

Mika Happonen

RIB - VENEEN JÄYKISTERAKENTEEN OPTI- MOINTI

Opinnäytetyö
Veneteknologia

2019



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Mika Happonen	Insinööri	Marraskuu 2019
Opinnäytetyön nimi		17 sivua
RIB - veneen jäykisterakenteen optimointi		15 liitesivua
Toimeksiantaja		
Boomeranger Boats oy		
Ohjaaja		
Terho Halme		
Tiivistelmä		
<p>Työn tavoitteena oli kehittää jäykistejärjestelmä, joka hyödyntää uusia materiaaleja ja valmistusmenetelmiä. Tämä mahdollistaisi korkeammat suorituskykyarvot ja olisi helposti sovellettavissa eri malleihin.</p> <p>Mitoitussääntöinä työssä käytettiin ISO 12215-5 standardia ja VTT:n Ammattiveneohjeistoa. Koska tutkittavat jäykisteet olivat osin tavanomaisista rakenteista poikkeavia, ei niiden mitoitusta käsitellä mitoitussäännöissä tyhjentävästi. Tutkitun rakenteen soveltaminen vaati kokonaisuuden globaalin ja rakenteiden yksityiskohtien tarkemman tarkastelun.</p> <p>Työn tuloksena tiedetään kotelopalkki rakenteella olevan saavutettavissa mitoitus säännön mukainen alkuperäistä kevyempi runkorakenne.</p> --		
Asiasanat		
RIB-vene, kotelopalkki, rakenneanalyysi		

Author (authors)	Degree	Time
Mika Happonen	Bachelor of engineering	November 2019
Thesis title Longitudinal structure optimisation for rigid inflatable boat		17 pages 15 pages of appendices
Commissioned by Boomeranger Boats oy		
Supervisor Terho Halme		
Abstract <p>The objective of this thesis was to engineer a longitudinal boat structure system with modern, up-to-date materials and production methods, the ultimate aim being improved boat performance.</p> <p>In order to achieve this objective, the boat parameters were entered in the ISO 12215-5 scantling standard to calculate design loads for the structural components. Guidelines for Commercial Craft provided by VTT were also consulted. As some parts of the suggested structural arrangements were not covered fully in the scantling rules, further study is required to verify the applicability of the considered structure.</p> <p>As a result of the thesis, it can be concluded that the sandwich box beam structure can be built according to scantling standards, and a hull structure lighter than the original can be achieved.</p> <p>---</p>		
Keywords workboat, GRP, beam structure		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	RIB-VENE	5
3	RAKENNESUUNNITTELU	5
3.1	Yleistä työveneistä	6
3.2	Suunnittelua ohjaava säännöstö	6
3.3	Materiaalitekniikka.....	7
3.4	Valmistustekniikka.....	8
3.4.1	Käsin laminointi	8
3.4.2	Alipaineinfuusio	8
3.5	Laskentamenetelmän perusteet	9
3.5.1	Parametrit ja kertoimet	9
3.5.2	Mitoituspainet	10
3.5.3	Pohjapaneelin mitoitus	13
3.5.4	Palkisto.....	14
3.5.5	Kotelopalkin uuman lommahdus	14
4	KOTELOPALKIN MITOITUS.....	15
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	15
6	JATKOTOIMENPITEET	16
7	LÄHDELUETTELO.....	17

LIITTEET

Liite 1. MITOITUSPARAMETRIT

Liite 2. PANEELIN JA JÄYKISTEEN MITAT

Liite 3. POHJAPANEELIN LAMINAATTIKERROS ANALYYSI

Liite 4. KOTELOPALKIN JÄYKISTE ANALYYSI

Liite 5. UUMAPANEELIN LAMINAATTIKERROS ANALYYSI

Liite 6. UUMAPANEELIN LOMMAHDUS JA PURISTUS

Liite 7. PAINOANALYYSI

1 JOHDANTO

Työn lähtökohtana on Boomeranger Boats oy:n tarve kehittää tuotteidensa suorituskykyä. Tässä työssä tutkitaan kevyempiä vaihtoehtoja käytössä olevalle jäykistejärjestelmälle. Veneen lujuuden ja jäykkyyden perustuessa runko-, kansi- ja jäykistekomponentteihin, niiden geometriaan, materiaaleihin, liitoksiin ja valmistustekniikkaan on jäykistejärjestelmän tutkiminen kokonaisuutena moniulotteinen tehtävä. Järjestelmien vertailu suoritetaan konseptitasolla ja siinä käsitellään pääasiassa veneen pääpoikkileikkausta, jossa mitoituspaanit ovat suurimmat. Vertailuun on valittu neljä erilaista järjestelmää. Ne mitoitetaan työvenesäännön ja standardin 12215-5 mukaisiksi ja arvioidaan jäykistejärjestelmien painoa, työ- ja materiaalikustannuksia sekä saavutettava lisäarvoa suhteessa nykyiseen rakennejärjestelmään. Järjestelmiä käsitellään konseptitasolla.

2 RIB-VENE

RIB-veneellä tarkoitetaan ilmatäytteisten kumiveneiden pohjalta 60-luvulla kehitettyjä venemallia, jossa jäykkää runkoa kiertää partaalla ilmatäyteinen ponttoni. (Pike 2013.)

Jotta vene voidaan arvioida RIB-veneeksi ammattivene ohjeiston mukaisesti, tulee veneen ponttonin tilavuus olla suurempi kuin $0,665 \times m_{LDC}$ ja kellukkeiden (ponttonit, ilmatankit, vaahtokellukeet ja kiinteät rakenteet) yhteenlaskettilavuus olla vähintään $1,33 \times m_{LDC}$. (VTT Expert Services OY 2016, 45.)

3 RAKENNESUUNNITTELU

Rakennesuunnittelun lähtökohtina toimivat veneelle asetetut suorituskykyvaatimet ja toimintaympäristö.

Veneen tilaaja määrittää veneeltä vaadittavat suorituskykyarvot, esimerkiksi nopeus eri kuormilla, kuormankantokyky, toimintasäde ja mahdolliset erikoistehtävät.

Toimintaympäristö

Veneen toimintaympäristö määrää veneelle suunnitteluluokan, luokkia on neljä: A,B,C ja D

A luokkaan suunnitellun veneen katsotaan pystyvän toimimaan 10 boforin tuulissa, ja vastaavassa aallokossa sekä selviytymään huonommissa olosuhteissa.

Tällaisia olosuhteita voidaan olettaa kohdattavan esimerkiksi valtamerten ylityksillä ja rannikolla tuulen puhaltaessa esteettömästi satoja merimaileja. Tuulennopeus puuskissa 28 m/s.

