmassa käytettiin alumiinin raja-arvoja. Polyeteenin arvon hakemiseksi tulisi tehdä useita vertailevia kokeita ja sovittaa laskelman raja-arvot polyeteenille. Vertailevia kokeita ei tässä työssä tehty. Työssä pyrittiin määrittämään minkä paksuiset jäykisterakenteet eivät ole vaarassa lommahtaa. Työn yhteydessä pohdittiin, minkälaisia lommahdusta estäviä rakenteita voidaan käyttää.

Työssä tarkasteltiin lommahdusriskiä ja paineen jakautumista jäykisteessä solidworks –ohjelman FEM-laskennalla. Tarkastelussa käytettiin 10mm vahvaa polyeteeniä. FEM-tarkastelulla pyrittiin selvittämään, onko esimekkutilanteen 10mm vahva polyeteeni riittävän paksu ehkäisemään lommahdusriskiä. Kuva 10 havainnollistaa polyteenijäykisteelle tehtyä lommahdus-tarkastelua. 10mm jäykisteen suurin siirtymä oli tarkastelussa noin 2,2 mm. Suurin siirtymä kuvan 10 tilanteessa on kohdassa, jossa jäykisteen väritys on punainen.



kuva 10. lommahdusriskin ja siirtymien tarkastelu FEM-laskennalla

FEM-tarkastelussa kohdistettiin pohjanpaineesta aiheutuva voima palkkiin. Kuvassa 11 on esitetty voiman jakauma palkissa. Materiaalin arvojen pohjalta on asetettu, että palkki on normaalitilanteessa sininen ja voiman läheystyessä materiaalin maksimipuristusvoima-arvoa palkin väritys muuttuu punaiseksi. Esimerkkitalanteessa (10mm polyeteenijäykiste) voima ei ylitä materiaalin raja-arvoja.



kuva 11. Pohjan paineesta aiheutuva voima palkissa

FEM-laskennalla saatuja arvoja tarkasteltiin vertailemalla nurjahdusvoima ja hoikkuusluku –laskelmaan. Esimerkkitapauksessa (10mm polyeteenijäykiste) molemmilla menetelmällä tultiin tulokseen, että jäykisterakenne ei ole vaarassa lommahtaa tai hajota jäykisteeseen kohdistuvan puristusvoiman takia. Laskelmassa nurjahdusvoima-arvoksi saatiin suurempi arvo, kuin paineen aiheuttama voima. Tässä tapauksessa jäykisterakenne on pohjaan ja kanteen hitsattu I-palkkimainen ratkaisu, jossa jäykiste on yhtenäistä ja umpinaista levyä, ilman reikiä tai muita jäykistäviä muotoa.

Hooke			
$E = \sigma / \epsilon$		σ	27
		ϵ	0,0225
		E	1200
Puristusjäännitys			
$\sigma = F/A$		F	103200 N
		A	
		σ	6,25 Mpa
Hoikkuusluku/nurjahdus			
$i = (I/A)^{0,5}$		I	29076760
		I_n	0,5
		A	16500 mm ²
$\lambda = I_n/i$		i	34,5
		λ	0,015
$F_n = (\pi^2 E i^2 A) / L_n^2$		F_n	175876

Kuva 12. Hoikkuusluku/nurjahdusvoima laskelma

Suurinta sallittua taipumaa haettiin olemassaolevista veneistä tutkimalla niiden jäykisteratkaisuita sekä valittuja materiaalipaksuuksia. Parasta tietoa tämääntyypiseen tutkimukseen saataisiin, mikäli tutkimuksissa ja kyselyissä olisi tullut vastaan runko, jonka rakenteet ovat hajonneet. Hajonneita polyeteenirunkoja ei kuitenkaan löytynyt. On syytä olettaa, että sallittu taipuma-arvo, joka saadaan tutkimalla olemassa olevia veneitä, on toimiva. On mahdollista, että käyttäen näin haettua arvoa saadaan ylimitoitettu runkorakenne, sillä on mahdotonta tietää minkälaiset varmuudet olemassa olevissa rungoissa on käyttöhetkellä.

6.4 SFS ISO 12215-5 standardin mukainen laskelma

6.4.1 Veneen tietojen määrittäminen

Rakennelaskelman alussa on määritettävä mitoitettavan veneen tiedot. Veneen tietojen mukaan voidaan laskettua veneen suunnittelupaineet. Veneen suunnittelupaineiden laskelmaan vaikuttavia tietoja ovat seuraavat.

- Massa täydellä kuormalla m_{LDC}
- Rungon pituus L_H
- Vesilinjan pituus L_{WL}
- Rungon leveys B_H
- Palteiden välinen leveys B_C
- Laidan korkeus H_S
- Varalaita Z
- Pohjan v-kulma $\beta_{0,4}$
- Maksimi nopeus V_{max}
- Suunnittelukategoria
- Suunnittelukategoriakerroin k_{DC} (A-kategoria 1, B-kategoria 0,8, C-kategoria 0,6 ja D-kategoria 0,4)
- Suunnittelunopeus V
- Liukutila/uppoumatila
- Dynaaminen kuormakerroin n_{GC} .

6.4.2 Suunnittelupaineet

Veneen tietojen pohjalta voidaan määrittää veneen suunnittelupaineet. Standardin mukainen määrittäminen on seuraavanlainen.

Pohjan paine (kPa)

Uppoumatilassa $P_{BMD_BASE} = 2,4 * m_{LDC}^{0,33} + 20$

Liukutilassa $P_{BMP_BASE} = 0,1 * m_{LDC} / L_{WL} / B_C * 1 + k_{DC}^{0,5} * n_{GC}$

Minimi $P_{BM_MIN} = 0,1 * m_{LDC} / L_{WL} / B_C * (1 + k_{DC}^{0,5} * n_{CG})$

Laidan paine (kPa)

Minimi $P_{SM_MIN} = 0,9 * L_{WL} * k_{DC}$

Kannen paine (kPa)

Minimi $P_{DM_MIN} = 5$

Kannen peruspaine $P_{DM_BASE} = 0,35 * L_{WL} + 14,6$

6.4.3 Materiaalin mekaaniset ominaisuudet

Laskennassa käytettiin Vink Oy:n HDPE 500:n lujuusarvoja

Vetomyötölujuus (hitsattu)	σ_{yw}
Mitoitusjännitys, pohjapaneeli	σ_{dp}
Mitoitusjännitys, jäykisteet	σ_{ds}
Vetomyötölujuus (hitsaamaton)	σ_y
Leikkausmurtolujuus	τ_{ds}

Materiaalin lujuusarvot ovat HDPE:n arvoja. Käytettäessä erilaista polyeteenilaatua arvot tulee vaihtaa käytettävän materiaalin mukaisiksi. (13.)

6.4.4 Minimipaksuudet

Paksuuskerroin	$A = 1$
Paksuuskerroin	$K_5 = (125/\sigma_y)^{0,5}$
Pohjan paksuuskerroin	$K_7 = 0,02$
Paksuuskerroin	$K_8 = 0,1$
Minimipaksuus pohjassa	$t_{\min b} = k_5 * (A + k_7 * V + k_8 * m_{LDC}^{0,33})$
Minimipaksuus kyljissä/peräpeilissä	$t_{\min s} = k_5 * (A + k_8 * m_{LDC}^{0,33})$
Minimipaksuus kannessa	$t_{\min d} = 1,35 + 0,06 * L_{WL}$

6.4.5 Pohjan mitoitus

9.1	Dimensions of plating panels and stiffeners		
	Number of floors	n	0
	Number of longitudinals/side	m	2
	Distance between floors (mm)	l_u	4500
	Distance between longitudinals (mm)	s	212
	Width of longitudinal (mm)	W	10
	Width of floor (mm)	F	10
	Long side of panel	l	4500
	Short side of panel	b	212
	Bottom panel		
	Long placement of panel (m)	x	1,8
	Long side of panel from drawing	l	1650
	Short side of panell from drawing	b	212
7.4	Long. pressure distr. factor	k_L	1,0
	Design area	A_d	0,112
7.5	Area reduction factor, displacement	k_{ARD}	0,781
	Area reduction factor, planing	k_{ARP}	0,544
8.1.2	Motor craft bottom pressure, displacement	P_{BMD}	20,3
8.1.3	Motor craft bottom pressure, planing	P_{BMP}	55,8
8.1	Motor craft bottom pressure, design	P_{BM}	55,8
10.1.2	Panel aspect ratio factor	k_2	0,385
10.1.3	Panel curvature height	c	0
	Panel curvature factor	k_C	1,00
10.3	Required thickness for polyethylene plating (mm)	t	6,3
	Chosen thickness	t	7,0

Kuva 13. Pohjapaneelin mitoitus (exel).

Pohjajäykisteiden mitoitus

	Longitudinal stiffener		
	Distance between floors (mm)	l_u	1650
	Distance between longitudinals (mm)	s	212
7.4	Long. pressure distr. factor	k_L	1,0
	Design area	A_d	0,898
7.5	Area reduction factor, displacement	k_{ARD}	0,250
	Area reduction factor, planing	k_{ARP}	0,291
8.1.2	Motor craft bottom pressure, displacement	P_{BMD}	6,8
8.1.3	Motor craft bottom pressure, planing	P_{BMP}	29,6
8.1	Motor craft bottom pressure, design	P_{BM}	29,6
11.2.1	Stiffener curvature height	c_u	0
	Stiffener curvature factor	k_{CS}	1,00
11.2.2	Stiffener shear area factor (5 or 7.5)	k_{SA}	5
11.3	Design stress for stiffener	σ_d	19
	Design shear stress for stiffener	τ_d	11
11.4.1	Minimum shear area (cm ²)	A_w	4,78
	Minimum section modulus (cm ³)	SM	75,1
	Stiffener flange thickness (mm)	t_f	7,0
	Stiffener web thickness (mm)	t_w	10
	Stiffener height (mm)	h	200
	Stiffener flange width (mm)	d	106
	Stiffener width on plate (mm)	w	10
	Bottom plate width (mm)		70
	Section modulus (cm ³)	SM	170,8
	Web area (cm ²)	A_w	20
	Compliance		OK

Kuva 14. Pohjajäykisteen (longitudinal stiffener) mitoitus (exel).

