

Jere Impola

ALUMIINIVENEEN RUNGON RAKENNEMITOITUS

Opinnäytetyö
Veneteknologian koulutusohjelma

Joulukuu 2015

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Jere Impola	Insinööri Veneteknologia	Joulukuu 2015
Opinnäytetyön nimi		39 sivua
Alumiiniveneen rungon rakennemitoitus		
Toimeksiantaja		
Oy Finn-Marin Ltd		
Ohjaaja		
Terho Halme, Lehtori		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyö käsittelee alumiiniveneen rungon rakennemitoitusta. Työssä koottiin Microsoft Excel -pohjainen alumiiniveneen rakenteen mitoitustyökalu. Rakennelaskelma tehtiin standardin ISO 12215-5 ohjeistuksen mukaisesti.</p> <p>Tällä kyseisellä työkalulla pystytään määrittämään veneen rungon vaaditut peltipaksuudet ja jäykisteet sekä vertailemaan vaadittuja materiaalipaksuuksia eri peltilaaduilla. Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa käydään läpi, kuinka ISO 12215 mukainen veneen rungon rakenteenmitoitus työkalu on toteutettu sekä perehdytään alumiiniseoksien ominaisuuksiin.</p> <p>Rakenteenmitoitus työkalulla saatuihin arvoihin tulee kuitenkin suhtautua suuntaa-antavina. Se on hyvä lisätyökalu esimerkiksi tuleviin tuotekehitysprojekteihin antamaan alustava arvio veneen rungon rakenteen kestävydestä ennen lopullisia FEM- analyyssejä.</p>		
Asiasanat		
alumiini, vene, runko, rakenneanalyysi		

Author	Degree	Time
Jere Impola	Bachelor of Engineering Boat Technology	December 2015
Thesis title		39 pages
Structural Dimensioning of Aluminium Boat Hull		
Commissioned by		
Oy Finn-Marin Ltd		
Supervisor		
Terho Halme, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>This thesis studies structural dimensioning of the aluminium boat hull. The study was compiled in Microsoft Excel -based aluminium boat construction design tool. This construction tool was made in accordance with ISO 12215 guidelines.</p> <p>This particular construction tool is able to determine the required plate thicknesses and stiffener dimensions of an aluminium hull. It is possible to also compare the required material thicknesses for different aluminium quality. This thesis shows an overview of how the hull structural dimensioning tool has been accomplished and focuses on the properties of aluminium alloys.</p> <p>The values obtained with the construction design tool should only be regarded as approximate. It is a good additional tool for future development projects to provide a preliminary assessment of the sustainability of the structure of the hull before the final FEM analysis.</p>		
Keywords		
aluminium, boat, hull, structural analysis		

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	LUJUUSLASKENNAN PERUSKÄSITTEITÄ	7
2.1	Kuormitukset	7
2.2	Jäyhyysmomentti	7
2.3	Taivutusvastus	8
2.4	Normaalijännitys	8
2.5	Kimmokerroin, murtolujuus ja myötöraja	9
3	ALUMIINIEN YLEISET OMINAISUUDET	9
3.1	Käytettävän alumiinin valinta	10
3.2	Merialumiinien ominaisuudet	11
4	ALUMIINIRUNGON RAKENNEMITOITUS	12
4.1	Standardit	12
4.1.1	ISO 12215-5	12
4.1.2	ISO 12215-6	12
4.2	Rakennelaskelman periaate	13
4.3	Termit ja määritelmät	13
4.3.1	Veneen perusparametrit	13
4.3.2	Suunnittelukategoriat	14
4.3.3	Suurin kuorma m_{LDC}	14
4.3.4	Veneen kulkutila	15
4.4	Mitoitusalueet	16
4.5	Paineen korjauskertoimet	16
4.5.1	Suunnittelukategorian kerroin k_{DC}	17
4.5.2	Dynaaminen kuormituskerroin n_{CG}	17
4.5.3	Pinta-alan paineen vähentämiskerroin k_{AR}	17
4.5.4	Pitkittäisen painejakauman kerroin k_L	19

4.5.5	Kyljen paineen vähennyskerroin k_Z	19
4.5.6	Kaarevien paneelien korjauskerroin k_C	20
4.5.7	Ylä- ja kansirakenteen paineen vähennyskerroin k_{SUP}	21
4.6	Mitoituspaineet	21
4.6.1	Moottoriveneen pohjan paine	22
4.6.2	Moottoriveneen kyljen paine	23
4.6.3	Moottoriveneen kannen paine	23
4.6.4	Ei-vesitiiviiden tai osittaisten laipioiden mitoituspaine	24
4.6.5	Vesitiiviiden laipioiden mitoituspaine	24
4.7	Mitat ja vaatimukset	25
4.7.1	Paneelien mitat ja määrittäminen	25
4.7.2	Paneelin taivutusmomentti ja leikkausvoima	25
4.7.3	Jäykisteiden mitat ja vaatimukset	26
4.7.4	Jäykisteen tehollinen alalaippa, b_e	26
4.7.5	Jäykisteen kaarevuus- ja leikkauspinta-alakerroin, k_{CS} ja k_{SA}	27
4.7.6	Jäykisteiden mitoitusjännitykset	27
4.7.7	Ylimääräiset jäykisteet	28
5	RAKENNELASKELMA TYÖKALUNA	29
5.1	Veneen perusparametrit ja materiaalin mekaaniset ominaisuudet	29
5.2	Materiaalivahvuuksien määrittäminen	32
5.3	Jäykisteiden määrittäminen	34
5.4	Kölin alue	36
6	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET	
	LIITTEET	
	Liite 1. Alumiiniveneen rakennelaskelma (Excel-tiedosto, sähköisessä muodossa)	

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Oy Finn-Marin Ltd:n kanssa. Opinnäytetyö liittyy uuden Finnmaster Husky mallisarjan kehitykseen sekä rungonrakenteiden mitoitukseen.

Työn keskeisenä aiheena ja tavoitteena oli tehdä toimiva työkalu alumiiniveneen rungon rakenteen tarkasteluun työn tilaajalle. Samalla todettiin jo valmiiksi mallinnettujen runkojen riittävä lujuus. Opinnäytetyö ei kerro Finnmaster Husky veneiden rakenneanalyysin tuloksia eikä opinnäytetyöstä käy ilmi veneiden rakenne.

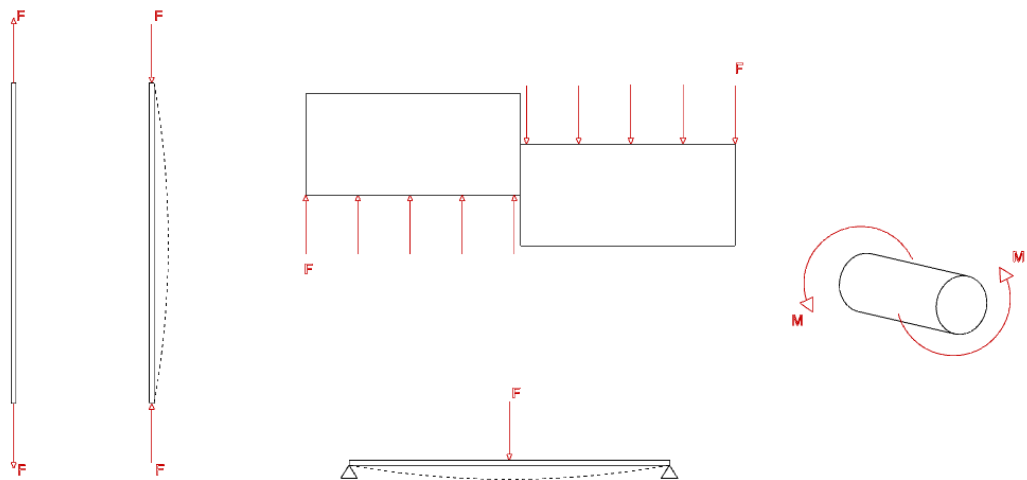
Rakennelaskelman pohjana on käytetty jo veneteknologian opintojen aikaisemmassa vaiheessa tehtyä laskentataulukkoa. Rakennelaskelma on tehty ISO 12215- standardin ohjeistuksen mukaisesti. Työssä keskitytään kertomaan alumiiniveneen rakennelaskennasta ja tavoista joilla kyseinen työkalu rakenteen tarkasteluun on toteutettu.