B luokkaan suunnitellun veneen katsotaan pystyvän toimimaan 4 metriä korkeassa aallokossa ja 8 boforin tuulissa. Tällaisia olosuhteita kohdataan avomerellä ja rannikolla tuulten päästessä puhaltamaan esteettä. Tuulennopeus puuskissa 21 m/s.

C luokkaan suunnitellun veneen katsotaan olevan tarkoitettu maksimissaan 2 metrin aallonkorkeus ja 14 m/s tuulennopeus olosuhteisiin.

D luokan vene on suunniteltu 0,3 metrin merkitsevään aallonkorkeuteen, yksittäiset aallot 0,5 metriä. Hallitseva tuuli keskimäärin 4 Boforia, tuulennopeus puuskissa 13 m/s. (VTT Expert Services OY 2016, 15-16.)

3.1 Yleistä työveneistä

Työveneiden suunnittelussa ulkonäköä ja muotoilua tärkeämpiä ovat tehtävät, joiden suorittamiseen vene on tarkoitettu. Työturvallisuus sanelee ja asettaa monia vaatimuksia veneelle ja sen varustelulle. Rakenteiden ja varusteiden tulee olla sen kaltaisia, että niihin voidaan luottaa ja ne eivät häiritse tehtävän suorittamista. (Pike 2013, 166-174.)

3.2 Suunnittelua ohjaava säännöstö

Ammattiveneohjeisto on luotu määrittelemään riittävä turvallisuuden ja ympäristöystävällisyyden taso pienten (5,5-24m) ammattiveneiden suunnittelua ja rakentamista varten. Ohjeiston on kehittänyt Pohjoismaisen venenormiston

(NBS-Y 1990) ja kansainvälisten ISO standardien pohjalta VTT Expert Services Oy, ja sitä käytetään ensisijaisesti pienten ammattialusten arviointi viranomaishyväksyntää varten. (VTT Expert Services OY 2016.)

Ammattiveneohjeisto toimii suunnittelun perustana, tilaajalla on usein omat vaatimuksensa veneelle, sen varustukselle ja toiminnallisuudelle. Nämä sisältävät ja edellyttävät usein erilaisten sääntöjen noudattamista ja luokitusten hankkimista.

3.3 Materiaalitekniikka

Materiaalitekniikka tutkii materiaaleja, niiden valmistusta ominaisuuksia ja sovelluksia.

Suunniteltaessa kuormia kantavaa komposiittirakennetta erilaisten materiaalien laajankirjon vuoksi on materiaalitekniikan konseptien ymmärtäminen oleellista, lujitemuovituotteissa käytettävät materiaalit voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

1. Lujitteet
2. Matriisit
3. Ydinaineet

Lujitteet

Laminaatin optimoinnissa on kiinnitettävä huomiota myös materiaalien ja tuotteiden yhteensopivuuteen.

Lujitemuoviveneissä käytetään lujitteena useimmiten lasikuitua sen hinnan, lujuuden ja hyvän työstettävyyden vuoksi, lentokoneteollisuuden luottaessa hiilikuituun korkeampien lujuusarvojen tähden.

Venetuotannossa hiili, aramidi ja muiden eksoottisempien lujitteiden käyttö rajoittuu projekteihin, joissa tavoitellaan korkeinta suorituskykyä.

Matriisit

Matriisit ovat kemianteollisuuden tuotteita joita kehitetään jatkuvasti lisää eri sovelluksiin. Veneteollisuudessa käytetään pääosin polyesteri hartseja, vinyliesterien käytön yleistyessä. Epokseja käytetään ainoastaan rakenteellisesti vaativissa, suurta suorituskykyä edellyttävissä projekteissa.

Hartsin ominaisuuksiin vaikuttavat sen kemiallinen koostumus, lisäaineet, kiihdyttimet ja olosuhteet kovettumisen aikana, näin ollen kovettuneen hartsin lujuusominaisuudet osana laminaattia ovat ongelmallisia, tästä johtuen koelaminaattien teko on tärkeää, jotta voidaan varmistua materiaalien yhteensopivuudesta myös tuotantoympäristöön.

Ydinaineet

Ydinaineet muodostavat pohjan kerroslevyrakenteille, joilla voidaan saavuutta selkeitä etuja lujitemuoviveneiden valmistuksessa. Ytimenä voidaan käyttää mitä tahansa materiaalia, joka pystyy pitämään pintalaminaatit erossa toisistaan ja välittämään leikkausvoimat lävitseen. Yleisesti käytössä olevia ydinaineita ovat luonnonmateriaaleista mm. korkki, balsa ja vaneri, synteettisiin vaahto ja hunajakkeno rakenteisiin. Käytetyn ydinaineen lujuusarvot sanelevat pitkälti kerroslevyn dynaamisen luonteen. (Greene 1999, 62-74.)

3.4 Valmistustekniikka

Työssä käsiteltävien rakenteiden valmistustekniikat ovat olleet toimeksiantajalla tuotanto käytössä jo pitkään, aikaisemmin käsin laminoituja rakenteita korvataan alipaineinfuusiolla valmistettavilla muottikappaleilla tuotantotilanteen salliessa.

3.4.1 Käsin laminointi

Perinteinen komposiitti tuotteiden valmistustekniikka, jossa lasikuitulujitteet laminoidaan avoimeen muottiin poly- tai vinyliesterihartsilla.

3.4.2 Alipaineinfuusio

Menetelmällä saavutetaan korkeampi lujitepitoisuus, vähäiset VOC päästöt ja nopea laminoititapahtuma.

Alipaineinjektiossa lujitteet asetellaan kuivana muottiin. Lujitteiden päälle rakennetaan alipainesäkki, joka koostuu harsia ja ilmaa kuljettavista kerroksista ja putkistoista. Säkki tiivistetään muotin laippoihin erityisellä teipillä, tiivistystä varten muotin laippojen on myös oltava tavanomaista leveämmät.

3.5 Laskentamenetelmän perusteet

Työssä käytetyt laskentataulukot perustuvat standardissa esiteltyihin mitoitusmenetelmiin, rakenteen poiketessa standardin määritelmistä on rakenteen riittävän lujuuden varmistamiseksi luotu sovellettu menetelmä.