Tranversal stiffener			
	Distance between chines (mm)	I_u	1200
	Distance between floors (mm)	s	1650
7.4	Long. pressure distr. factor	k_L	1,0
	Design area	A_d	1,980
7.5	Area reduction factor, displacement	k_{ARD}	0,250
	Area reduction factor, planing	k_{ARP}	0,250
8.1.2	Motor craft bottom pressure, displacement	P_{BMD}	6,8
8.1.3	Motor craft bottom pressure, planing	P_{BMP}	25,4
8.1	Motor craft bottom pressure, design	P_{BM}	25,4
11.2.1	Stiffener curvature height	c_u	0
	Stiffener curvature factor	k_{CS}	1,00
11.2.2	Stiffener shear area factor (5 or 7.5)	k_{SA}	5
11.3	Design stress for stiffener	σ_d	19
	Design shear stress for stiffener	τ_d	11
11.4.1	Minimum shear area (cm ²)	A_w	23,30
	Minimum section modulus (cm ³)	SM	266,3
11.7.2	Stiffener flange thickness (mm)	t_f	7,0
11.7.2	Stiffener web thickness (mm)	t_w	10
11.7.2	Stiffener height (mm)	h	300
11.7.2	Stiffener flange width (mm)	d	600
11.7.2	Stiffener width on plate (mm)	w	10
	Bottom plate width (mm)		420
	Section modulus (cm ³)	SM	1062,5
	Web area (cm ²)	A_w	30
	Compliance		OK

Kuva 15. Pohjajäykisteen (transversal stiffener) mitoitus (exel).

6.4.6 Kylkien mitoitus

9.1	Dimensions of plating panels and stiffeners		
	Number of frames	n	0
	Number of longitudinals/side	m	0
	Distance between frames (mm)	l_u	4500
	Distance between longitudinals (mm)	s	200
	Width of longitudinal (mm)	W	4
	Width of frame (mm)	F	4
	Long side of panel	l	4490
	Short side of panel	b	202
	Topside panel		
	Long placement of panel (m)	x	1,8
	Long side of panel from drawing	l	4500
	Short side of panel from drawing	b	212
7.4	Long. pressure distr. factor	k_L	1,0
7.5.1	Design area	A_d	0,112
7.5	Area reduction factor, displacement	k_{ARD}	0,781
	Area reduction factor, planing	k_{ARP}	0,544
6.2.3	Height of panel center from DWL	h	100
7.6	Hull side pressure reduction factor	k_Z	0,750
8.1.4	Motor craft side pressure, displacement	P_{SMD}	17,1
8.1.5	Motor craft side pressure, planing	P_{SMP}	7,6
8.1	Motor craft side pressure, design	P_{SM}	17,1
10.1.2	Panel aspect ratio factor	k_2	0,316
10.1.3	Panel curvature height	c	0
	Panel curvature factor	k_C	1,00
10.3	Required thickness for aluminium plating (mm)	t	5,5
	Chosen thickness	t	6,0

Kuva 16. Kyljen mitoitus (exel).

6.4.7 Kannen mitoitus

9.1	Dimensions of plating panels and stiffeners		
	Number of frames	n	0
	Number of longitudinals	m	2
	Distance between frames (mm)	l_u	4500
	Distance between longitudinals (mm)	s	600
	Width of longitudinal (mm)	W	15
	Width of frame (mm)	F	4
	Long side of panel	l	4496
	Short side of panel	b	585
	Deck panel		
	Long placement of panel (m)	x	1,8
	Long side of panel from drawing	l	4496
	Short side of panell from drawing	b	585
7.4	Long. pressure distr. factor	k_L	1,0
	Design area	A_d	0,856
7.5	Area reduction factor, displacement	k_{ARD}	0,391
	Area reduction factor, planing	k_{ARP}	0,295
8.1.6	Motor craft deck pressure, displacement	P_{DMD}	5,0
8.1.6	Motor craft deck pressure, planing	P_{DMP}	5,0
8.1	Motor craft deck pressure, design	P_{DM}	5,0
10.1.2	Panel aspect ratio factor	k_2	0,387
10.1.3	Panel curvature height	c	0
	Panel curvature factor	k_C	1,00
10.3	Required thickness for aluminium plating (mm)	t	5,5
	Chosen thickness	t	6,0

Kuva 17. Kannen mitoitus (exel).

Longitudinal stiffener			
	Distance between frames (mm)	l_u	4500
	Distance between longitudinals (mm)	s	600
7.4	Long. pressure distr. factor	k_L	1,0
	Design area	A_d	6,683
7.5	Area reduction factor, displacement	k_{ARD}	0,250
	Area reduction factor, planing	k_{ARP}	0,250
8.1.2	Motor craft deck pressure, displacement	P_{DMD}	5,0
8.1.3	Motor craft deck pressure, planing	P_{DMP}	5,0
8.1	Motor craft deck pressure, design	P_{DM}	5,0
11.2.1	Stiffener curvature height	c_u	0
	Stiffener curvature factor	k_{CS}	1,00
11.2.2	Stiffener shear area factor (5 or 7.5)	k_{SA}	5
11.3	Design stress for stiffener	σ_d	19
	Design shear stress for stiffener	τ_d	11
11.4.1	Minimum shear area (cm ²)	A_w	6,25
	Minimum section modulus (cm ³)	SM	267,8
	Stiffener flange thickness (mm)	t_f	6,0
	Stiffener web thickness (mm)	t_w	10
	Stiffener height (mm)	h	200
	Stiffener flange width (mm)	d	300
	Stiffener width on plate (mm)	w	10
	Deck plate width (mm)		360
	Section modulus (cm ³)	SM	431,8
	Web area (cm ²)	A_w	20
	Compliance		OK

Kuva 18. Kannen jäykisteen (longitudinal stiffener) mitoitus (exel).

Tranversal stiffener			
	Distance between chear lines (mm)	l_u	1800
	Distance between floors (mm)	s	4500
7.4	Long. pressure distr. factor	k_L	1,0
	Design area	A_d	8,100
7.5	Area reduction factor, displacement	k_{ARD}	0,250
	Area reduction factor, planing	k_{ARP}	0,250
8.1.2	Motor craft deck pressure, displacement	P_{DMD}	5,0
8.1.3	Motor craft deck pressure, planing	P_{DMP}	5,0
8.1	Motor craft deck pressure, design	P_{DM}	5,0
11.2.1	Stiffener curvature height	c_u	0
	Stiffener curvature factor	k_{CS}	1,00
11.2.2	Stiffener shear area factor (5 or 7.5)	k_{SA}	5
11.3	Design stress for stiffener	σ_d	19
	Design shear stress for stiffener	τ_d	11
11.4.1	Minimum shear area (cm ²)	A_w	18,75
	Minimum section modulus (cm ³)	SM	321,4
11.7.2	Stiffener flange thickness (mm)	t_f	6,0
11.7.2	Stiffener web thickness (mm)	t_w	10
11.7.2	Stiffener height (mm)	h	300
11.7.2	Stiffener flange width (mm)	d	2250
11.7.2	Stiffener width on plate (mm)	w	10
	Bottom plate width (mm)		360
	Section modulus (cm ³)	SM	915,0
	Web area (cm ²)	A_w	30
	Compliance		OK

Kuva 19. Kannen jäykisteen (transversal stiffener) mitoitus (exel).

7 MEKAANISET LUJUUSKOKEET

7.1 Rakennelaskelman ongelmakohdat

Koska ISO 12215-5 standardi ei käsittele polyeteeniä materiaalivaihtoehtona, pelkkä standardin mukainen rakennelaskelma ei tässä tapauksessa ole riittävä. Jotta polyeteenin hajoamista sekä hitsisaumojen hajomista voidaan huomioida

rakennelaskelmassa, tuli materiaalille tehdä erilaisia kokeita. Lujuuskokeiden tarkoitus oli selvittää, hajoaako standardin mukaisesti mitoitettu polyeteenirunko materiaalin hitsaussaumojen tai niiden läheisyydestä tai liitoskohdista ennemmin kuin rakennelaskelman mukaan pitäisi.

Standardin mukaisesta rakennelaskelmasta löytyi ongelmakohtia sovellettaessa laskentaa polyeteenille. Suurimpia ongelmia oli polyeteenimateriaalin tehollisen alalaipan leveyden määrittäminen. Standardissa tehollisen alalaipan leveys on määritelty teräkselle (80t), alumiinille (60t), Umpilaminaatille (20t), kerrosrakenteelle (20t0+ti) ja puulle (15t). Materiaalina polyeteeni käyttäytyy tässä tarkastelukohdassa hyvin erilaisesti kuin mikään muista edellämainituista materiaaleista. Polyeteenin tehollisen alalaipan leveys-arvon pystyisi mahdollisesti määrittämään FEM-laskennalla ja tarkastelulla. FEM-tarkastelu on jätetty pois tästä työstä ja arvoa pyrittiin arvioimaan muilla menetelmillä. Arvo on jokatapauksessa pienempi kuin alumiinin arvo (60t), joten laskelmassa on lähdetty arvosta 30t.