2 LUJUUSLASKENNAN PERUSKÄSITTEITÄ

2.1 Kuormitukset

Lujuuslaskennassa kuormitukset jaetaan viiteen eri peruskuormitusryhmään: veto, puristus, leikkaus, taivutus ja vääntö. Kuormitus on mitä tahansa ulkoista momenttia tai voimaa, joka kohdistuu tutkittavaan kappaleeseen. Kuormitukset jaetaan myös staattisiin ja dynaamisiin kuormituksiin. Staattisessa kuormituksessa kappale on kokoajan tasapainossa ulkoisten kuormien ansiosta.

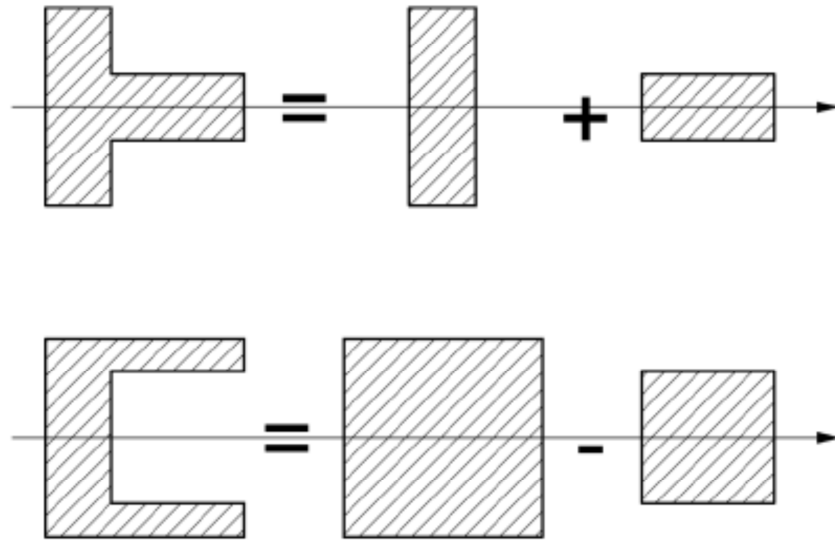
Dynaaminen kuormitus on yleensä hankala määrittää, koska sen suuruus vaihtelee ajan mukana. Dynaamisen kuormituksen mitoitukseksi jää yleensä suurimman staattisen kuorman arviointi. (6; 8.)



Kuva 1. Peruskuormitukset. (veto, puristus, leikkaus, taivutus ja vääntö) (Jere Impola 2/11/2015)

2.2 Jäyhyysmomentti

Jäyhyysmomentti eli neliömomentti kuvaa tietyn homogeenisen kappaleen poikkileikkauksen kykyä vastustaa kappaleeseen kohdistuvaa taipumaa tietyn akselin suuntaan. Neliömomentin suuruus riippuu poikkileikkauksen koosta sekä valitun akselin sijainnista. Yleensä taivutuksen alaiset rakenteet ovat symmetrisiä taivutuksen suuntaan. Neliömomentit voidaan laskea yhteen ja vähennyslaskulla, mikäli ne sijaitsevat samalla painopisteakselilla. (6; 8.)



Kuva 2. Neliömomentin yhteen- ja vähennyslasku (6.)

2.3 Taivutusvastus

Taivutusvastus kuvaa kappaleen kykyä vastustaa taipumaa. Taivutusvastuksen yksikkö on millimetrejä tai senttimetrejä kolmanteen. Taivutusvastus saadaan laskettua jäyhyys- eli neliömomentin avulla. (6.)

Taivutusvastus saadaan kaavasta:

$$W = \frac{I}{e}$$

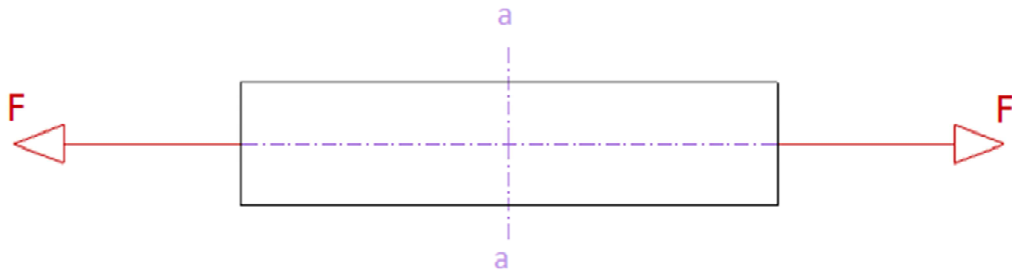
I Poikkipinnan neliömomentti

e Poikkipinnan suurin y -arvo (itseisarvo)

2.4 Normaalijännitys

Kun pituusakselin suuntainen voima eli normaalivoima vaikuttaa sauvan muotoiseen kappaleeseen, kappale joutuu joko veto- tai puristuskuormituksen alaiseksi riippuen voiman suunnasta. Yksinkertaisissa kappaleissa normaalijännitys saadaan jakamalla voiman suuruus kappaleen poikkipinta-alalla.

Kappaleeseen kohdistuva vetojännitys on positiivista normaalijännitystä ja puristusjännitys negatiivista. (6; 8.)



Kuva 3. Normaalivoiman rasittama palkki (Jere Impola 2/11/2015)

2.5 Kimmokerroin, murtolujuus ja myötöraja

Kimmokertoimen, venymän ja murtolujuuden arvoja käytetään, kun arvioidaan materiaalin yleistä lujuutta. Kimmokerroin eli kimmomoduuli tai elastisuusmoduuli ilmaisee materiaalin joustavuuden. Se on venymän ja jännityksen suhde vetomurtolujuuden lisäksi pituusyksikköä kohti. Kimmokertoimen yksikkönä käytetään Pascalia (Pa). Materiaalin kimmokerroin voi pienentyä, kun lämpötilaa kappaleessa muutetaan. Yleisesti kimmokerroin on hieman korkeampi matalissa lämpötiloissa. Murtolujuus on suurin jännitys, jonka tietty kappale kestää ennen murtumistaan. Myötöraja on jännitys, jolla venymä alkaa kasvaa nopeasti ilman kuormituksen lisäämistä. (8; 9.)

3 ALUMIINIEN YLEISET OMINAISUUDET

Maankuoren kolmanneksi yleisin alkuaine on alumiini. Alumiinia ei koskaan ilmene luonnossa vapaassa tilassa, vaan pii ja happi muodostavat yhdisteitä sen kanssa. Alumiini muodostaa yhdisteitä myös alkali- ja maa-alkalimetallien kanssa. Puhtaana alumiini on pehmeää ja sen murtolujuus on suhteellisen heikko, vain noin 60 -80 MPa. Seostettuna alumiinin murtolujuus voi kuitenkin olla 200- 450 MPa. Alumiiniseokset ovat hyvin muokattavissa ja hitsattavissa. Alumiini ei ole magneettinen ja se voidaan kierrättää. Alumiiniseosten tiheys on noin $2,7 \text{ g/cm}^3$, joten ne ovat erittäin kevyitä verrattuna esimerkiksi valurautaan. Teräksen kimmomoduuli on noin kolme kertaa suurempi kuin alumiiniseosten. Tästä seuraa se, että alumiiniseoksesta valmistetun kappaleen

muodonmuutos on huomattavasti suurempi kuin teräksisen kappaleen, kun molempiin kohdistetaan sama voima.