3.5.1 Parametrit ja kertoimet

Rakenteiden mitoitus aloitetaan ISO 12215-5 (2008) mukaisella veneen parametrien määrittelyllä. Laskentaa varten on määritettävä seuraavat parametrit:

Parametrit	Yksikkö	Symboli	Viite
Kuormattu uppouma	kg	m_{LDC}	3.2
Runkopituus	m	L_H	6.1
Vesilinjapituus	m	L_{WL}	6.1
Runkoleveys	m	B_H	ISO 8666
Palle leveys	m	B_C	6.1
Varalaita	m	Z	7.6
Laitakorkeus	m	H_S	7.6
Pohjan v-kulma	deg	$\beta_{0,4}$	6.1, 7,3
Suurin nopeus	kn	V_{max}	6,1
Suunnittelukategoria kerroin	-	K_{DC}	7.2
Suunnittelunopeus (kuormalla m_{LDC})	kn	V	6.1

Laskennassa käytettävät kertoimet ja muuttujat:

Muuttujat	Yksikkö	Symboli	Viite
Pohjanmitoituspaine	kN/m^2	P_{BM}	
Pohjanmitoituspaine, uppouma	kN/m^2	P_{BMD}	8.1.2
Pohjanmitoituspaine, uppouma, peruspaine	kN/m^2	$P_{BMD\ BASE}$	8.1.2
Pohjanmitoituspaine, uppouma, minimi	kN/m^2	$P_{BM\ MIN}$	8.1.2
Pohjanmitoituspaine, liuku	kN/m^2	P_{BMP}	8.1.3
Pohjanmitoituspaine, liuku, peruspaine	kN/m^2	$P_{BMP\ BASE}$	8.1.3
Pohjanmitoituspaine, liuku, minimi	kN/m^2	$P_{BM\ MIN}$	8.1.2
Moottoriveneen laitapaine	kN/m^2	P_{SM}	
Moottoriveneen laitapaine, uppouma	kN/m^2	P_{SMD}	8.1.3
Moottoriveneen kansipaine, peruspaine	kN/m^2	$P_{DM\ BASE}$	8.1.6

Moottoriveneen laitapaine, minimi	kN/m^2	$P_{SM MIN}$	8.1.4
Moottoriveneen laitapaine, liuku	kN/m^2	P_{SMP}	8.1.5
Pinta-alan paineen alentamiskerroin	-	K_{AR}	7.5
Rakennesosan ja venetyypin kerroin	-	K_R	7.5
Mitoituspinta-ala	m^2	A_D	7.5.1
Paneelin tai jäykisteen keskikohdan etäisyys LWL:n peräpäästä	m	x	7.4
Paneelin pidempi reuna	mm	l	9.1.2
Paneelin lyhyempi reuna	mm	b	9.2, 10
Jäykisteen vapaa pituus	mm	l_u	9.2.2
Jäykisteiden väli	mm	s	9.2.1
Paneelin kaarevuuskorjauskerroin	-	k_C	10.1.3

3.5.2 Mitoituspaineet

ISO 12215-5 (2008) standardissa veneen osien mitoittamiseen käytetään veneen parametrien perusteella määritettäviä mitoituspaineita.

Yksittäisten osien mitoitusta varten on määritettävä veneen suunnitteluluokka, k_{DC} ja kyseessä olevan osan pinta-alakerroin, k_{AR} ja pitkittäisen painejakauman kerroin k_L .

Suunnitteluluokka kerroin, k_{DC}

Suunnitteluluokka	A	B	C	D
k_{DC}	1	0,8	0,6	0,4

Pinta-ala kerroin, k_{AR}

Vähimmäisarvot

$$k_{AR} = \frac{K_R * 0,1 * m_{LDC}^{0,15}}{A_D^{0,3}}$$

$$k_R = 1,0$$

Liukuvien moottoriveneiden pohjan, laidan ja kannen paneeleille ja jäykisteille veneen kulkiessa liu'ussa.

$$k_R = 1,5 - 3 * 10^{-4} * b$$

Purjeveneiden, uppouma moottoriveneiden ja uppouma nopeudella kulkevien liukuvien moottoriveneiden pohjan, kyljen ja kannen paneeleille.

$$k_R = 1 - 2 * 10^{-4} * l_U$$

Purjeveneiden, uppouma moottoriveneiden ja uppouma kulkumuodossa kulkevien liukuvien moottoriveneiden pohjan, kyljen ja kannen jäykisteille.

Mitoituspinta-ala, A_D

$$A_D = (l * b) * 10^{-6}$$

Paneeleille, mutta ei $> 2,5 * b^2 * 10^{-6}$

$$A_D = (l_u * s) * 10^{-6}$$

Jäykisteille, mutta ei $< 0,33 * l_u^2 * 10^{-6}$

Pitkittäinen painejakauma kerroin, k_L

$$k_L = \frac{1 - 0,167 * n_{CG}}{0,6} * \frac{x}{L_{WL}} + 0,167 * n_{CG}$$

x = etäisyys vesilinjan perästä paneelin tai jäykisteen keskelle.

Kertoimen k_L maksimi arvo on 1.

Moottoriveneen pohjanpaine (kPa)

Laskentataulukossa pohjanmitoituspaine (P_{BM}) määritetään ISO 12215-5 (2008) standardin mukaisesti valitsemalla kaavoista P_{BMD} ja P_{BMP} suuremman arvon saava mitoittavaksi.

Uppoumatilan pohjapaineen P_{BMD} , arvon määrää kaavoista $P_{BMD\ BASE}$ ja $P_{BM\ MIN}$ suuremman arvon saava.

$$P_{BMD} = \max(P_{BMD\ BASE} * k_{AR} * k_{dc} * k_l; P_{bm\ min})$$

$$P_{BM\ MIN} = 0,45 * \sqrt[3]{m_{LDC}} + (0,9 * L_{WL} * K_{DC}$$

$$P_{BMD\ BASE} = 2,4 * m_{LDC}^{0,33} + 20$$

Liukutilan pohjapaineen P_{BMP} , arvon määrää kaavoista $P_{BMP\ BASE}$ ja $P_{BM\ MIN}$ suuremman arvon saava.

$$P_{BMP} = \max(P_{BMP\ BASE} * k_{AR} * k_L; P_{BM\ MIN})$$

$$P_{BM\ MIN} = 0,45 * \sqrt[3]{m_{LDC}} + (0,9 * L_{WL} * K_{DC})$$

$$P_{BMP\ BASE} = (0,1 * m_{LDC}) / (l_{WL} * B_C) * (1 + \sqrt{k_{DC}} * n_{CG})$$

Moottoriveneen laitapaine (kPa)

Laskentataulukossa laidanmitoituspaine (P_{SM}) määritetään ISO 12215-5 (2008) standardin mukaisesti valitsemalla kaavoista P_{SMD} ja P_{SMP} suuremman arvon saava mitoittavaksi.