Toinen merkittävä ongelma laskennassa muodostuu jäykisterakenteen lommahdusriskistä. Ongelma on laskelman mukaan suuri ja jäykisterakenteita suunniteltaessa on käytettävä lommahdusta estäviä ratkaisuja. Työn tilaajalla on käytössä erilaisia menetelmiä välttää jäykisterakenteiden lommahdusta, näitä menetelmiä ei tässä työssä kerrota.

Kolmas ongelma, johon ei standardista löydy suoraa vastausta, on mitoitusjännityksien varmuuskertoimet eri materiaaleille. Työssä päädyttiin käyttämään veto- ja puristusjännityksen mitoitusarvoa 50% vetomyötölujuudesta ja leikkausjännityksen mitoitusarvoa 50% leikkauslujuudesta.

7.2 Testausmenetelmät

Tässä työssä tehtiin rakennelaskelman tueksi testejä hitsaussauman vaikutuksesta polyeteenilevyn mekaanisiin ominaisuuksiin. Testien tarkoitus oli todeta polyeteenimateriaalin olevan yhtä vahva hitsaussauman kohdalta ja vierestä, kuin paneelin muista kohdista. Tämän avulla laskelmasta voitiin jättää pois

polyeteenirakenteen hitsauksen varmuuskerroin ja käyttää koko rakenteessa polyeteenin datalehdistä saatavia arvoja. Testit tehtiin TIRA-testi laitteella veto- ja puristuskokeilla.

7.3 Koekappaleet

Koekappaleita päätettiin valmistaa veto- ja puristustestiä varten. Vetotestiä varten valmistettiin kahdeksan (8) erilaista näytesarjaa.

- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään hyvin samanlainen hitsi kuin polyeteenirungoissa. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain ja päädyt viistettiin hitsattavalta alueelta, sekä hitsattava alue karhennettiin ennen hitsausta.
- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään huono hitsi, jossa pintojen esivalmistelu on puutteellinen. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain, kappaleita ei viistetty eikä karhennettu ennen hitsausta.
- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään huono hitsi, jossa pintojen esivalmistelu on puutteellinen. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain ja karhennettiin, mutta kappaleita ei viistetty.
- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä polyeteenikappaleet on asetettu 20mm päällekkäin ja hitsattu palojen päistä yhteen. Näytteiden pinnat karhennettiin ennen hitsausta.
- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään huono hitsi. Hitsi on tehty nopeasti ja huolimattomasti. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain ja viistettiin ja karhennettiin ennen hitsausta.
- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään huono hitsi. Hitsi

on tehty hitaasti ja kappaleeseen on pyritty saamaan suuri purse. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain ja viistettiin ja karhennettiin ennen hitsausta.

- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään huono hitsi. Hitsi on tehty naarmutetulle pinnalle ja vain kappaleen toiselle puolelle, sekä kappale on hitsauksen jälkeen jäädytetty nopeasti upottamalla näyte kylmään veteen. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain ja viistettiin ja karhennettiin ennen hitsausta.
- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään huono hitsi. Hitsi on tehty naarmutetulle pinnalle ja vain kappaleen toiselle puolelle. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain ja viistettiin ja karhennettiin ennen hitsausta.

Puristuskokeita varten valmistettiin neljä (4) erilaista näytesarjaa. Puristuskokeen tarkoitus oli selvittää, ettei saumassa tapahdu mitään yllättävää puristettaessa kappaletta. Ennen koetta jo tiedostettiin, että polyeteeni taipuu paljon ja sen kimmokerroin on matala. Tämän vuoksi puristuskokeessa ei oletettu saatavan arvoja jotka vaikuttaisivat rakennelaskelmaan, ellei hitsi muutu lujuuteen vaikuttavalla tavalla puristuksessa.

- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään hyvin samanlainen hitsi kuin polyeteenirungoissa. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain ja päädyt viistettiin hitsattavalta alueelta, sekä hitsattava alue karhennettiin ennen hitsausta.
- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään huono hitsi. Hitsi on tehty nopeasti ja huolimattomasti. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain ja viistettiin ja karhennettiin ennen hitsausta.
- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä on pyritty tekemään huono hitsi. Hitsi on tehty hitaasti ja kappaleeseen on pyritty saamaan suuri purse. Kappaleet asetettiin suoraan vastakkain ja viistettiin ja karhennettiin ennen hitsausta.

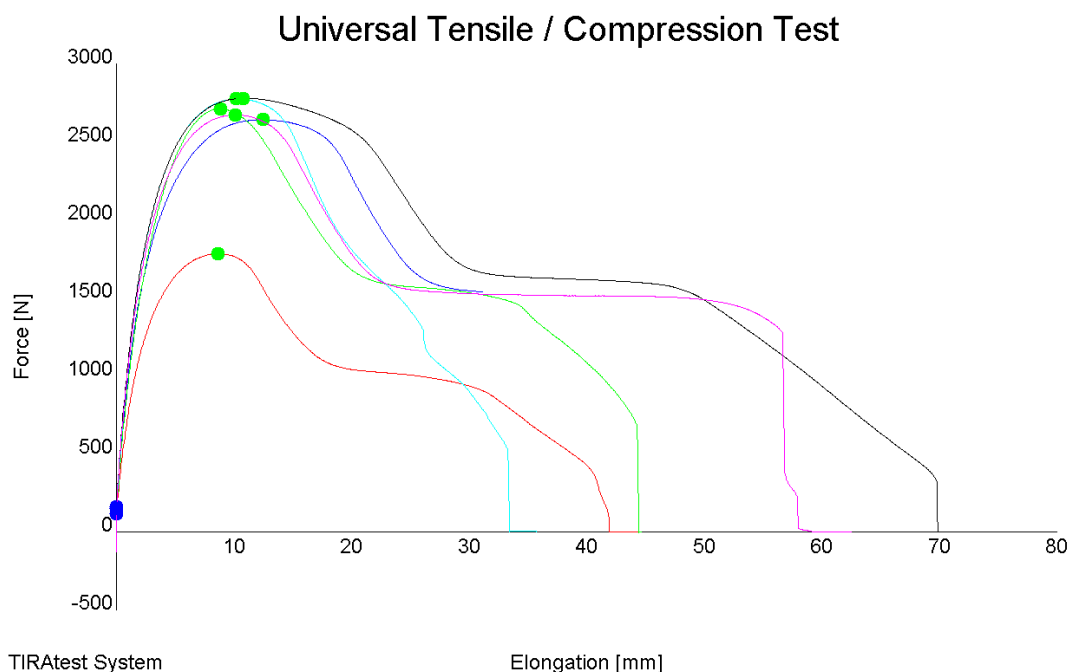
- Viisi (5) kappaletta hitsattuja, 200mm pitkiä, 20mm leveitä ja 6mm paksuja polyeteeninäytekappaleita. Tässä näytteessä polyeteenikappaleet on asetettu 20mm päällekkäin ja hitsattu palojen päistä yhteen. Näytteiden pinnat karhennettiin ennen hitsausta.

7.4 Kokeiden suoritus ja tulokset

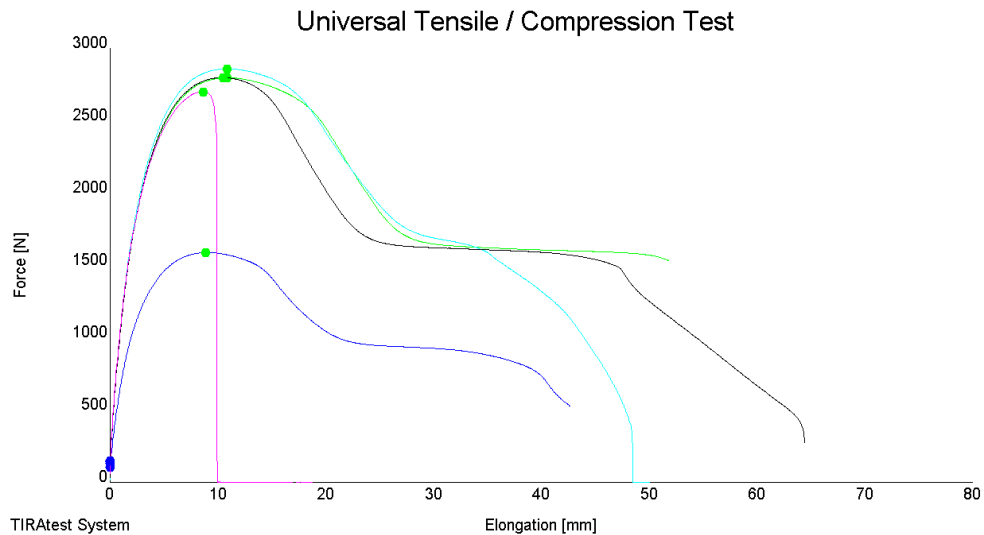
Koekappaleet valmistettiin Loviisassa, Tibeko Marine Oy:n tuotantiloissa ja kokeet suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun veneteknologian komposiittilaboratoriossa Mussalossa. Koekappaleiden hitsaukset suoritti ammattihenkilöt.