Alumiiniseoksilla on yleisesti hyvä korroosion kesto. Seoksen korroosion kestoon vaikuttaa vallitsevan ympäristön lisäksi seoksen alkuainekoostumus. Esimerkiksi pii ja magnesium vaikuttavat alumiiniseoksen korroosion sietoon positiivisesti. (9; 10.)

3.1 Käytettävän alumiinin valinta

Tuotteen elinkaarelle on suuri merkitys, että materiaalivalinta tehdään oikein. Käytettävän materiaalin valinnassa on otettava huomioon sen hitsattavuus, ympäristön rajoitukset sekä tuotanto-olosuhteet. Ennen kuin veneessä käytettävän alumiinilaadun valinta voidaan suorittaa lopullisesti, on tiedettävä veneeseen kohdistuvat kuormitukset. Kuormitukset saadaan määritettyä veneen dimensioiden perusteella. Myös materiaalin käyttöominaisuudet on selvitettävä ennen lopullista päätöstä käytettävän alumiinin laadusta. On myös mietittävä materiaalin valmistus- ja saatavuusominaisuudet sekä sen haluttu elinikä. (6; 7.)

Jos veneessä yhdistetään kahta tai useampaa materiaalilaatua, on otettava huomioon niiden galvaaninen potentiaaliero, jotta vältetään korroosiolta rakenteissa. Kahden eri materiaalilaadun kontaktikorroosio voi johtua esimerkiksi hitsauksesta, lämpökäsittelystä tai vallitsevasta ympäristöstä. (6; 7.)

Käytettävän alumiinin on oltava viimeistelty ja käsitelty aiottuun käyttötarkoitukseen. Veneeseen asennettavissa alumiinipaneeleissa tai jäykisteissä ei saa esiintyä pintavikoja, jotka heikentävät materiaalin ominaisuuksia lujuuden tai korroosion muodostumisen suhteen. (7.)

Alumiiniseoksen käsittelytila vaikuttaa suuresti alumiinin ominaisuuksiin. Yleisiä toimitustila merkkejä ovat valmistustila (F), pehmeäksihehkutettu (O), muokkauslujitettu (H) ja liuoshehkutettu (W). (7.)

Veneteollisuuteen sopivat alumiinit voidaan jakaa karkeasti kahteen eri luokkaan. Ei-lämpökäsitellyt alumiinit ovat yleensä levyvalmisteita, joiden pääkomponentti on magnesium (Mg). Levyvalmisteita käytetään esimerkiksi pohja- ja kylkipelteinä tai särmättynä jäykisteiksi. Lämpökäsitellyt alumiinit ovat pursotettuja, esimerkiksi listoja tai jäykisteprofiileita, niiden pääkomponentti on pii (Si). (7.)

Kuparia tai sinkkiä sisältäviä alumiiniseoksia ei suositella käytettävän pienveneteollisuudessa veneen rakenteellisissa osissa. Niitä voidaan kuitenkin käyttää maalattuna tai adonisoituna veneen osissa, jotka eivät ole rakenteellisesti merkittäviä. Alumiini-kupariseoksia voidaan käyttää semmoisenaan pienissä veneissä, joita käytetään ainoastaan makeassa vedessä. Niiden hitsaamista ei kuitenkaan suositella. (7.)

3.2 Merialumiinien ominaisuudet

Alumiiniseoksia EN AW 5083 ja EN AW 5754 käytetään paljon laiva- ja veneteollisuudessa. Seokset ovat suosittuja, koska niillä on erinomainen korroosion kesto ja ne sopivat myös hitsattaviksi. (10.)

Mekaanisilta ominaisuuksiltaan EN AW 5083 on hieman EN AW 5754:ää parempi, koska sillä on suurempi veto- ja myötölujuus. AW 5083:n sulamisväli on 580 – 640 celsiusastetta kun taas AW 5754:n sulamisväli on 610 – 640 celsiusasta. (10.)

	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Cr</i>	<i>Zn</i>	<i>Ti</i>	<i>Muut</i>	<i>Al</i>
EN AW 5083	0,4	0,4	0,1	0,4-0,1	4,0-4,9	0,05-0,25	0,25	-	0,35	Loput
EN AW 5754	0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,3	0,2	0,4	0,4	Loput

Taulukko 1. Merialumiinien EN AW 5083 ja EN AW 5754 kemialliset koostumukset (12.)

Seos	Tila	Paksuus mm	Vetolujuus R _m N/mm ²		0,2 % myötölujuus Rp 0,2 N/mm ²	Sulamisväli C°	Kimmomoduuli kN/mm ³
			min.	max.	min.		
EN AW 5083	O/H111	0,5-12,5 mm	275	350	125	580-640	71
EN AW 5754	O/H111	0,5-12,5 mm	190	240	80	610-640	70

Taulukko 2. Merialumiinien EN AW 5083 ja EN AW 5754 mekaaniset ominaisuudet (Toimitustila O/H111)(12.)

4 ALUMIINIRUNGON RAKENNEMITOITUS

4.1 Standardit

4.1.1 ISO 12215-5

Standardin 12215-5 tarkoitus on määrittää veneen rakenteen lujuutta. Standardi käsittelee myös mitoituspainneiden, mitoitusjännitysten ja rakenteen mitoituksen määrittämisen. Standardin ohjeistuksen mukaan tehdyn rakennelaskelman tarkoitus ei ole toimia lujuuden suunnittelumenetelmänä, vaan se on työkalu, jolla voidaan määrittää veneen paneelien ja jäykisteiden mitat verrattuna vaadittuun alarajaan. (1.)

Standardissa käytetyt mitoitusvaatimukset on määritetty pääasiassa niin, että riittävä paikallisuus varmistetaan. Standardi tai laskelma ei ota huomioon käytössä syntyvää materiaalien heikkenemistä ja sitä voidaan soveltaa ainoastaan veneille joiden maksiminopeus täyslastitilanteessa (m_{LDC}) on alle 50 solmua. (1.)

Standardin ISO 12215 osan 5 mukaan tehty rakennelaskelma on työkalu huviveneiden rakenteen tarkasteluun eikä sen käyttöä suositella esimerkiksi kilpaveneille. Rakennelaskelman mitoitusvaatimusten on ajateltu vastaavan veneen vähimmäisvaatimuksia, kun venettä käytetään turvallisella, normaalilla ja vastuullisella tavalla ottaen huomioon sääolosuhteet. Standardi ei ota kantaa hitsausliitosten kestävyuden määrittelyyn eikä väsymiskestävyuteen. (1.)

4.1.2 ISO 12215-6

Standardin 12215 osa 6 keskittyy veneen rakennejärjestelyihin ja niiden yksityiskohtiin. Standardin osassa käydään läpi esimerkiksi jäykisteiden oikeat rakenteet sekä niiden yksityiskohdat. Se on jaettu valmistusmateriaalin mukaan osiin. Standardin osa 6 käsittelee lasikuitu, metalli ja laminoidun puuveneen rakenteen yksityiskohtia. Niitä ovat esimerkiksi suuret liitokset, kölin alue sekä peräpeili. Standardi ISO 12215-6 esittää myös ohjeita hitsausmenetelmiin ja laadunvarmistukseen, joita valmistavan tahon tulisi noudattaa. (2.)