Uppoumatilan laitapaineen P_{SMD} , arvon määrää kaavoista $P_{SMD\ BASE}$ ja $P_{SM\ MIN}$ suuremman arvon saava.

$$P_{SMD} = \max([P_{DM\ BASE} + k_Z * (P_{BMD\ BASE} - P_{DM\ BASE})] * k_{AR} * K_{DC} * k_L; P_{SM\ MIN})$$

$$P_{DM\ BASE} = 0,35 * L_{WL} + 14,6$$

$$P_{SM\ MIN} = 0,9 * L_{WL} * k_{DC}$$

Liukutilan laitapaineen P_{SMP} , arvon määrää kaavoista $P_{SMP\ BASW}$ ja $P_{SM\ MIN}$ suuremman arvon saava.

$$P_{SMP} = \max([P_{DM\ BASE} + k_Z * (0,25 * P_{BMP\ BASE} - P_{DM\ BASE})] * k_{AR} * K_{DC} * k_L; P_{SM\ MIN})$$

$$P_{DM\ BASE} = 0,35 * L_{WL} + 14,6$$

$$P_{SM\ MIN} = 0,9 * L_{WL} * k_{DC}$$

Moottoriveneen jäykistepaine (kPa)

Standardissa ISO 12215-5 (2008) jäykisteen mitoituspaine lasketaan samalla kaavalla jäykistettävän paneelin paine, vain pinta-alan paineen alentamiskertoimen, k_{AR} muuttujien k_R ja A_D laskenta muuttuu.

3.5.3 Pohjapaneelin mitoitus

Standardissa ISO 12215-5 (2008) paneelin laminaatin ollessa isotrooppista käytetään mitoitukseen laminaatin lujitepitoisuusteen pohjaavaa kaavaa, jolla lasketaan tarvittava laminaattipaksuus, josta lasketaan tarvittava lujitemassa.

Laminaatin vähimmäis- paksuus:

$$t = b * k_c * \sqrt{\frac{P * k_2}{1000 * \sigma_D}} \text{ mm}$$

Lujitteen vähimmäis- paino:

$$w = \frac{t}{\frac{1}{3,072} * \left(\frac{2,56}{\psi} - 1,36\right)}$$

Kaarevien paneelien korjauskerroin, k_c

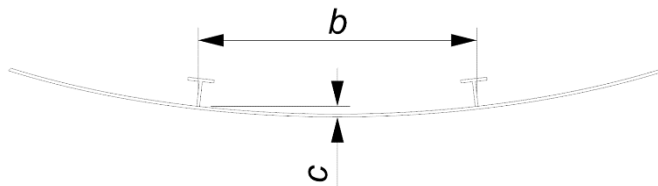


Figure 1 Kuperan kaarevuuden mittaus

c/b	k_c
0 ... 0,3	1
0,03 ... 0,18	$1,1 - \frac{3,33 * c}{b}$
>0,18	0,5

Paneelin sivusuhte kerroin K_2 ,

raja-arvot $0,308 < K_2 < 0,5$

$$k_2 = \frac{0,271 * \left(\frac{l}{b}\right)^2 + 0,910 * \left(\frac{l}{b}\right) - 0,554}{(l/b)^2 - 0,313 * \left(\frac{l}{b}\right) + 1,351}$$

Käytettäessä suunnattuja kuituja ja ydinaineita on hyödyllistä käyttää standardissa ISO 12215-5 (2008) liitteen H. tarkempaa laskentaa, jossa jokainen luji-kerros määritellään ja lasketaan erikseen leikkaus, puristus- ja vetorasituksessa.

3.5.4 Palkisto

Palkisto jäykistää ja sitoo rakenteen osat yhteen, se ulottuu pohjapaneelista kanteen, liittäen ne tukevasti toisiinsa. Tällöin vene muodostaa jäykän kotelorakenteen.

3.5.5 Kotelopalkin uuman lommahdus

Tarkastelun kohteena olevan jäykisteen uuma on rungosta kanteen ulottuvana tavanomaista alttiimpi lommahtamaan, standardissa ei ole esitetty menetelmää lommahduksen arviontiin, joten arviointiin käytettiin Eulerin nurjahduskaavaa ja standardin liitteen H. palkki- ja laminaattikerrosanalyysiä.

Laskenta tehdään palkin uuman laminaatille, uuman nurjahdusvoima lasketaan Eulerin nurjahduskaavalla.

$$Fn = \mu \frac{\pi^2 * EI(NA)}{L_n^2}$$

$EI(NA)$ = taivutusvastus

μ = nurjahdus tapauskerroin

L_n = nurjahdus pituus

Nurjahdus tapauksena käytetään yksinkertaisuuden vuoksi molemmista päistä nivelletyn kappaleen nurjahdusta, tämä myös lisää laskennan varmuuskerrointa uuman ollessa veneenrakenteessa paremmin tuettu.

Uuman laminaatin mitoitus kuormana käytetään suurinta sallittua voimaa.

$$Fn_{sall} = 0,5 * Fn$$

Uumaa kuormittava voima, F_d (n/mm) lasketaan palkistopaineesta, P_{BM} jäykiste.

$$F_d = \frac{P_{BM} \text{ jäykiste}}{2} * b * 10^{-3}$$

b = uuman tukeman pohjapaneelin leveys (mm)

P_{BM} jäykiste = Jäykisteen mitoitus paine

(ISO 12215-5, 2008.)

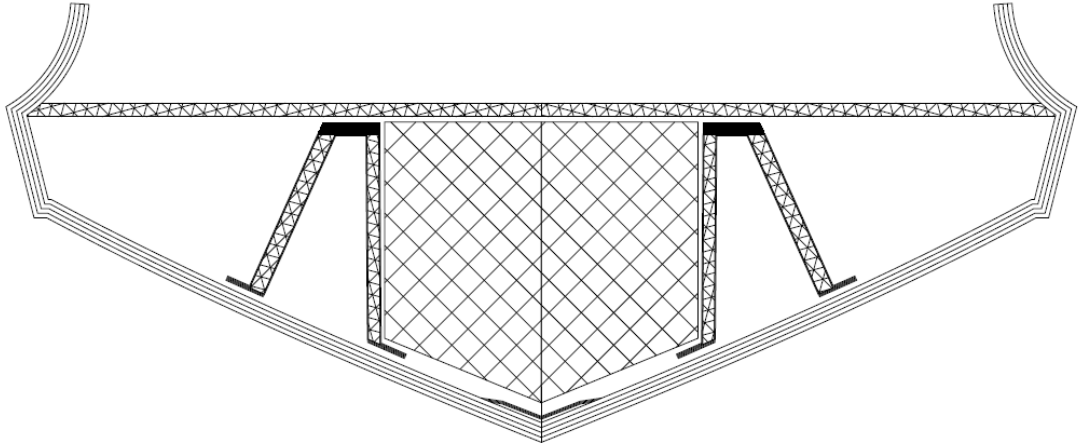
4 KOTELOPALKIN MITOITUS

Kotelopalkin mitoitukseen käytetään standardin ISO 12215-5 (2008) liitteen H laskenta menetelmää, lisäksi tarkasteltiin uumapaneelin pintalaminaattiin kohdistuvaa pystysuuntaista kuormaa (Liitteet 4,6).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kotelopalkki rakenteessa pohjan paneeli koko kasvaa, joten paneelin tulee olla aikaisempaa jäykempi, tämä tarkoittaa joko lujitteiden ja painon lisäämistä umpilaminaattiin tai umpilaminaatin korvaamista kevyemmällä kerroslevyllä.