7.4.1 Vetokoe

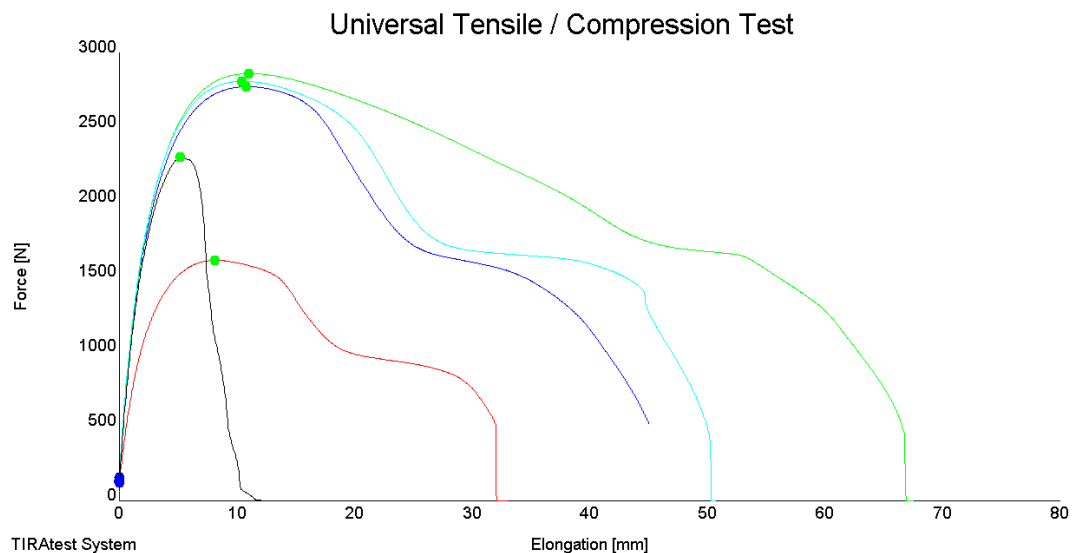
Näytesarja 1. Normaali, hyvä, hitsi. Huomioita kokeessa: Ensimmäinen näyte, punainen, oli ohuempi kuin muut sarjan näytteet. toinen näyte, turkoosi, luisti aluksi testipenkissä. Näyte kiinnitettiin uudelleen. Mikään näytteistä ei hajonnut sauman kohdalta. Venymän erot saattavat johtua reunojen sahauksesta syntyneistä eroavaisuuksista.



Näytesarja 2. Näytteet hitsauttu päin ilman viistouksia ja ilman karhennuksia. Huomioita kokeesta: Vain viimeinen näyte hajosi odotetulla tavalla saumasta, punainen, muut hajosivat muualta kuin sauman kohdalta. Toinen näyte, sininen, oli kapeampi kuin muut näytteet. Tässä kokeessa yllättävää oli vain yhden näytteen hajoaminen saumasta.

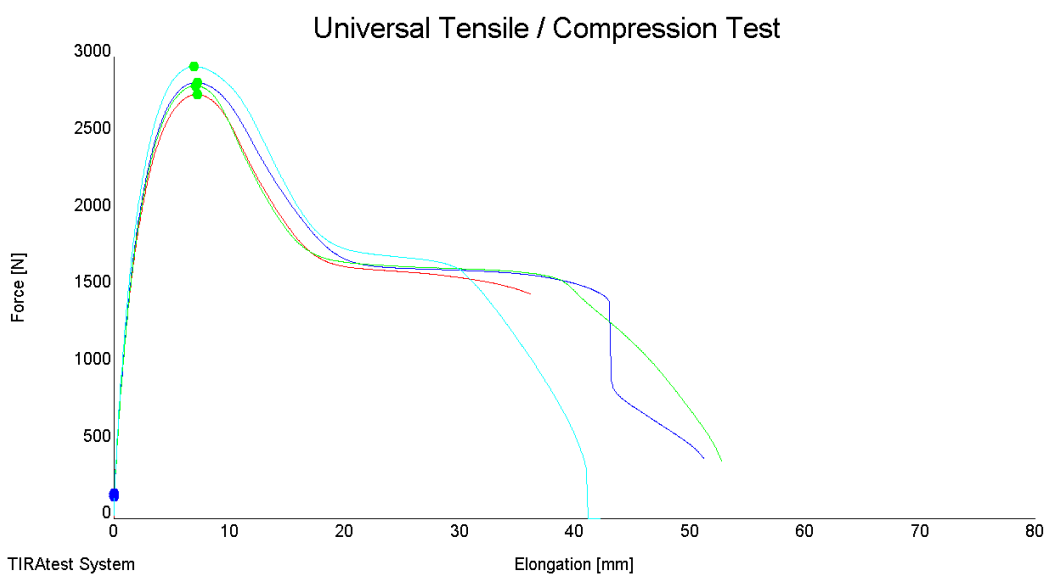


Näytesarja 3. Näytteet hitsauttu päin ilman viistouksia, mutta karhennettu. Huomioita kokeesta: Vain viimeinen hajosi odotetulla tavalla saumasta (musta), muut hajosivat muualta kuin sauman kohdalta. Ensimmäinen näyte (punainen) oli ohuempi kuin muut näytteet. Tässä kokeessa yllättävää oli vain yhden näytteen hajoaminen saumasta.



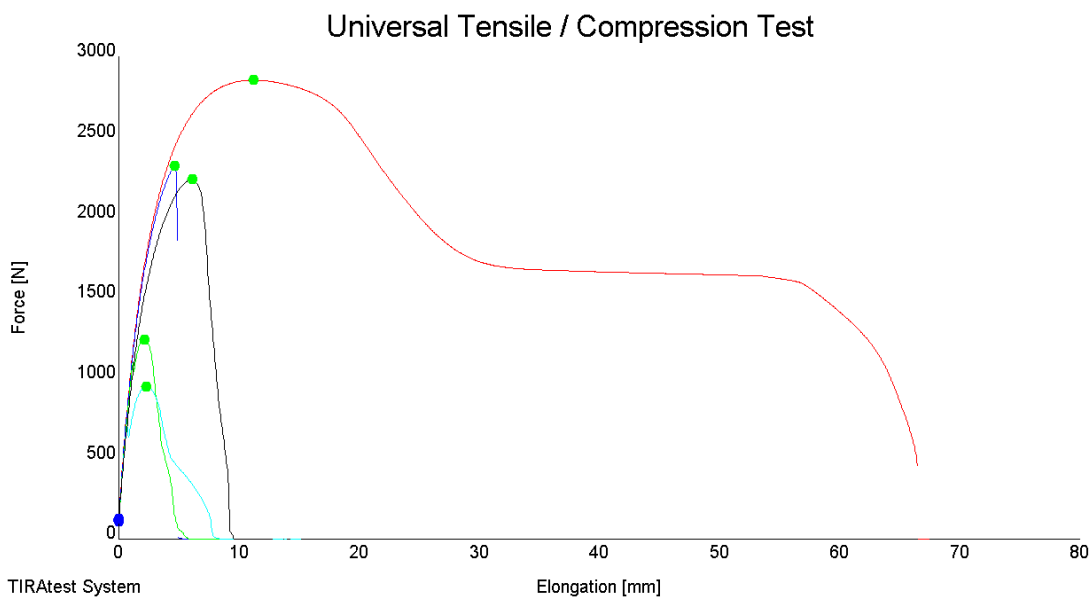
Näytesarja 4. Näytteet hitsattu osittain päällekkäin. Huomioita kokeesta:

Ensimmäisessä näytteessä kappale petti sauman kohdalla (kuvaaja puuttuu, kappale hajosi venyttyään 5mm 1000 Newtonin voimalla). Muissa näytteissä sauma kesti ja näyte hajosi muualta kuin sauman kohdalta. Koe osoitti hitsin laadun tärkeyden. Näytteet hitsattiin asianmukaisesti, mutta silti yksi näyte hajosi. Hajonnut näyte oli näytelevyn päädyistä, ja on oletettavaa, että tässä näytteessä karhennus oli jäänyt vahingossa puutteelliseksi, joka johti näytteen hajoamiseen.

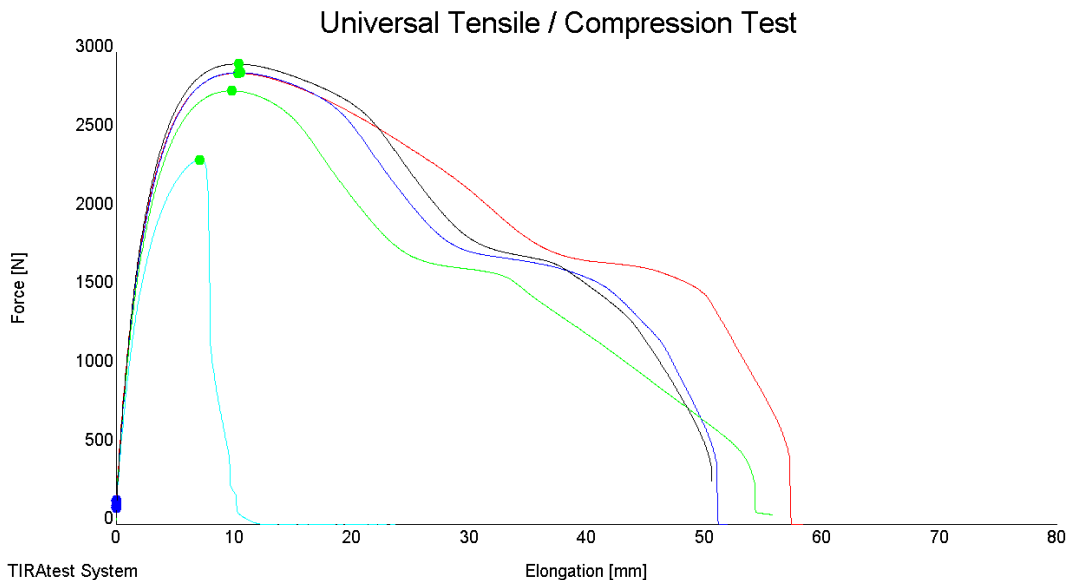


Näytesarja 5. Näytteessä huono hitsi, nopeasti hitsattu. Huomioita kokeesta:

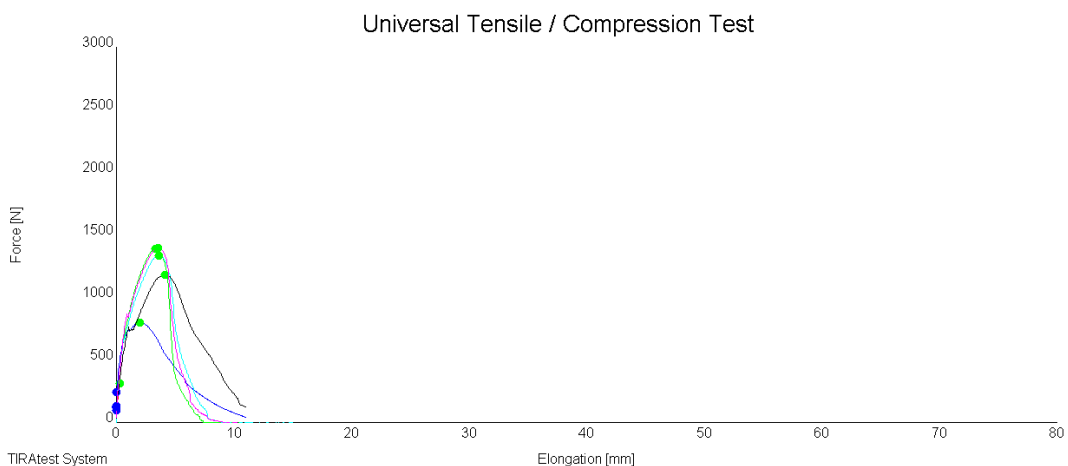
Ensimmäinen näyte ei hajonnut hitsisaumasta, muissa näytteissä hitsisauma hajosi.



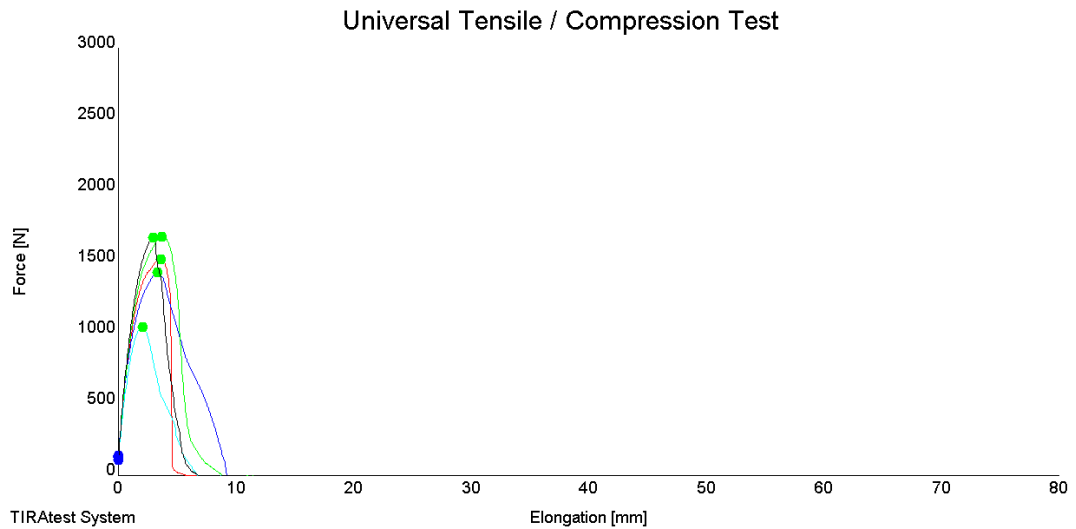
Näytesarja 6. Näytteissä huono hitsi, hitaasti hitsattu. Huomioita kokeesta: Yksi näyte hajosi keskeltä saumaa (turkoosi), muut näytteet hajosivat muualta kuin sauman kohdalta.



Näytesarja 7. Näytteissä huono hitsi vain toisella puolella, pinta on naarmutettu ja kappale jäähdytetty nopeasti kylmällä vedellä. Huomioita kokeesta: Kaikki näytteet hajosivat sauman kohdalta. Hajoaminen tapahtui pehmeästi venyen.

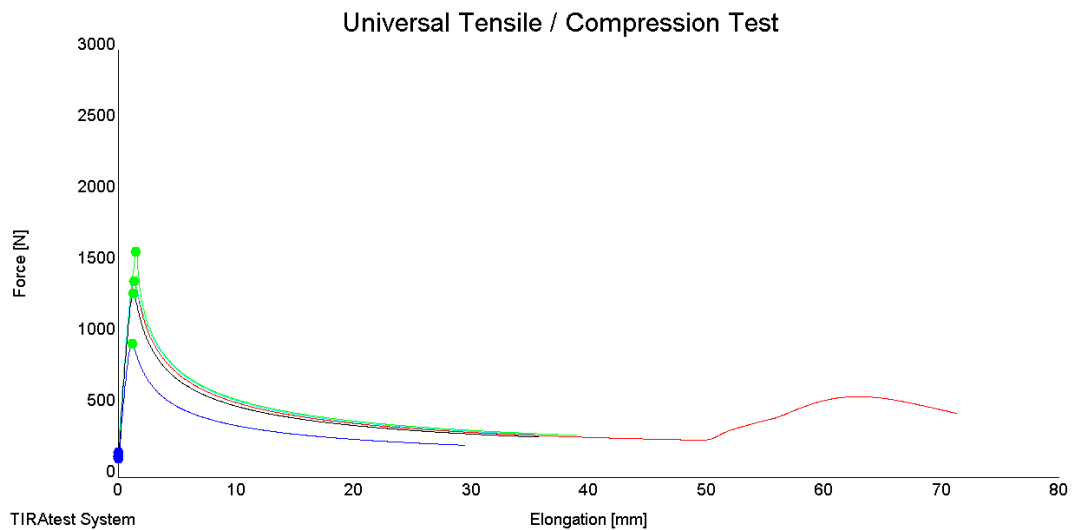


Näytesarja 8. Näytteissä huono hitsi vain toisella puolella, pinta on naarmutettu.
Huomioita kokeesta: Kaikki näytteet hajosivat sauman kohdalta. Hajoaminen tapahtui yllättäen napsahtamalla.

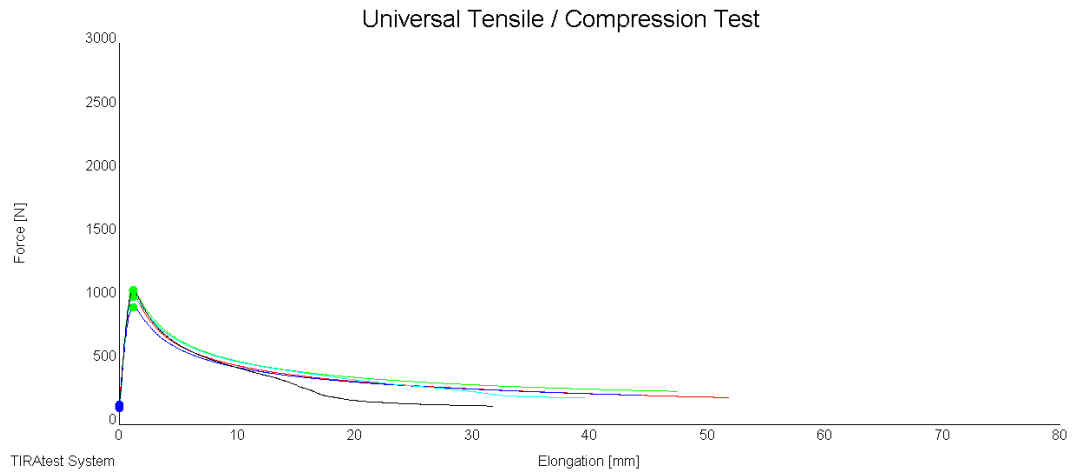


7.4.2 Puristuskoee

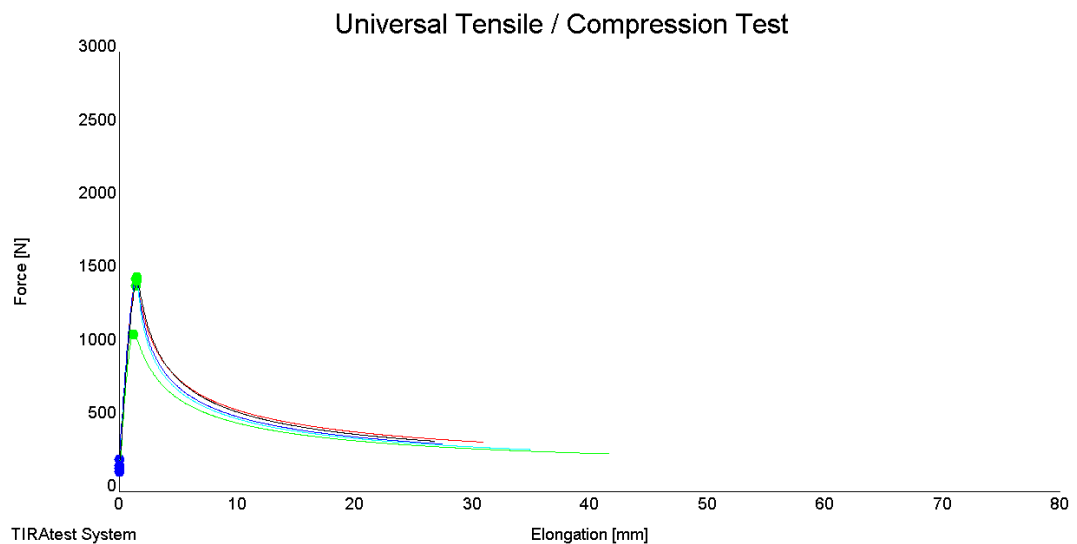
Näytesarja 1. Näytteissä normaali, hyvä, hitsi. Huomioita kokeessa: Mikään näytteistä ei taittunut sauman kohdalta. Hitsisaumassa ei tapahtunut näkyviä muutoksia.