4.2 Rakennelaskelman periaate

Standardin ISO 12215-5 mukaisen laskeman toimintaperiaate on jakaa veneen runko mitoitusalueisiin, jotka jaetaan haluttuihin paneeleihin. Paneelien koot määräytyvät jäykisteiden sijoituksen ja lukumäärän mukaan. Jokaiselle mitoitusalueelle lasketaan oma mitoituspaine, joihin paineenalentamiskertoimet vaikuttavat. Paineenalentamiskertoimet määräytyvät veneen ominaisuuksien ja halutun suunnittelukategorian mukaan. (1.)

Laskelmaa käytetään riittävän lujuuden toteamiseen tietyssä osassa veneen runkoa. Vaadittu peltien paksuus määräytyy veneen ominaisuuksien, materiaalin ominaisuuksien ja mitoittavan alueen mitoituspaineen perusteella. Laskelmalla voidaan todeta myös haluttujen jäykisteiden riittävä lujuus syöttämällä siihen tietyn jäykisteen mitat. Laskelmaa voidaan käyttää myös eri peltilaatujen vertailussa syöttämällä materiaalin ominaisuudet uudelleen ja vertailemalla rakenteen tuloksia edellisen peltilaadun tuloksien kanssa. (1.)

Ennen laskelman käyttöä veneen perusgeometria on määritettävä mahdollisimman tarkasti, jotta veneen kuormat voidaan arvioida todenmukaisiksi. Laskelmaa on hyvä käyttää jo veneen suunnittelun alkuvaiheessa, jotta välttyään ongelmallisilta muutostöiltä rakenteessa tai komponenteissa. (1.)

4.3 Termit ja määritelmät

4.3.1 Veneen perusparametrit

Rakennelaskelman alussa, kohtaan veneen perustiedot, syötetään veneen perusparametrien arvot. Perusparametreja ovat veneen massa täydellä kuormalla (m_{LDC}), rungon pituus (L_h), vesilinjanpituus (L_{WL}), rungon leveys (B_H), palttien etäisyys (B_C), laidan korkeus (H_S), varalaita (Z), pohjan kulma (β), maksimi nopeus (V_{MAX}) ja suunnittelukategoria. Nämä arvot määräytyvät standardin ISO 8666 mukaan. (1; 5.)

Veneen kulkumuoto, suunnittelukategorian kerroin sekä dynaaminen kuormituskerroin määräytyvät perusparametrien perusteella. Myös veneen suunnitte-

lupaineet muodostuvat niiden mukaan. Rakennelaskelma laskee tässä vaiheessa pohjan suunnittelupaineen eri kulkumuodoissa, pohjan ja laidan minimipaineen sekä kannen suunnittelu- ja minimipaineen. (1.)

4.3.2 Suunnittelukategoriat

Suunnittelukategoria on tyyppiluokka, joka määrittelee käyttöolosuhteet, joihin veneet täytyy suunnitella. Jokaisella sertifioidulla veneellä on määritelty suunnittelukategoria. Suunnittelukategoriat jaetaan neljään ryhmään, jotka määräytyvät aallokko- ja tuuliolosuhteiden mukaan. (1; 3.)

Suunnittelukategoria A on valtameriluokka jota pidetään soveltuvana käytettäväksi suuressa aallokossa, ei kuitenkaan poikkeavissa olosuhteissa kuten hirmumyrskyissä. Merkitsevä aallon korkeus on yli 4 metriä ja tuulen voimakkuus yli 8 Beaufortia. Suunnittelukategoria B on avomeriluokka jossa aallonkorkeus on enintään 4 metriä ja tuulen voimakkuus enintään 8 Beaufortia. Kategorioissa A ja B veneiden luokkujen, kannen, ylärakenteiden ja ikkunoiden lujuus korostuvat, koska vettä saattaa tulla veneen päälle suurella voimalla. (1; 3.)

Suunnittelukategoria C on rannikkoluokka jossa aallonkorkeus saa olla enintään 2 metriä ja tuulen keskimääräinen voimakkuus enintään 6 Beaufortia. Kategoriasa täytyy ottaa huomioon veneen ylilyövän aallokon aiheuttama täytyminen vedellä. (1; 3.)

Suunnittelukategoria D on suojaisien vesien luokka jossa merkitsevä aallon korkeus on maksimissaan 0,3 metriä ja suurimmat satunnaiset aallot 0,5 metriä. Tuulen keskimääräinen voimakkuus on enintään 4 Beaufortia. (1; 3.)

4.3.3 Suurin kuorma m_{LDC}

Veneen suurin kuorma on uppouman paino lastattuna. Suurin kuorma täytyy käsittää veneen valmistajan suosittamana suurimpana kuormana. Veneen suurinta kuormaa määrittäessä täytyy ottaa huomioon standardien vaatimat vakavuus-, varalaita- ja kelluntavaatimukset. Näiden lisäksi myös istuinvaati-

mukset sekä suunnittelukategoria on huomioitava. Uppouma on yksi tärkeimmistä parametreista kun määritetään veneen lujuutta, joten suurin kuorma tulee valita realistisesti. (3; 4; 6.)

Tällä hetkellä voimassa olevan standardin mukaan suurin kuorma sisältää vähintään seuraavat massat:

- Suurin henkilöluku x 85 kg
- Perusvarusteet kaavan $(L_H - 2,5)^2$ mukaan, mutta vähintään 10 kg
- Makea vesi ja polttoaine, kaikki tankit täynnä
- Varusteet ja rahti, johon sisältyy esimerkiksi muona, sekalaiset varusteet ja muut nesteet
- Mahdollinen pelastuslautta

4.3.4 Veneen kulkutila

Veneen kulkutila jaotellaan yleisesti kahteen luokkaan, uppoumakulkutilaan ja liukuvaan kulkutilaan. Uppouma kulkutila on kyseessä silloin kun veneen maksiminopeus aallokossa suurimmalla kuormalla (m_{LDC}) on alla olevan kaavan mukainen. Tällöin veneen paino on kannatettu uppouman nostovoimalla ja se käyttäytyy kuten uppoumavene. (1.)

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} < 5$$

jossa,

V Veneen nopeus, solmua

L_{WL} Vesilinjan pituus

Liukuva kulkutila on kyseessä kun veneen paino on pääasiassa kannatettu voimilla, jotka syntyvät nopeuden dynaamisesta nostovoimasta. Vene on liukuva jos: (1.)

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} > 5$$

jossa,

V Veneen nopeus, solmua

L_{WL} Vesilinjan pituus

4.4 Mitoitusalueet

Laskelmassa käytetyt mitat ovat standardin ISO 8666 mukaisia, ellei toisin mainita. Vene jaetaan neljään osa-alueeseen mitoitusta varten. Alueet ovat pohja, laita, kannet ja ylärakenteet. (1.)

Pohjan paine vaikuttaa veneen vesilinjaan asti, johon myös pohjan alue rajataan. Peräpeilin osa, joka jää vesilinjan alapuolelle, luokitellaan myös pohjaksi. Laidan painealue on vesilinjasta ylöspäin partaaseen saakka. Laidan painealue sisältää myös peräpeilin osan joka ei kuulu pohjan painealueeseen. (1.)

Kansialueiksi luokitellaan kannen osat, joissa voidaan kävellä, istuma-alueet sekä alueet jotka ovat alttiit aallokelle. Ylärakenteet sisältävät kaikki kannen yläpuolella olevat rakenteet ja alueet.(1.)