Painovertailulaskelma tehtiin 1 m pituiselle pohjapaneelista ja palkistosta muodostuvalle poikkileikkaukselle. Laskelman mukaan pitkittäisellä kotelopalkilla voidaan saavuttaa rakenteessa umpilaminaatti pohjapaneelin kanssa käytettynä 17 % painonsäästö ja kerroslevylaminaattia umpilaminaatin sijaan käytettäessä 39% painonsäästö.



Kuva 1 Kotelopalkkirakenteen poikkileikkaus

6 JATKOTOIMENPITEET

Työtä seuraa yksityiskohtainen harkinta rakenteen, valmistus- ja materiaalitekniikan vaihtumisesta kumuloituvista muutoksista vallitseviin rakenne- ja tuotantoteknisiin periaatteisiin, saavutetusta lisäarvosta ja kustannuksista sekä mahdollisista riskeistä.

Harkinnan lopputulos johtaa joko lisätutkimuksiin tai rakenteen tuotantoon saattamiseen

7 LÄHDELUETTELO

Greene, E. (1999). *Marine Composites*. Annapolis: Eric Greene Associates.

ISO 12215-5. (2008). *Small craft – Hull construction and scantlings*.

Pike, D. (2013). *The complete RIB manual*. London: Bloomsbury Publishing.

VTT Expert Services OY. (2016). *Ammattivene ohjeisto*. Espoo: VTT Expert Services.

LIITTEET

Liite 1/1

MITOITUSPARAMETRIT

6.1 Dimensions and data

BB1100

	Motor/sailing	Motor
	FMAW?	YES
<i>Loaded displacement (kg)</i>	m_LDC	6 900
<i>Hull length (m)</i>	L_H	11
<i>Waterline length (m)</i>	L_WL	8,9
<i>Hull beam (m)</i>	B_H	3,5
<i>Beam between chines (m)</i>	B_C	2,6
<i>Topside height (m)</i>	H_S	1
<i>Freeboard (m)</i>	Z	1,2
<i>Deadrise angle (deg)</i>	$\beta_{0,4}$	21,9
<i>Maximum speed at calm (m)</i>	v_max	60
<i>Cargo / Deck cargo area</i>	Q	0,5
7.1 Desing category (A,B,C,D)	D_C	B
<i>Design category factor</i>	K_dc	0,8
<i>Design Speed (kn)</i>	V	50
<i>Mode</i>	-	Planing
<i>light and stable Sailing craft pressure correction factor</i>	gz_max<60	0,8
	k_sls	1
7.3 Dynamic loadfactor	n_CG	5,56
8 Design pressures		
8.1.2 <i>Bottom Displament mode(kpa)</i>	p_bmd_base	64,4
8.1.3 <i>Bottom Planing mode (kpa)</i>	p_bmp_base	178,2
8.1.2 <i>Bottom minimum (kpa)</i>	p_bm_min	14,7
8.1.4 <i>Topside minumum (kpa)</i>	P_sm_min	6,4
<i>Topside & Deck (kpa)</i>	p_dm_base	17,7
<i>Deck minimum</i>	p_dm_min	5,0
<i>Cargo deck</i>	p_dm_cargo	10
<i>Annex C</i>		Mixed mat/roving/multi-axial
Material		
Evaluation level	el-	a
<i>Mass fibre content</i>	ψ	0,4
<i>Ultimate flexural strength</i>	ouf	187,32

<i>Ultimate tensile strength</i>	σ_t	133
<i>Ultimate compressive strength</i>	σ_c	132
<i>Ultimate shear strength</i>	τ_u	70
<i>Modulus</i>	E	10200
<i>IN plane shear strength</i>	G	133
<i>Design stress for panel outer skin</i>	σ_{dt}	66,5
<i>Design stress for panel inner skin</i>	σ_{dc}	66,0
<i>Design stress for plating</i>	σ_d	62,44
<i>Design stress for stiffener (compression)</i>	σ_{ds}	66,5
<i>Design stress for stiffener (tensile)</i>		66
<i>Design shear stress for stiffener τ_d</i>	τ_{ds}	35
<i>Effective extent of plating</i>	be	20
<i>Top -hat AR of Web</i>	$h/(tw/2)$	30
<i>Top -hat AR of Flange</i>	d/tf	21
<i>Thickness to weight ratio</i>	t/w	1,64
<i>Effective bottom width factor</i>	be _t	20

STIFFENER WEB

Annex D Sandwich Core Properties

		DIVINYCELL H
<i>Density</i>	ρ_{c1}	100
<i>Shear strength (N/mm²)</i>	τ_{u1}	1,60
<i>Shear modulus</i>	G_{c1}	35
<i>Ultimate compressive strength</i>	σ_{uco1}	2,00
<i>Compressive modulus</i>	E_{co1}	135
<i>Elongation at break</i>		40 %
Table 11 <i>Design shear strength</i>	τ_{dc1}	1,04
<i>Resin uptake, core</i>		0,50

PANEELIN JA JÄYKISTEEN MITAT

9.1	Dimensions of plating panels and stiffeners		
	<i>Number of floors</i>	<i>n</i>	3
	<i>Number of longitudinals/side</i>	<i>m</i>	2
	<i>Distance between floors (mm)</i>	<i>l_u</i>	2225,00
	<i>Distance between longitudinals (mm)</i>	<i>s</i>	467,0
	<i>Width of longitudinal (mm)</i>	<i>W</i>	30
	<i>Width of floor (mm)</i>	<i>F</i>	100
	<i>Long side of panel</i>	<i>l</i>	4000
	<i>Short side of panel</i>	<i>b</i>	437
	Analysis comply ?	1,14	Yes!
	Bottom panel		
	Sandwich / Single skin		
			Single Skin
	<i>Long. Placement of panel (m)</i>	<i>x</i>	5,352
	<i>Long side of panel from drawing</i>	<i>l</i>	4000
	<i>Short side of panel from drawing</i>	<i>b</i>	440
7.4	<i>Long. Pressure distr. Factor</i>	<i>k_l</i>	1,000
	<i>Design area (m²)</i>	<i>A_d</i>	0,484
7.5.3	<i>min. K_AR side and bottom SW panels</i>	<i>minK_{AR}</i>	0,550
7.5	<i>Area reduction factor, Displacement</i>	<i>K_{ARD}</i>	0,640
	<i>Area reduction factor, Planing</i>	<i>K_{ARP}</i>	0,468
	<i>Sailing craft bottom pressure</i>	<i>P_{BS}</i>	36,61
8.1.2	<i>Motor craft bottom pressure, displacement (kPa)</i>	<i>P_{BMD}</i>	32,976
8.1.3	<i>Motor craft bottom pressure, planing</i>	<i>P_{BMP}</i>	83,42
8.1	<i>Bottom pressure, design</i>	<i>P_{BM}</i>	83,420
10.1.2	<i>Panel aspect ratio factor</i>	<i>k₂</i>	0,50
10.1.2		<i>k₃</i>	0,0280
10.1.3	<i>Panel curvature height</i>	<i>C</i>	0
	<i>Panel curvature factor</i>	<i>K_C</i>	1
		<i>k_{SHC}</i>	0,5
10.2.2	Required thickness for FRP single-skin plating (valid if the mechanical properties in both directions differ by < 25 %)		
	eq. 35 (mm)	<i>T</i>	11,6
	(kg/m ²)	<i>W_f</i>	6,6
			17,5
	COMPLIANCE		OK