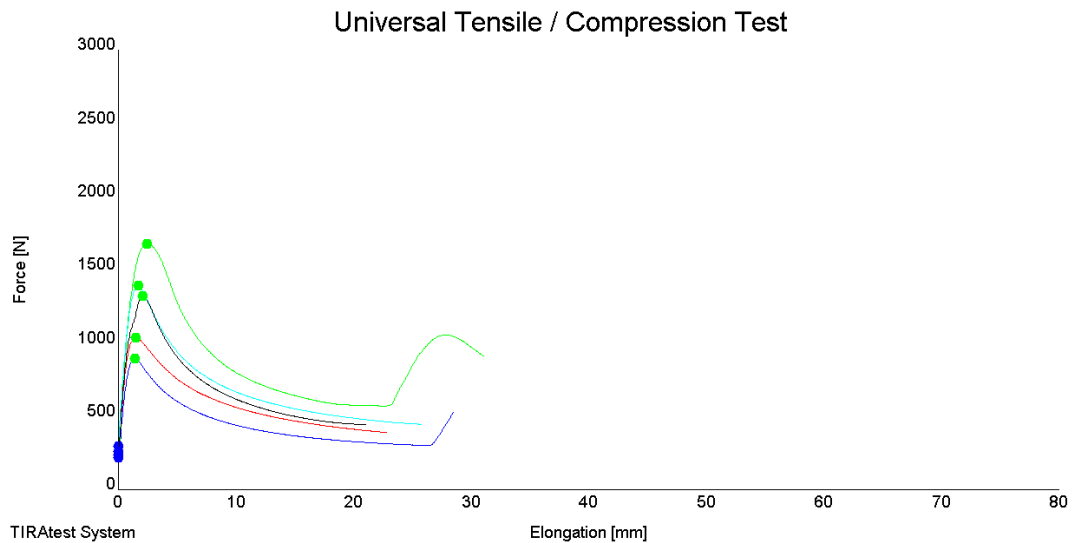
Näytesarja 2. Näytteissä huono hitsi, nopeasti tehty. Huomioita kokeesta: Kaikki näytteet hajosivat saumasta, hitsisauma alkoi aueta kappaleen taipuessa.



Näytesarja 3. Näytteissä huono hitsi, hitaasti tehty. Huomioita kokeesta: Näytteet eivät hajonneet tai taittuneet sauman kohdalta.



Näytesarja 4. Näytteet osittain päällekkäin hitsattu. Huomioita kokeesta: Näytteet eivät hajonneet tai taittuneet sauman kohdalta.



7.5 Yhteenveto kokeista ja niiden vaikutuksesta rakenteiden mitoittamiseen

Kokeiden tulokset olivat odotettuja ja todistivat samoja asioita, joita kyselyssä tuli esiin. Hyvin tehty hitsisauma ei heikennä rakennetta, eikä sitä tarvitse huomioida rakennelaskelmassa. Veto- ja puristustesteissä oikein valmistetut näytteet hajosivat muualta kuin saumasta ja materiaalin ominaisuudet ovat polyeteenilaadun datalehden mukaisia.

Vaikka osa huonosti hitsatuista näytekappaleista kesti sauman kohdalta, on silti selvää, että hitsisauman laadun merkitys on suuri ja huono hitsi saattaa olla rakenteelle katastrofaalinen. Kokeista voidaan havaita, että huono hitsisauma saattaa hyvällä tuurilla kestää kuten hyvä hitsisauma, ainakin paikoittain (liite 3).

Kokeet osoittivat, että hyvin tehty hitsi ei kestä, jos pohjatyö hitsille on huonosti tehty. Oikeanlaisen, kestäväen hitsisauman tekeminen vaatii huolellisen kappaleen valmistelun, viistoamisen ja karhentamisen.

8 YHTEENVETO

Työssä tehty rakennemitoituslaskelma on hyvä pohja polyeteeniveneen rakenteen mitoittamiselle. Vaadittava pohjanpaksuus saadaan laskelmasta helposti ja siihen voidaan lisätä haluttu kulutusvara. Rakennelaskelma antaa jäykisterakenteelle suuntaa antavat lähtökohdat, joiden pohjalta voidaan pohtia palkiston lommahduksen estoon vaadittavia ratkaisuita tai vaihtoehtoisesti nurjahduslaskelman avulla selvittää, kuinka paksu jäykiste ei ole vaarassa lommahtaa.

Hitsaussaumojen osalta todistettiin, että hyvin tehty hitsi ei heikennä rakennetta, eikä sitä tarvitse huomioida rakennelaskelmassa. Lisäksi myös todettiin huonon hitsin heikentävän rakennetta paikoittain erittäin paljon.

Työssä epävarmuustekijöiksi jäivät rakennelaskelmassa tehollisen laipan määrittäminen. Standardin laatijaryhmän määrittysteorioita ei päästy tässä työssä tutkimaan, mutta on mahdollista, että asiaa avataan standardin seuraavassa painoksessa. Asiaa voidaan päivittää laskelmaan, jollain saadaan lisävarmuutta jäykisterakenteiden kestolle.

Työn tavoitteet saavutettiin. Työn pohjalta voidaan tulevaisuudessa kehittää polyeteeniveneen rakenteenmitoittamista edelleen työn toimeksiantajan halutessa, nyt kun työlle on saatu hyvä pohja ja moniulotteinen tarkastelu.

LÄHTEET

1. Materiaaliopin laitos, Tampereen teknillinen yliopisto. 2005. Muovit. Saatavilla: http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_4.php. [Viitattu: 21.2.2015]
2. Valuatlas. 2014. Muovit, polyeteeni. Saatavilla: www.valuatlas.fi/tietokannat/docs/plastics_PE_FL.pdf. [Viitattu_21.2.2015]
3. Järvinen, J. 2012. Ekstruusiohitsauslaitteiston suunnittelu. Saatavilla: <https://www.theseus.fi/handle/10024/43518>. [Viitattu 15.3.2015]
4. Vienamo, T. & Nykänen, S. 2015. Valtamuovit. TALSS - University of Art and Design Helsinki. Saatavilla: www.muovimuotoilu.fi/content/view/32/63/. [Viitattu 15.3.2015]
5. Olley, H. R. 2002. The Story of Polythene. Saatavilla: <http://www.personal.rdg.ac.uk/~spsolley/pe.html>. [Viitattu 4.4.2015]
6. Todtenhagen, K. & Kurek, A. J & Aylward, B. 1999. Polyethylene. Term Project. Saatavilla: http://wwwcourses.sens.buffalo.edu/ce435/Polyethylene/ce435_intro.html. [Viitattu 5.4.2015]
7. Pioner Boats UK, 2011. Saatavilla: <http://www.pionerboats.co.uk/about-us.asp>. [Viitattu 15.3.2015]
8. Kurri, V. & Malen, T. & Sandell, R. & Virtanen, M. 1999. Muovitekniikan perusteet. Opetushallitus.
9. Muoviteollisuus ry. 2012. Paineputkijärjestelmät polyeteenistä. Muoviteollisuus ry. Painettu julkaisu. [Viitattu 30.4.2015]
10. SFS EN ISO 12215 Veneet. Rungon rakenne. Mitoitus. Osa 5: Yksirunkoisten veneiden mitoituspainet, mitoitusjännitykset, mitoituksen määrittely. 2008. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

11. Lankinen, J. 2010. Diplomityö, Puupohjaisten kuitukomposiittien materiaalitekniset mahdollisuudet veneteollisuudessa. Saatavilla:
<https://www.doria.fi/xmlui/bitstream/handle/10024/63180/nbnfi-fe201304193279.pdf?sequence=3>. [Viitattu 5.4.2015]

12. Merenkululaitos. 2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 94/25/EY. Painettu julkaisu. [Viitattu 26.3.2015]

13. Vink Finland. 2012. PE tekniset tiedot. Saatavilla:
http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pe/vink_pe_esite_a4_web.pdf. [Viitattu 12.4.2015]