4.5 Paineen korjauskertoimet

Veneen lopullinen suunnittelupaine korjataan paineenkorjauskertoimilla. Paineen korjauskertoimet määräytyvät veneen ominaisuuksien ja suunnittelukategorian mukaan. (1.)

4.5.1 Suunnittelukategorian kerroin k_{DC}

Suunnittelukategorian kerroin määräytyy halutun suunnittelukategorian mukaan. Kerroin vaihtelee arvojen 0,4 – 1,0 välillä. Suunnittelukategorian kerroin saadaan ISO 12215-5 taulukosta 2 tai tämän opinnäytetyön taulukosta 3. (1.)

Suunnittelukategoria	A	B	C	D
k_{DC} - arvoja	1	0,8	0,6	0,4

Taulukko 3. Suunnittelukategorian kerroin k_{DC} (1.)

4.5.2 Dynaaminen kuormituskerroin n_{CG}

Dynaaminen kuormituskerroin on veneen negatiivinen kiihtyvyys kun se kohtaa vastaan tulevan aallon tai putoaa aallon harjalta sen pohjalle. n_{CG} eli Dynaaminen kuormituskerroin on suhteellinen kerroin maan vetovoimakiihtyvyydelle g . (1.)

Liukuveneen dynaaminen kuormituskerroin määritetään kaavasta:

$$n_{CG} = 0,32 * \left(\frac{L_{WL}}{10 * B_C} + 0,084 \right) * (50 - \beta_{0,4}) * \frac{V^2 * B_C^2}{m_{LDC}}$$

Jos yllä oleva kaava antaa n_{CG} arvoksi $> 3,0$ käytetään:

$$n_{CG} = \frac{0,5 * V}{m_{LDC}^{0,17}}$$

n_{CG} maksimi arvo kuitenkin 7, joten ylittäviä arvoja ei tarvitse käyttää. Kertoimen rajoitus johtuu nopeuden rajoittamisesta miehistön toimesta, jotta kiihtyvyydet pysyttelevät turvallisuuden ja mukavuuden rajoissa. (1.)

4.5.3 Pinta-alan paineen vähentämiskerroin k_{AR}

Pinta-alan paineen alentamiskerroin huomioi paneelin tai jäykisteen koon perusteella mitoituspaineen muutokset. k_{AR} suurin arvo on 1. Pinta-alan alenta-

miskertoimen minimiarvot löytyvät standardin 12215-5 taulukosta 3 tai tämän oppinäytetyön taulukosta 4. (1.)

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

$k_R = 1,0$ Moottoriveneen pohjan, laidan ja kannen paneeleille ja jäykisteille veneen liukuessa

$k_R = 1 - 2 * 10^{-4} * l_u$ Liukuvan moottoriveneen pohjan, laidan ja kannen jäykisteille uppoumakulkumuodossa

$A_D = (l * b) * 10^{-6}$ Laidoituspaneeleille, mutta ei $> 2,5 * b^2 * 10^{-6}$

$A_D = (l_u * s) * 10^{-6}$ Jäykisteille, mutta ei $> 0,33 * l_u^2 * 10^{-6}$

b Paneelin lyhyempi reuna (mm)

l Paneelin pitempi reuna (mm)

s Jäykisteiden väli (mm)

l_u Jäykisteen vapaa pituus (mm)

Suunnittelu-kategoria	Kyljen ja pohjan umpilaminaattipaneelit sekä jäykisteet Kannen ja ylärakenteen kerrosrakenne- sekä umpilaminaattipaneelit ja jäykisteet	Kyljen ja pohjan kerrosrakennepaneelit ^a		
		$\frac{x}{L_{WL}} \leq 0,4$ (XXX u=<?)	$0,4 < \frac{x}{L_{WL}} < 0,6$	$\frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$ (XXX W = >?)
A	0,25 kaikki veneet runko ja kansi	0,4 kaikki veneet	$\frac{x}{L_{WL}} = 0,4$ ja $0,6$ Interpolointia tässä intervallissa	0,5 purjev. pohja ja kylki 0,5 moottoriveneen pohja 0,4 moottoriveneen kylki
B	0,25 kaikki veneet runko ja kansi	0,4 kaikki veneet		0,4 kaikki veneet
C & D	0,25 kaikki veneet runko ja kansi	0,4 kaikki veneet		

^a k_{AR} :n minimiarvo käytetään taiputus- tai leikkauslujuuden ja taipuman vaatimuksille

Taulukko 4. Pinta-alan paineen alentamiskertoimen minimiarvot (1.)

Mikäli veneessä esiintyy hyvin suuria rakenneosia, joiden pinta-alanpaineen vähentämiskertoimen arvo on vähemmän kuin 0,25, niiden dynaaminen vaikutus on pieni. Tässä tilanteessa mitoituspaineen perusta olisi hydrostaattinen paine, jonka oletetaan vaikuttavan rakenneosan koko alalle. (1.)

Rakenneosan katsotaan olevan hyvin suuri, jos paneelin pidemmän ja lyhyemmän reunan tulo tai jäykisteen jäykistevälin ja pituuden tulo, ylittää alla olevat pinta-alat. (1.)

Pohjan ja kannen rakenteet, 30 % tulosta $L_{WL} * B_{WL}$

Kyljen rakenteet, 30 % tulosta $L_{WL} * D$

jossa

D rungon kokonaiskorkeus

Hyvin suurien rakenneosien mitoituspainneiden ei tarvitse olla suurempia kuin:

Pohjan rakenteille, $0,45 * m_{LDC}^{0,33}$, mutta ei $< 5 \text{ kN/m}^2$

Kyljen rakenteille, $0,3 * m_{LDC}^{0,33}$, mutta ei $< 5 \text{ kN/m}^2$

Kannen rakenteille, 5 kN/m^2

4.5.4 Pitkittäisen painejakauman kerroin k_L

Pitkittäinen painejakauman kerroin ottaa huomioon painekuormien vaihteluja eri kohdissa veneen paneeleita. Kertoimen pystyy lukemaan ISO 112215-5 standardin kuvasta 3 tai alla olevan kaavan avulla. (1.)

$$k_L = \frac{1-0,167*n_{CG}}{0,6} * \frac{x}{L_{WL}} + 0,167 * n_{CG} \quad \text{mutta ei} > 1 \text{ kun } \frac{x}{L_{WL}} > 0,6$$

x on paneelin keskikohdan tai jäykisteen puolen pituuden sijainti metreissä

4.5.5 Kyljen paineen vähennyskerroin k_z

Kyljen paineen vähennyskerroin muuttaa veneen kylkeen kohdistuvaa painetta käyttäen kannen painetta laidan yläreunalla sekä pohjan painetta vesilinjan kohdalla. (1.)

$$k_z = \frac{Z - h}{Z}$$

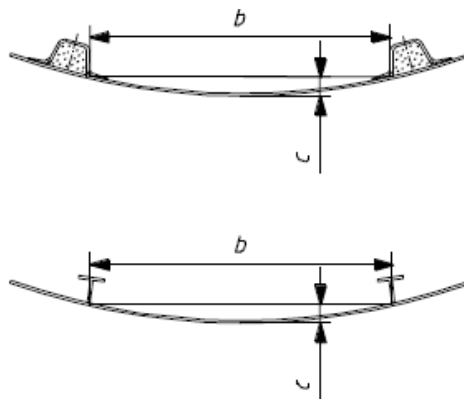
- z Rungon yläreunan tai rungon/kannen rajan korkeus metreissä vesilinjan yläpuolella m_{LDC} tilanteessa.
- h Paneelin keskikohdan tai jäykisteen puolivälin korkeus metreissä m_{LDC} tilanteessa vesilinjan yläpuolella.