	<i>Minimum required second moment (moment of inertia) for a strip of sandwich 1 cm wide:</i>		0,13
10.5.4	<i>Thickness required by shear load capabilities</i>		17,6
	Longitudinal stiffener		
	<i>Distance between floors (mm)</i>	I_u	4000
	<i>Distance between longitudinals (mm)</i>	S	666
7.4	<i>Long. pressure distr. factor</i>	k_I	1,00
	<i>Design area</i>	A_d	2,66
7.5	<i>Area reduction factor, displacement</i>	K_{ARD}	0,250
	<i>Area reduction factor, planing</i>	K_{ARP}	0,281
	<i>Sailing craft bottom pressure</i>	P_{BS}	38,08
8.1.2	<i>Motor craft bottom pressure, displacement</i>	P_{BMD}	14,726
8.1.3	<i>Motor craft bottom pressure, planing</i>	P_{BMP}	50,011
8.1	<i>Boat bottom pressure, design</i>	P_{BM}	50,011
11.2.1	<i>Stiffener curvature height</i>	C_U	0
	<i>Stiffener curvature factor</i>	k_{CS}	1
11.2.2	<i>Stiffener shear area factor (5 or 7.5)</i>	k_{SA}	5

POHJAPANEELIN LAMINAATTIKERROS ANALYYSI

Table H.2 — Laminate stack analysis

Design pressure P kN/m ²		Panel short dimension b mm		Design shear force Fd/mm N/mm		Design bending Mt Md Nmm/mm		Total Weight / m ²		COMPLY	
83,42		440		18,35		1346		18,413			
Laminate calculation for a 1 mm wide strip laminate											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Ply No.	De-finition	Dry mass kg/m ²	Fibre		E_i N/mm ²	σ_t / σ_{cu} N/mm ²	τ_{ui} N/mm ²	σ_{tcd} / σ_t τ_d / τ_{ui} *	σ_{tcd} N/m ²	τ_d N/m ²	
			Type *	ψ							
		Input	G, C, A	C.1	Table C.5		Table 7	=(7) * (9)	= (8) * (9)		
1	ou- ter	csm 0,300	g	0,30	6400	85	17	0,5	42,5	8,6	
2	wr	0,500	g	0,40	10200	133	16	0,5	66,5	7,8	
3	ud	0,413	g	0,40	17586	337	16	0,5	168,4	7,8	
3	db	0,400	g	0,40	4590	95	16	0,5	47,5	7,8	
4	ud	0,413	g	0,40	17586	337	16	0,5	168,4	7,8	
4	db	0,400	g	0,40	4590	95	16	0,5	47,5	7,8	
5	ud	0,413	g	0,40	17586	337	16	0,5	168,4	7,8	
5	db	0,400	g	0,40	4590	95	16	0,5	47,5	7,8	
6	csm	0,300	g	0,30	6400	117	17	0,5	58,5	8,6	
7	csm	0,300	g	0,30	6400	117	17	0,5	58,5	8,6	
8	db	0,400	g	0,40	4590	95	16	0,5	47,5	7,8	
8	ud	0,413	g	0,40	17586	290	16	0,5	130,9	7,8	
9	db	0,400	g	0,40	4590	95	16	0,5	47,5	7,8	
9	ud	0,413	g	0,40	17586	290	16	0,5	130,9	7,8	
10	csm	0,300	g	0,30	6400	117	17	0,5	58,5	8,6	
11	csm	0,300	g	0,30	6400	117	17	0,5	58,5	8,6	
12	db	0,400	g	0,40	4590	95	16	0,5	47,5	7,8	
13	csm	0,300	g	0,30	6400	117	17	0,5	58,5	8,6	
Total		6,765		0,367	7354						
		Sum Col		Average	Ave- rage						

1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Ply No.	Thick- ness t _i mm	E _i * t _i N/mm	Dist. z _{gi} from out- side mm	E _i * t _i * z _{gi} N	E _i * t _i * z _{gi} ² Nmm	E _i * t _i * 3/12 Nmm	(E _i) _i From base Nmm ²	z _{crit} from zNA mm	S _{Mi} mm ³ /mm	σ _i N/mm ²	Compliance factor σ _{tcd} /σ _i *
	Eq. C.1 to C.3	= (6) * (12)	Calc	= (13) * (14)	= (14) * (15)	= (13) * (12) ³ /12	= (17) * (18)	Calc	Calc	Calc	=(10)/(21)
1 ou- ter	0,70	4483	0,35	1 570	550	183	733	-5,74	36,07	37,3	1,14
2	0,82	8367	1,11	9 293	10 322	469	10 791	-5,04	25,78	52,2	1,27
3	0,68	11916	1,86	22 159	41 207	456	41 663	-4,22	17,86	75,4	2,23
3	0,66	3012	2,53	7 610	19 228	108	19 336	-3,54	81,51	16,5	2,88
4	0,68	11916	3,19	38 053	121 520	456	121 976	-2,89	26,11	51,5	3,27
4	0,66	3012	3,86	11 628	44 889	108	44 997	-2,21	130,76	10,3	4,62
5	0,68	11916	4,53	53 947	244 231	456	244 687	-1,55	48,56	27,7	6,08
5	0,66	3012	5,19	15 646	81 268	108	81 376	-0,87	330,27	4,1	11,66
6	0,70	4483	5,87	26 329	154 617	183	154 801	0,48	-429,03	-3,1	18,65
7	0,70	4483	6,57	29 469	193 705	183	193 889	1,18	-175,01	-7,7	7,61
8	0,66	3012	7,25	21 843	158 393	108	158 501	1,84	-156,96	-8,6	5,54
8	0,68	11916	7,92	94 355	747 139	456	747 594	2,52	-29,94	-45,0	2,91
9	0,66	3012	8,59	25 861	222 021	108	222 129	3,17	-90,98	-14,8	3,21
9	0,68	11916	9,25	110 249	1 020 044	456	1 020 500	3,85	-19,57	-68,8	1,90
10	0,70	4483	9,94	44 570	443 083	183	443 267	4,55	-45,49	-29,6	1,98
11	0,70	4483	10,64	47 711	507 728	183	507 911	5,25	-39,43	-34,1	1,71
12	0,66	3012	11,32	34 099	386 001	108	386 109	5,91	-48,87	-27,5	1,72
13	0,70	4483	12,00	53 794	645 446	183	645 629	6,61	-31,33	-43,0	1,36
	12,35	112 920	5,74	648 184	5 041 392		5 045 890		1 325 172		
	Sum Col	Sum Col	ZNA	Sum Col	Sum Col		EI Base		EINA		