Vetotestit



Kuva 1. Hyvä hitsi



Kuva 2. Hyvä hitsi, hajoaminen



Kuva 3. Hyvä hitsi, hajonneet näytteet



Kuva 4. Päin hitsatut näytteet ilman karhennuksia



Kuva 5. Päin hitsatut näytteet ilman karhennuksia



Kuva 6. Päin hitsatut näytteet ilman karhennuksia



Kuva 7. Päin hitsatut näytteet ilman karhennuksia



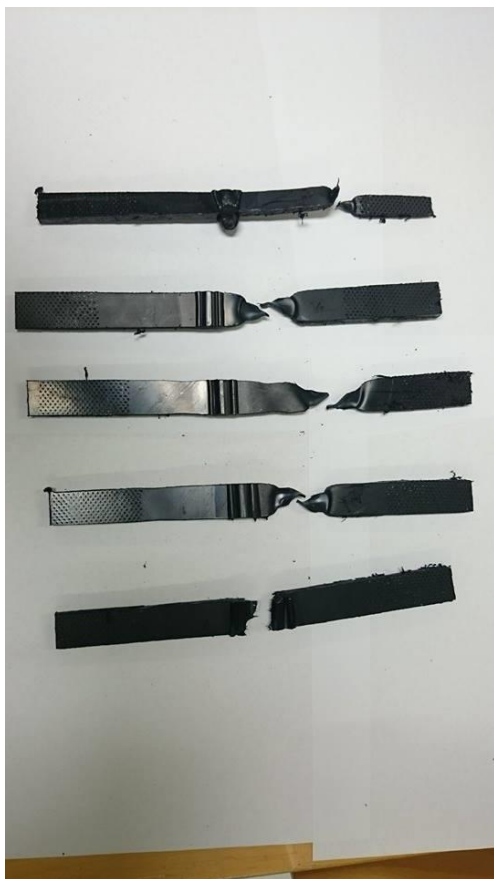
Kuva 8. Päin hitsatut näytteet ilman karhennuksia



Kuva 9. Pään hitsatut näytteet karhennuksien kanssa



Kuva 10. Pään hitsatut näytteet karhennuksien kanssa



Kuva 11. Pään hitsatut näytteet karhennuksien kanssa



Kuva 12. Päällekkäin hitsatut näytteet



Kuva 13. Päälekkäin hitsatut näytteet



Kuva 14. Päälekkäin hitsatut näytteet



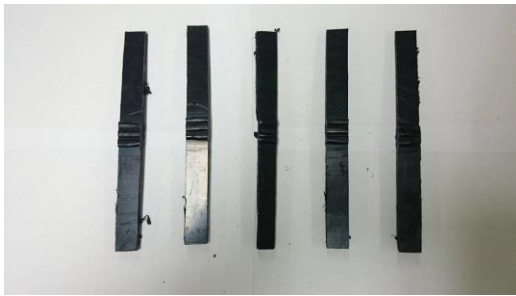
Kuva 15. Huonosti hitsattu näyte, liian nopea hitsaus



Kuva 16. Huonosti hitsattu näyte, liian nopea hitsaus



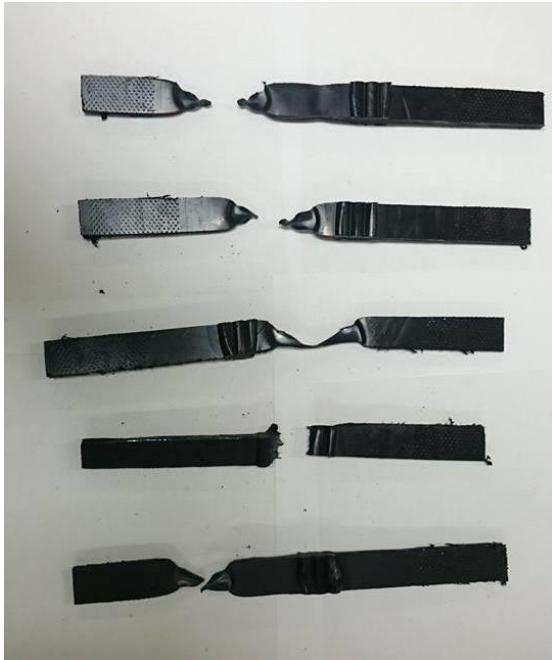
Kuva 17. Huonosti hitsattu näyte, liian nopea hitsaus



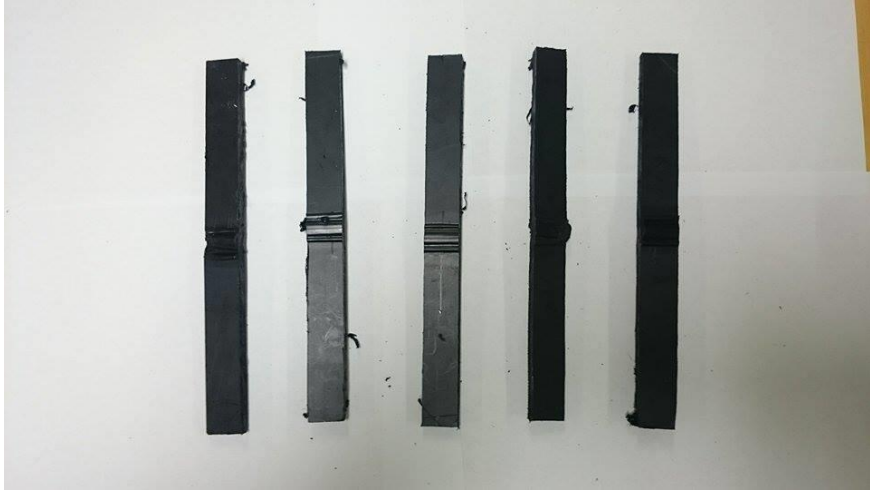
Kuva 18. Huonosti hitsattu näyte, liian hidas hitsaus



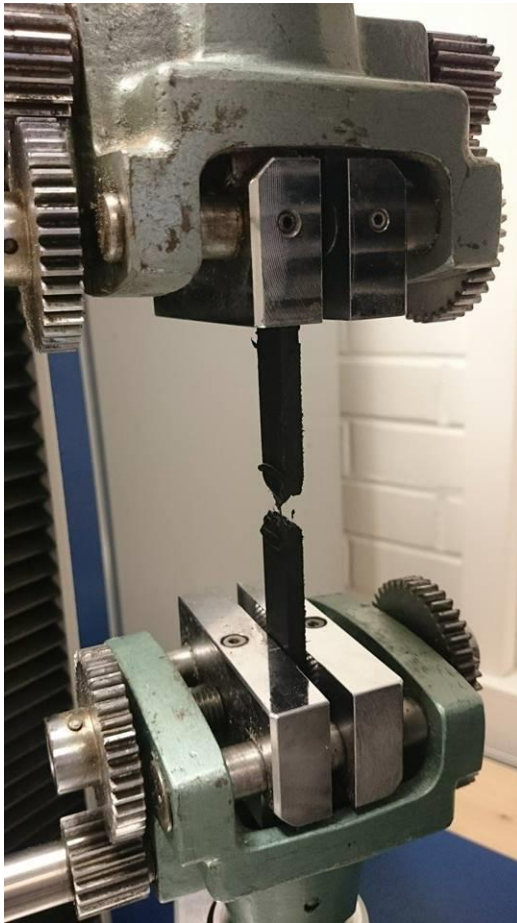
Kuva 19. Huonosti hitsattu näyte, liian hidas hitsaus



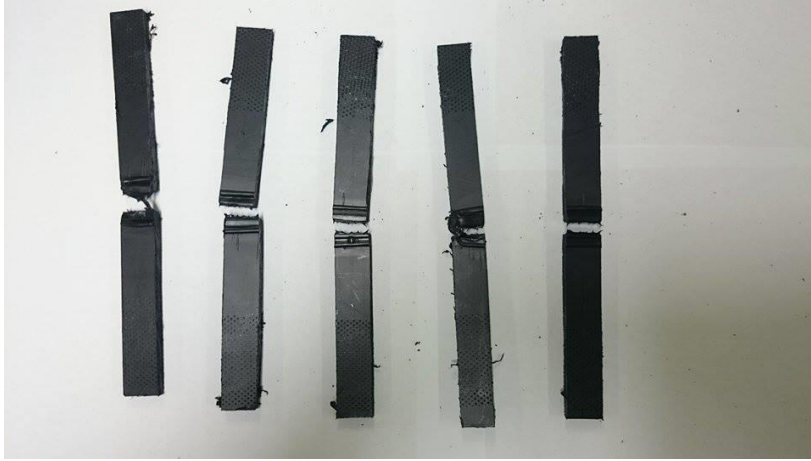
Kuva 20. Huonosti hitsattu näyte, liian hidas hitsaus



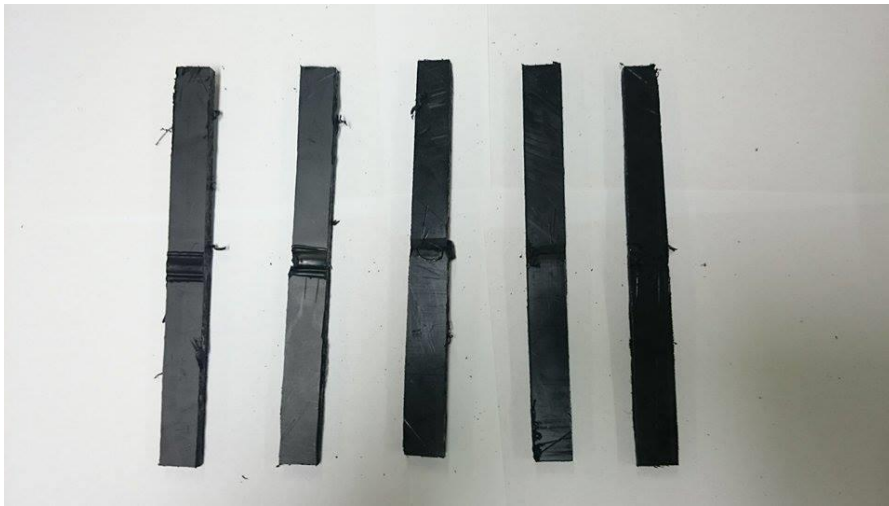
Kuva 21. Huonosti hitsattu näyte, hitsi toisella puolella, jäädytetty vedellä