4.5.6 Kaarevien paneelien korjauskerroin k_C

Mikäli tarkastelun alla oleva paneeli on kupera tai kaareva, sille annetaan kaarevuuskorjauskerroin standardin ISO 12215-5 taulukosta 6 tai tämän opinnäytetyön taulukosta 5. Kuperan kaarevuuden määrittäminen tapahtuu tämän opinnäytetyön kuvan 4 tai ISO 12215-5 standardin kuvan 12 mukaisesti. (1.)

c/b	k_C
0 to 0,03	1,0
0,03 to 0,18	$1,1 - \frac{3,33C}{b}$
>0,18	0,5

Taulukko 5. Kaarevien paneelien korjauskerroin k_C (Jere Impola, 13/10/2015)



Kuva 4. Kuperan kaarevuuden mittaus (1.)

4.5.7 Ylä- ja kansirakenteen paineen vähennyskerroin k_{SUP}

Ylä- ja kansirakenteen paineen vähennyskerroin luetaan suoraan ISO 12215-5 standardin taulukosta 4 tai tämän opinnäytetyön taulukosta 6. Tämän paineen vähennyskerroimen arvoon vaikuttaa mitoittettavan alueen sijainti. (1.)

Paneelin sijainti	Moottori- ja purjeveneiden k_{SUP}	Sovellutus
Etulaipio	1	Kaikki alueet
Sivuilla	0,67	Alue jolla kävellään
Sivuilla	0,5	Ei kävelyalue
Peräpää	0,5	Kaikki alueet
Katto <800 mm kannesta	0,5	Alue jolla kävellään
Katto >800 mm kannesta sekä yläkerrokset	0,35	Alue jolla kävellään
Yläkerrokset ^a	Kannen minimipaine 5 kN/m ²	Ei kävelyalue

^a Säältä suojassa olevat alueet on käsiteltävä yläkerroksina.

Taulukko 6. Ylä- ja kansirakenteiden paineen vähennyskerroin k_{SUP} (1.)

4.6 Mitoituspaineet

Paneelin lopullinen mitoituspainne määräytyy siitä mihin mitoitusalueeseen paneeli kuuluu. Mikäli paneeli sijoittuu kokonaan vain yhdelle mitoitusalueelle, sen mitoituspainne määritetään paneelin keskikohdassa tai jäykisteen pituuden puolivälin kohdalla. Kun mitoittettava paneeli tai jäykiste ylettyy kahdelle mitoitusalueelle, esimerkiksi pohjalle ja laidalle, on mitoituspainneeksi määritettävä vakio paine, joka kattaa koko mitoitusalueen. Vakio paine määritetään molempien mitoitusalueiden paineiden keskiarvona. (1.)

Liukuva moottorivene, suunnittelukategoriassa A tai B, on arvioitava molemmissa kulkumuodoissa, liukuvassa ja uppoumassa, kaikissa mitoitusalueissa. Mikäli liukuva moottorivene on suunnittelukategoriassa C tai D, sen kyljen paine on arvioitava molemmissa kulkumuodoissa. Mitoituspainneeksi täytyy valikoida suurempi paine. (1.)

4.6.1 Moottoriveneen pohjan paine

Moottoriveneen pohjan paine täytyy laskea erikseen uppomakulkumuodossa sekä liukuvassa kulkumuodossa. Pohjan mitoituspaineeksi valitaan suurempi paine uppouma- ja liukuvan kulkumuodon väliltä. (1.)

Moottoriveneen pohjanpaineeksi uppomakulkumuodossa on otettava suurempi arvo, joka saadaan alla olevista kaavoista P_{BMD} :

$$P_{BMD} = P_{BMD\ BASE} * k_{AR} * k_{DC} * k_L \quad kN/m^2 \quad \text{tai}$$

$$P_{BMD} = 0,45 * m_{LDC}^{0,33} + (0,9 * L_{WL} * k_{DC}) \quad kN/m^2$$

jossa;

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

$P_{BMD\ BASE}$ on pohjan peruspaine uppomakulkumuodossa.

Moottoriveneen pohjanpaineeksi liukuvassa kulkumuodossa on otettava suurempi näistä P_{BMP} :

$$P_{BMP} = P_{BMP\ BASE} * k_{AR} * k_L \quad kN/m^2 \quad \text{tai}$$

$$P_{BMP\ MIN} = 0,45 * m_{LDC}^{0,33} + (0,9 * L_{WL} * k_{DC}) \quad kN/m^2$$

jossa;

$$P_{BMP\ BASE} = \frac{0,1 * m_{LDC}}{L_{WL} * B_c} * (1 + k_{DC}^{0,5} * n_{CG}) \quad kN/m^2$$

$P_{BMP\ BASE}$ on pohjan peruspaine liukuvassa kulkumuodossa.

4.6.2 Moottoriveneen kyljen paine

Moottoriveneen kyljen mitoituspaineeiksi valikoidaan myös suurempi paine uppoumakulkumuodon ja liukuvan kulkumuodon väliltä. (1.)

Kyljenpaineeiksi uppoumakulkumuodossa on otettava suurempi näistä P_{SMD} :

$$P_{SMD} = (P_{DM\,BASE} + k_Z * (P_{BMD\,BASE} - P_{DM\,BASE})) * k_{AR} * k_{DC} * k_L \quad kN/m^2 \quad \text{tai}$$

$$P_{SM\,MIN} = 0,9 * L_{WL} * k_{DC} \quad \frac{kN}{m^2}$$

jossa;

$$P_{DM\,BASE} = 0,35 * L_{WL} + 14,6 \quad kN/m^2$$

Kyljenpaineeiksi liukuvassa kulkumuodossa on otettava suurempi näistä P_{SMP} :

$$P_{SMP} = (P_{DM\,BASE} * k_Z * (0,25 * P_{BMP\,BASE} - P_{DM\,BASE})) * k_{AR} * k_{DC} * k_L \quad kN/m^2$$

tai

$$P_{SM\,MIN} = 0,9 * L_{WL} * k_{DC} \quad kN/m^2$$

jossa

$$P_{DM\,BASE} = 0,35 * L_{WL} + 14,6 \quad kN/m^2$$

4.6.3 Moottoriveneen kannen paine

Sääkannen mitoituspaineeiksi moottoriveneessä otetaan suurempi näistä P_{DM} :
(1.)

$$P_{DM} = P_{DM\,BASE} * k_{AR} * k_{DC} * k_L \quad kN/m^2 \quad \text{tai}$$

$$P_{DM\,MIN} = 5 \quad kN/m^2$$

jossa

$$P_{DM\,BASE} = 0,35 * L_{WL} + 14,6 \text{ kN/m}^2$$

4.6.4 Ei-vesitiiviiden tai osittaisten laipioiden mitoituspaine

Ei vesitiiviit tai osittaiset laipiot on mitoitettava samalla tavalla kuin kantavat laipiot. Alumiinirakenteisessa veneessä tämä tarkoittaa sitä että ei vesitiiviit ja osittaiset laipiot on mitoitettava samalla tavalla kuin vesitiiviit laipiot. (1.)