1	23	24	25	26	27	28	29
Ply No.	Shear stress analysis						Compliance factor τ_d/τ_i *
	Location of τ		Z calc from NA	First mt Q $\sum E_i \cdot t_i (z_i - z_{NA})$ Nmm	Shear flow q N/mm	τ_i average N/mm ²	
			mm	calc	= F*(26)/EINA	= (27)/1	= (11)/(27)
1 outer	Tens	1-2 interface	5,04	24165	0,3	0,3	25,77
2	Tens	2-3 interface	4,22	62901	0,9	0,9	8,90
3	Tens	3-4 interface	3,54	109142	1,5	1,5	5,13
3	Tens	3-4 interface	2,89	118822	1,6	1,6	4,71
4	Tens	4-5 interface	2,21	149169	2,1	2,1	3,75
4	Tens	4-5 interface	1,55	154832	2,1	2,1	3,61
5	Tens	5-6 interface	0,87	169285	2,3	2,3	3,31
5	Tens	5-6 interface	0,22	170930	2,4	2,4	3,27
6	Comp	6-7 interface	-0,48	170336	2,4	2,4	3,66
7	Comp	7-8 interface	-1,18	166602	2,3	2,3	3,74
8	Comp	8-9 interface	-1,84	162050	2,2	2,2	3,45
8	Comp	8-9 interface	-2,52	136095	1,9	1,9	4,11
9	Comp	9-10 interface	-3,17	127525	1,8	1,8	4,39
9	Comp	9-10 interface	-3,85	85676	1,2	1,2	6,53
10	Comp	10-11 interface	-4,55	66842	0,9	0,9	9,32
11	Comp	11-12 interface	-5,25	44866	0,6	0,6	13,88
12	Comp	12-13 interface	-5,91	28058	0,4	0,4	19,94
13	Comp	13-14 interface	-6,61	0	0,0	0,0	

KOTELOPALKIN JÄYKISTE ANALYYSI

Table H.4 — Stiffener laminate stack analysis

COMPLY

Design pressure	Stiffener span	Stiffener Spacing	Shear coefficient	Curvature factor	Tophat		Design shear force	Design bending moment	
P	l_u	s	k_{sa}	k_{cs}	Width	Height	F_d	M_d	
kN/m ²	mm	mm			on plate	At deck	N	Nm	Nmm
50,01	4000	666	5	1	152	152	66 614	44 408	4,44E+07

1	2	3	4	5	6					
Element	Definition	Type	Dry mass kg/m ²	Mass fibre content ψ C.1	Thick-ness t_i mm Eq. C.1 to C.3	Dep th h mm	Wid th b mm	Mo- dulus E_t N/mm ²	Tensile or Comp- ressive strength σ_t, σ_{cu} N/mm ² Annex C	Interla- minar τ_{ui} N/mm ²
UD extra flange	UD	G	0,800	0,50	0,979	1,0	152	22500	430	13,8
Normal flange = web	DB	G	1,600	0,50	1,958	2,0	152	6300	95	13,8
Web above NA (2* $t_w/2$)	DB	G	1,600	0,50	1,958	495	3,92	6300	95	140,4
Web below NA (2* $t_w/2$)	DB	G	1,600	0,50	1,958	125	3,92	6300	95	140,4
Bonding flange = web	DB	G	1,600	0,50	1,958	2,0	100	6300	95	13,8
Attached plating		BOTTOM	6,765	0,37	12,349	12,3	400	7354	112,145 4545	13,8
Total			13,965			637,2	AVG .E	7251		

1	7	8	9	10	11	12	13	14
Element	$\frac{\sigma_{tcd}/\sigma_{tcu}}{\tau_d/\tau_{ui}}$	σ_{td}	τ_d	Area	$E_i \cdot A_i$	Dist. From outside	$E_i \cdot A \cdot z_i$	$E_i \cdot A \cdot z_{gi}^2$
	*	N/mm ²	N/mm ²	mm ²	N	mm	N	Nmm ²
	Table 7	= (5) * (7)	= (8) * (9)	= (2) * (3)	= (4) * (10)	Calc	= (11) * (12)	= (12) * (13)
UD extra flange	0,5	215,0	6,9	149	3 348 750	636,7 6	2,13E+09	1,36E+12
Normal flange = web	0,5	47,5	6,9	298	1 875 300	635,2 9	1,19E+09	7,57E+11
Web above NA (2*tw/2)	0,5	47,5	70,2	1 939	12 214 125	386,8 1	4,72E+09	1,83E+12
Web below NA (2*tw/2)	0,5	47,5	70,2	490	3 084 375	76,81	2,37E+08	1,82E+10
Bonding flange = web	0,5	47,5	6,9	196	1 233 750	13,33	1,64E+07	2,19E+08
Attached plating	0,5	56,1	6,9	4 927	36 234 018	6,17	2,24E+08	1,38E+09
Total				7 998	5,80E+07		8,53E+09	
						Z Neutral Axis Z _{NA} =	147,01	mm

1	15	16	17	18	19	20
Element	$E_i * B * h^3 / 12$ Nmm^2 $= (3) * (4) * (2)^2 / 12$	Around base (EI) from base Nmm^2 $= 14 * 15$	$z_{crit} \sigma$ from NA mm $= (13) * (12)^3 / 12$	Section modul SM_i cm³ Calc	Direct stresses σ_i N/mm ² Calc	Compliance factor sd/si * σ_d / σ_i * $= (9) / (24)$
UD extra flange	2,68E+05	1,36E+12	490	268,58	165,35	1,30
Normal flange = web	5,99E+05	7,57E+11	489	961,12	46,20	1,03
Web above NA (2*tw/2)	2,49E+11	2,08E+12	487	964,98	46,02	1,03
Web below NA (2*tw/2)	4,02E+09	2,22E+10	-133	-3543,44	-12,53	3,79
Bonding flange = web	3,94E+05	2,20E+08	-135	-3491,91	-12,72	3,74
Attached plating	4,60E+08	1,84E+09	-147	-2740,03	-16,21	3,46
Total	2,54E+11	4,22E+12	2,96E+12			
	Sum Col	EI	EINA	Min Compl factor on $\sigma = 1,03$		