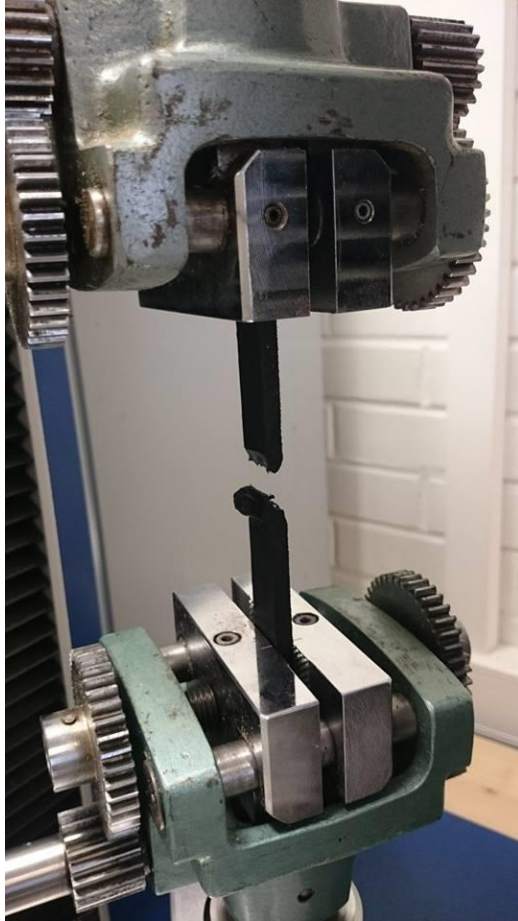
Kuva 22. Huonosti hitsattu näyte, hitsi toisella puolella, jäädytetty vedellä



Kuva 23. Huonosti hitsattu näyte, hitsi toisella puolella, jäädytetty vedellä



Kuva 24. Huonosti hitsattu näyte, hitsi toisella puolella, naarmuja

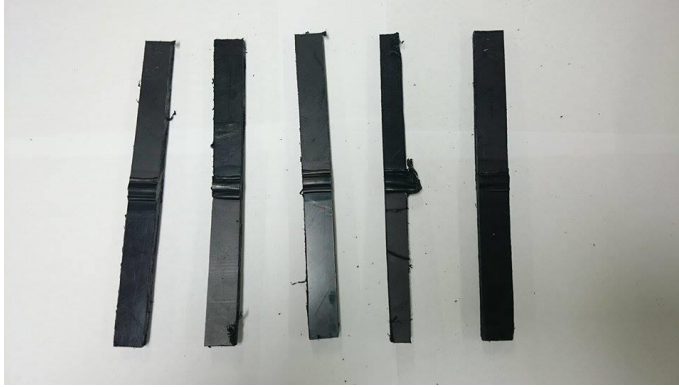


Kuva 25. Huonosti hitsattu näyte, hitsi toisella puolella, naarmuja

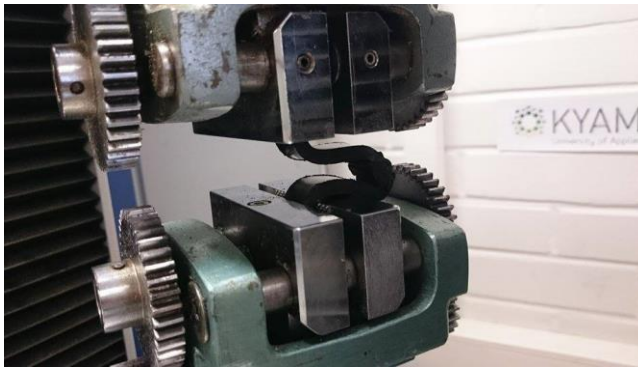


Kuva 26. Huonosti hitsattu näyte, hitsi toisella puolella, naarmuja

Puristustestit:



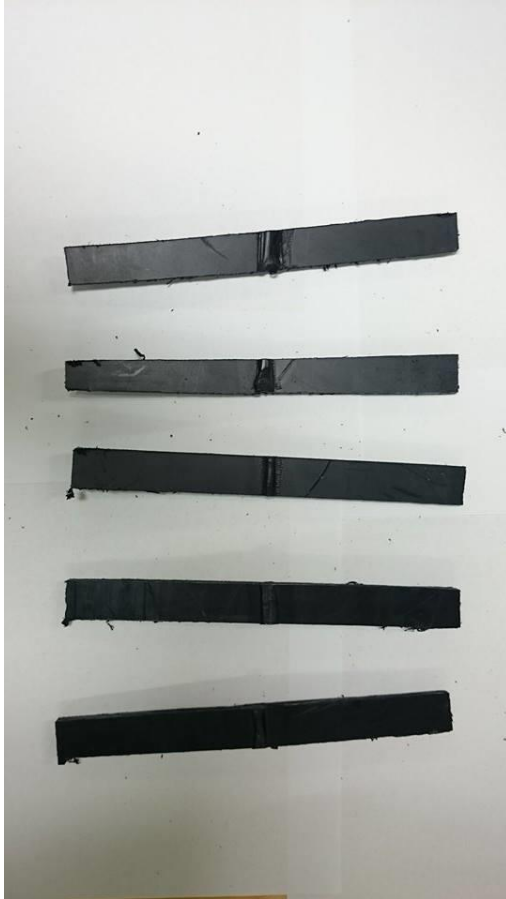
Kuva 27. Hyvin hitsattu näyte



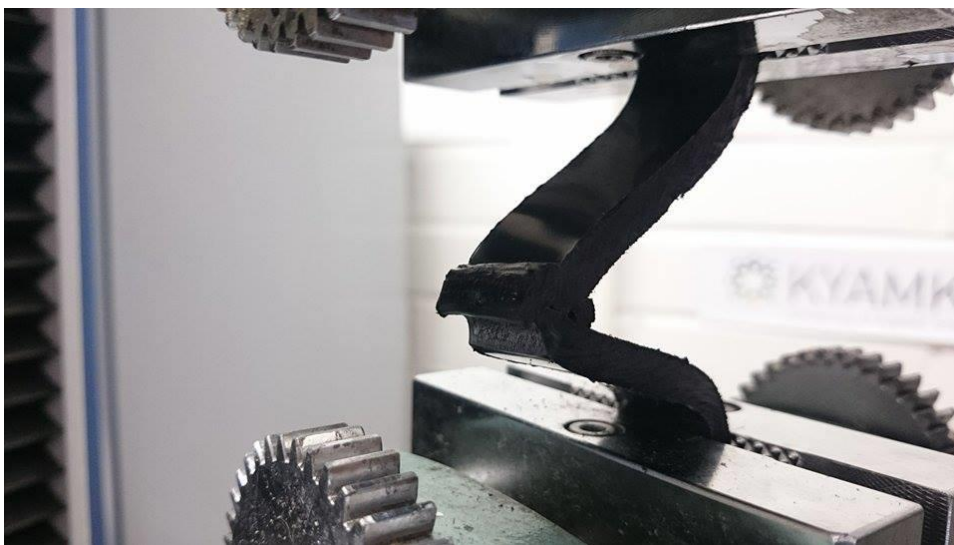
Kuva 28. Hyvin hitsattu näyte



Kuva 29. Hyvin hitsattu näyte



Kuva 30. Huonosti hitsattu näyte, liian nopea hitsaus



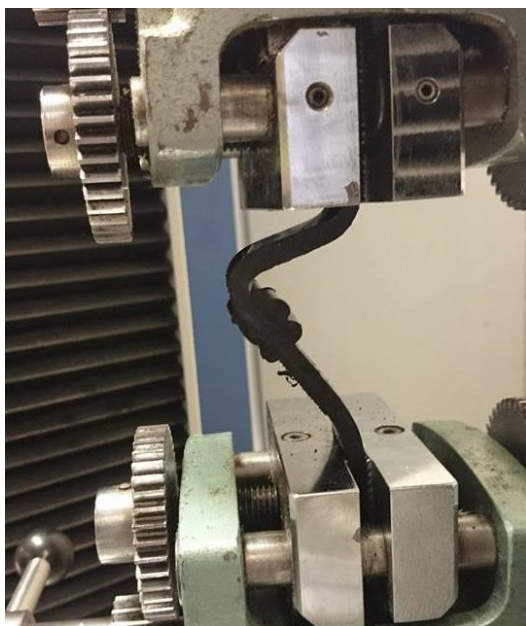
Kuva 31. Huonosti hitsattu näyte, liian nopea hitsaus



Kuva 32. Huonosti hitsattu näyte, liian nopea hitsaus



Kuva 33. Huonosti hitsattu näyte, liian hidas hitsaus



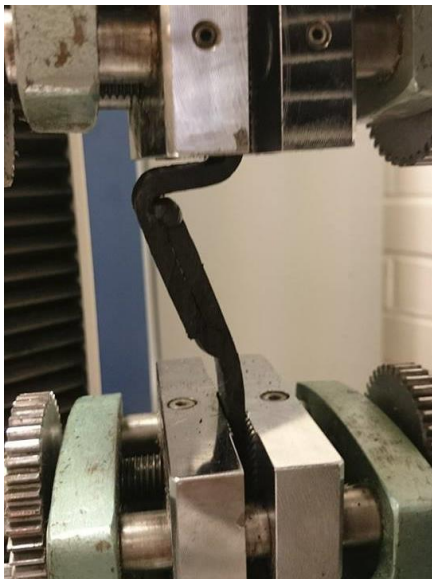
Kuva 34. Huonosti hitsattu näyte, liian hidas hitsaus



Kuva 35. Huonosti hitsattu näyte, liian hidas hitsaus



Kuva 36. Pällekkäin hitsattu näyte



Kuva 37. Pällekkäin hitsattu näyte



Kuva 38. Päälekkäin hitsattu näyte