4.6.5 Vesitiiviiden laipioiden mitoituspaine

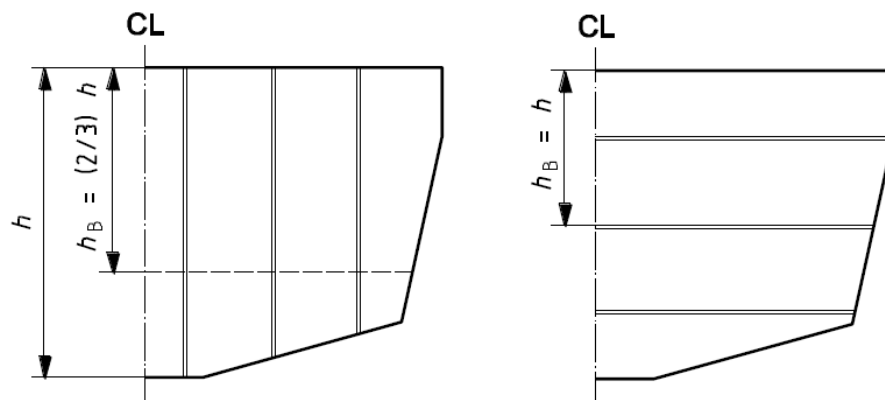
Mikäli veneessä on vesitiivis laipio tai laipioita, on niiden mitoituspaineeeksi otettava:

$$P_{WB} = 7 * h_B \text{ kN/m}^2$$

jossa

h_B = vesipatsaan korkeus, metreissä

Vesipatsaan korkeus mitataan standardin ISO 12215-5 kuvan 4 tai tämän opinnäytetyön kuvan 5 mukaisesti. (1.)



Kuva 5. Vesitiiviit laipiot (1.)

4.7 Mitat ja vaatimukset

4.7.1 Paneelien mitat ja määrittäminen

Mikäli mitoitettavalla paneelilla on selkeät jäykisteet, joihin mitoitettava alue voidaan rajata, siitä on otettava b ja l mitta. b mitta on paneelin lyhyempi reuna ja l mitta paneelin pidempi reuna kahden läheisen jäykisteen välissä. Jos veneessä käytetään jäykisteenä hattu-tyyppisiä jäykisteitä, mitta on otettava uoman alareunasta läheisen jäykisteen uoman alareunaan tai laipioon. Mikäli paneelit eivät ole suorakaiteen muotoisia on arvioitava pinta-alaltaan vastaavan kokoinen suorakaidepaneeli ja käyttää sen b ja l mittoja. (1.)

Mitoituksessa on otettava huomioon myös rakenteiden luontevat ja varsinaiset jäykisteet. Esimerkiksi pohjan keskilinjan V-muoto ja veneen palleista ovat yleensä luontevia jäykisteitä. Luontevissa jäykisteissä on tulkinnanvaraa. Mikäli kahden paneelin kulma on $< 130^\circ$ ja yhdyskohdassa terävä kulma tai pieni säde on pääsääntöisesti kyseessä luonteva jäykiste. Varsinaisia jäykisteitä ovat esimerkiksi pääpalkit, pohjapalkisto, pitkittäiset jäykisteet, kaaret ja sisustusmoduulit. (1.)

4.7.2 Paneelin taivutusmomentti ja leikkausvoima

Rakennelaskelman periaate on, että tietyn paneelin leikkausvoimaa tai taivutusvoimaa ei tarvitse erikseen laskea, koska ne on otettu huomioon materiaalin paksuusvaatimuksissa. Alla kuitenkin on esitetty kaavat, joilla kyseiset arvot voidaan laskea: (1.)

$$F_d = \sqrt{k_C} * k_{SHC} * P * b * 10^{-3} \quad N/mm$$

$$M_d = 83,33 * k_{C^2} * 2k_2 * P * b^2 * 10^{-6} \quad Nmm/mm$$

jossa;

F_d *Leikkausvoima b-mitan keskellä*

M_d *Taivutusmomentti b-suuntaan*

k_C	<i>Kaarevien paneelien korjauskerroin</i>
k_{SHC}	<i>Leikkauslujuuden sivusuhteiden kerroin</i>
P	<i>Paneelin mitoituspaine</i>
b	<i>Paneelin lyhyt reuna</i>
k_2	<i>Paneelin taivutuslujuuden sivusuhteiden kerroin</i>

4.7.3 Jäykisteiden mitat ja vaatimukset

Veneen paneelit on tuettava jäykisteillä, joista kuormitukset siirtyvät tehokkaasti, joko suoraan tai toisen jäykisteen kautta, laidoitukseen ja laipioihin. Jäykisteistä tarvitaan mitta s , joka on jäykisteiden keskiviivojen väli. Jos jäykisteitä on eri välityksillä peräkkäin kolme, otetaan mitaksi kolmen välin keskiarvo. Jos jäykisteet eivät ole symmetrisiä, otetaan mitta s uumien keskiviivojen välistä. (1; 2.)

Jäykisteen pituus l_u on jäykisteen pituus tukipisteiden välissä. Jos jäykiste on hattu-tyyppiä, otetaan mitaksi hattu-jäykisteiden keskiviivojen väli. (1,2.)

l_u arvoksi ei kuitenkaan tarvitse ottaa $>330 * L_H$

4.7.4 Jäykisteen tehollinen alalaippa, b_e

Taivutuskuormitukseen osallistuu jäykisteen tehollinen laippa, joka on jäykisteen materiaalista määräytyvä tietyn levyinen alalaipan kaistale. Tehollisen laipan leveys saadaan laskettua standardin 12215-5 taulukosta 19 tai tämän opinnäytetyön taulukosta 7. Taulukon kaavat pätevät kaikille jäykisteille. Jos jäykiste sijaitsee aukotuksen reunassa, on jäykistelaipan teholliseksi leveydeksi otettava 50 % saadusta alalaipan leveydestä. (1.)

Materiaali	Teräs	Alumiini	Umpilaminaatti	Kerrosrakente	Puu, vaneri
b_e	80 t	60 t	20 t	$20 (t_o + t_i)^a$	15 t
^a Alalaipan leveys on 20 kertaa sisä- ja ulkokuoren yhteispaksuus, välissä oleva ydinmateriaali katsotaan olevan tehoton, ts. $E_{ydin} = 0$.					

Taulukko 7. Jäykisteen tehollisen alalaipan leveys, b_e (1.)

4.7.5 Jäykisteen kaarevuus- ja leikkauspinta-alakerroin, k_{CS} ja k_{SA}

Jäykisteiden kaarevuuskerroin k_{CS} ja leikkauspinta-alakerroin k_{SA} luetaan suoraan standardin 12215-5 taulukoista 16 ja 17 tai tämän opinnäytetyön taulukoista 8 ja 9. (1.)

$\frac{c_u}{l_u}$	k_{CS}
0 to 0,03	1
0,03 to 0,18	1,1 – 3,33 (c_u/l_u)
> 0,18	0,5

Taulukko 8. Jäykisteiden kaarevuuskertoimen k_{CS} arvoja (1.)

Jäykisteen kiinnitys	k_{SA}
Kiinnitetty alalaippaansa	5
Ei kiinnitetty (kelluva)	7,5

Taulukko 9. Jäykisteiden leikkauspinta-alakerroin k_{SA} arvot (1.)

4.7.6 Jäykisteiden mitoitusjännitykset

Jäykisteiden mitoitukseen tarvitaan veto- ja puristusjännityksen mitoitusarvo sekä leikkausjännityksen mitoitusarvo. Ne löytyvät tämän opinnäytetyön taulukosta 10.

Hitsatun alumiinisen jäykisteen veto- ja puristusjännityksen mitoitusarvo (σ_d) saadaan laskettua kertomalla materiaalin vetojännitys arvolla 0,7. Leikkausjännityksen mitoitusarvo (T_d) saadaan kertomalla materiaalin vetojännitys arvolla 0,4. (1.)