1	21	22	23	24	25
Element	Location of τ *	Shear stress analysis			Compliance factor τ_d/τ_i *
		First mt Q_i $\Sigma E \cdot A(z_i - z_{NA})$	Shear flow q	τ_i ave	τ_d/τ_i
		Nmm	N/mm	N/mm ²	*
		Calc	=Fd * (22)/EINA	= (23)/(3)	=(9)/(24)
UD extra flange	Bott UD-flange	1,64E+09	36,88	0,2	28,3
Normal flange = web	Top of web	2,56E+09	57,47	0,4	18,2
Web above NA (2*tw/2)	Neutral axis	5,48E+09	123,33	31,5	2,2
Web below NA (2*tw/2)	Bott of web	5,27E+09	118,46	30,2	2,3
Bonding flange = web	Bott flange/ top plating	5,10E+09	114,75	1,1	6,0
Attached plating	Bott of plating	0,00E+00	0,00	0,0	
Total					
			Min Compl factor on τ =		2,23

UUMAPANEELIN LAMINAATTIKERROS ANALYYSI

Table H.2 — Laminate stack analysis

Design pressure P kN/m ²	Panel short dimension b mm	Total Weight / m ²			Design Buckling force F_d /mm N/mm $P \times 10^{-3} \times b$					
25,0	620	5,7			15,5					
Laminate calculation for a 1 mm wide strip laminate										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ply No.	Definition	Dry mass kg/m ²	Fibre type *	Content y	Modulus E_i N/mm ²	σ_t / σ_{cu} N/mm ²	Inter-laminar τ_{ui} N/mm ²	σ_{tcd} / σ_t τ_d / τ_{ui} *	σ_{tcd} N/mm ²	τ_d N/mm ²
		Input	G, C, A	C.1	Table C.5		Table 7	=(7) * (9)	= (8) * (9)	
1 outer	DB	0,400	G	0,50	6300	95	14	0,5	47,5	6,9
2	DB	0,400	G	0,50	6300	95	14	0,5	47,5	6,9
3	CORE	2,000	CORE	0,80	135	core	2	0,50	1,0	1,0
4	DB	0,400	G	0,50	6300	95	14	0,5	47,5	6,9
5	DB	0,400	G	0,50	6300	95	14	0,5	47,5	6,9
Total		3,600		0,632	6300					
		Sum Col		Average	Average					

1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Ply No.	Thick- ness t_i mm	$E_i * t_i$ N/mm	Dist. z_{gi} from outside mm	$E_i * t_i * z_{gi}$ N	$E_i * t_i * z_{gi}^2$ Nmm	$E_i * t_i * z_{gi}^3/12$ Nmm	$(E_i)_i$ From base Nmm ²	z_{crit} from z_{NA} mm	S_{Mi} mm ³ /mm	σ_i N/mm ²
	Eq. C.1 to C.3	= (6) * (12)	Calc	= (13) * (14)	= (14) * (15)	= (13) * (12) ³ /12	= (17) * (18)	Calc	Calc	Calc
1 outer	0,49	3084	0,24	755	185	62	246	-10,98	20,94	38,2
2	0,49	3084	0,73	2 265	1 663	62	1 725	-10,49	21,92	36,5
3	20,00	2700	10,98	29 644	325 464	90 000	415 464	10,00	-1072,96	-0,7
4	0,49	3084	21,22	65 463	1 389 376	62	1 389 438	10,49	-21,92	-36,5
5	0,49	3084	21,71	66 973	1 454 215	62	1 454 276	10,98	-20,94	-38,2
Total	21,96	15 038	10,98	165 099	3 170 903		3 261 149		1 448 498	
	Sum Col	Sum Col	ZNA	Sum Col	Sum Col		EI Base		EINA	

1	22	23	24	25	26	27	28	29
Ply No.	Compliance factor s_d/s_i *		Shear stress analysis					Compliance factor t_d/t_i *
			Location of τ	Z calc from NA	First mt Q $S E_i x t_i$ (z _i - z _{NA}) Nmm	Shear flow q N/mm	τ_i average N/mm ²	
	$= (10)/(21)$			mm	calc	$= F*(26)/EINA$	$= (27)/1$	$= (11)/(27)$
1 outer	1,24	Tens	1-2 interface	10,49	33109	0,2	0,2	38,80
2	1,30	Tens	2-3 interface	10,00	64708	0,3	0,3	19,85
3	1,39	Comp	3-4 interface	-10,00	64708	0,3	0,3	3,00
4	1,30	Comp	4-5 interface	-10,49	33109	0,1772	0,2	38,80
5	1,24	Comp	underside of 5	-10,98	0	0,000	0,0	

UUMAPANEELIN LOMMAHDUS JA PURISTUS

Lommahdus tarkastelu			
Ydinaineen paksuus	mm	t _c	20
Nurjahdus moodi			1,0
Nurjahdus voima	N	F _n	45,3
Nurjahdusjännitys	N/mm ²	σ _n	2,1
Tapaus kerroin		μ	1,0
Nurjahduspituus	mm	L _n	562,0
	EINA		1 448 498
L_kappale	mm		562,0
A_Kappale	mm ²		21,96

Kuorma	N	F _d	15,5
Sallittu kuorma	N	F _{n,sall}	22,6

Compliance 146 %

Tyssäys tarkastelu

Puristus jännitys			
-Pysty akselin suuntainen		σ ₁	15,8
-Pituus akselin suuntainen		σ ₂	45,8
Sallittu jännitys		σ _{dci}	47,5
Compliance			104 %

PAINOANALYYSI**Palkistojen painoanalyysi**

1m pitkä poikkileikkaus jossa pohjapaneeli + palkisto

Palkistot**VERTAILUPALKISTO**

Palkit	h	spu (kg/m)	grp (kg/m)
I	620	1,488	4,4
II	500	1,2	3,8
III	360	0,864	3,1
sum		3,552	11,3
Total			30

KOTELOPALKKI

GRP ψ	0,5
CORE ψ	0,86
Core t	20 mm
Core density	35 kg/m ³

Kotelopalkki	A m ²	Dry fiber kg/m ²	GRP	
			Weight/ A	CORE weight/A
Top flange	0,152	2,4	0,7296	0,12
Web	0,62	3,2	3,968	0,50
Bondingflange	0,1	1,6	0,32	
Total				11

Pohjan ala / m	2,82	m ²				
Pohjapaneelin paino kg/m ²		kg / poh- jan ala		Rakenteen paino (paneeli + jäykisteet)	% kevy- empi	kg kevy- empi
SS. Vertailu la- minaatti	16,43	46,3	100 %	76	-	-
SS.1	18,35	51,7	112 %	63	17 %	13
	12,32					
SW.1	3	34,8	75 %	46	39 %	30