Mikäli veneen jäykisteet ovat terästä, lasketaan veto- ja puristusjännityksen mitoitusarvo kertomalla materiaalin vetojännitys arvolla 0,8. Leikkausjännityksen mitoitusarvo saadaan kertomalla materiaalin vetojännitys arvolla 0,45. (1.)

Jäykisteen materiaali	Veto- ja puristusjännityksen mitoitussarvo σ_d	Leikkausjännityksen mitoitussarvo T_d
Alumiiniseos	$0,7 \times \sigma_{yw}$	$0,4 \times \sigma_{yw}$
Teräs	$0,8 \times \sigma_y$	$0,45 \times \sigma_y$

Taulukko 10. Jäykisteiden mitoitussarvot (1.)

Standardi ISO 12215-5 määrittää, että jäykisteen vähimmäisleikkausmyöntölujuudeksi ei oteta teräkselle alle $0,58 \times \sigma_y$ eikä alumiiniseoksille alle $0,58 \times \sigma_{yw}$.

Jäykisteen vähimmäistaivutusvastus sekä leikkauspinta-ala lasketaan alla olevilla kaavoilla.

$$SM = \frac{83,33 * k_{CS} * P * s * l_u^2}{\sigma_d} * 10^{-9} \text{ cm}^3$$

$$A_W = \frac{k_{SA} * P * s * l_u}{T_d} * 10^{-6} \text{ cm}^2$$

jossa

SM on jäykisteen uuman vähimmäistaivutusvastus

A_W on jäykisteen uuman poikkipinta eli leikkauspinta-ala

σ_d on jäykisteen mitoitussännitys

T_d on jäykisteen leikkausjännitys

k_{SA} on jäykisteen leikkauspinta-alakerroin

k_{CS} on jäykisteen kaarevuuskerroin

P on paneelin paine

s on jäykisteiden väli

l_u on jäykisteen pituus

4.7.7 Ylimääräiset jäykisteet

Mikäli veneessä käytetään jäykisteitä, jotka eivät saavuta standardin ISO 12215 vaatimuksia jäykkyyden tai lujuuden suhteen tai niitä ei ole tarkoitettu paneelin mittojen pienentämiseen, voidaan ne määritellä tehottomiksi. Nämä

tehottomat jäykisteet kuitenkin keräävät kuormia viereisistä paneeleista tai rakenteista, mikä tarkoittaa sitä, että jäykiste tai rakenne voi vaurioitua. Tämä mahdollistaa sen että tehottomaksi määritetty jäykiste aiheuttaa halkeamia esimerkiksi veneen rungossa. (1.)

5 RAKENNELASKELMA TYÖKALUNA

5.1 Veneen perusparametrit ja materiaalin mekaaniset ominaisuudet

Ensimmäinen vaihe rakenneanalyysin suorittamisessa on syöttää veneen perustiedot Excel- laskelmaan. Perustietoja ovat veneen massa täydellä kuormalla (m_{LDC}), rungon pituus (L_H), vesilinjan pituus (L_{WL}), rungon leveys (B_H), palteen leveys (B_C), laidan korkeus (H_S), varalaidan korkeus (Z), pohjan kulma ($\beta_{0,4}$), maksimi nopeus (V_{MAX}) ja haluttu suunnittelukategoria. Näiden perustietojen syöttämisen jälkeen rakenneanalyysi ilmaisee onko kyseessä liukuva vai uppoumarunkoinen vene ja veneen dynaamisen kuormituskertoimen (n_{CG}). Tämän jälkeen työkalu laskee automaattisesti veneen pohjan minimi paineen, pohjan paineen uppouma- ja liukutilassa, kannen paineen sekä laidan ja kannen minimi suunnittelupaineet. Tämän opinnäytetyön kuvassa 6 on esitetty esimerkki veneen perustietojen syöttämisestä ja suunnittelupaineiden ilmaisusta. (1; 5.)

Kun perusparametrit on syötetty ja veneeseen vaikuttavat paineet saatu selville, on valittava käytettävä alumiinilaatu ja syötettävä sen mekaaniset ominaisuudet analyysiin. Mekaaniset ominaisuudet levypaneeleille voidaan lukea suoraan standardista ISO 12215-5 taulukosta F.1 ja jäykisteille saman standardin taulukosta F.2 tai tämän opinnäytetyön taulukoista 11 ja 12. Alumiinilaatua vaihtamalla voidaan vertailla eri peltilaatujen vaikutusta vaadittuihin peltipaksuuksiin ja jäykisteiden mittoihin. Tämän opinnäytetyön kuvassa 7 on esitetty esimerkki alumiinin mekaanisten ominaisuuksien syöttämisestä analyysiin. (1.)

Arvot newton per neliömillimetri

Levyjen mitoitussännitykset											
Teräs			Lämpökäsittely	σ_u	σ_{uw}	σ_y	σ_{yw}	σ_d/σ_u	σ_d/σ_y	σ_d	$\tau_d^{a)}$
E24 / A				400	400	235	235	0,6	0,9	212	123
E32 – AH 32				470	470	315	315	0,6	0,9	282	164
E36 – AH 36				490	490	355	355	0,6	0,9	294	171
Alumiiniseokset (ei-lämpökäsittävät)											
EN viittaus	Tuote ja paksuus	Seos	Lämpökäsittely	σ_u	σ_{uw}	σ_y	σ_{yw}	σ_d/σ_u	σ_d/σ_y	$\sigma_d^{b)}$	$\tau_d^{a)}$
EN AW-5052	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 2,5	H32	210	170	160	65	0,6	0,9	59	34
EN AW-5052	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 2,5	H34	235	170	180	65	0,6	0,9	59	34
EN AW-5754	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 3	0/H111	225	190		80	0,6	0,9	72	42
EN AW-5754	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 3	H24	240	190	190	80	0,6	0,9	72	42
EN AW-5154A	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 3,5	0/H111	215	215	85	85	0,6	0,9	77	44
EN AW-5154A	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 3,5	H24	240	215	200	85	0,6	0,9	77	44
EN AW-5086	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 4	0/H111	240	240	100	100	0,6	0,9	90	52
EN AW-5086	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 4	H34	275	240	185	100	0,6	0,9	90	52
EN AW-5083	Levy, rima, laatta t < 6	Al,Mg 4,5 Mn 0,7	0/H111	275	270	125	125	0,6	0,9	113	65
EN AW-5083	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 4,5 Mn 0,7	H32	305	270	215	125	0,6	0,9	113	65
AA 5059 Alustar	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 5-6	0/H111	330	300	160	160	0,6	0,9	144	84
AA 5059 Alustar	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 5-6	H34	370	300	270	160	0,6	0,9	144	84
EN AW-5383	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 4,5 Mn 0,9	0/H111	290	290	145	145	0,6	0,9	131	76
EN AW-5383	Levy, rima, laatta 3 < t < 50	Al,Mg 4,5 Mn 0,9	H34	305	290	220	145	0,6	0,9	131	76

a) Tätä arvoa ei erityisesti vaadita standardin ISO 12215 tässä osassa; sitkeiden materiaalien arvo on 0,58 σ_d .

b) Mitoitussännityksen arvo pätee hitsatulle alumiinille. Hitsaamattomalle (niitattu tai liimattu) $\sigma_d = \min(0,6 \sigma_{uw}$ tai $0,9 \sigma_{yw}$) ts. hitsaamaton arvo.

HUOM. σ_u ja σ_y ovat vetojännityksiä.

Taulukko 11. Metallilevyjen lujuusarvot ja mitoitussännitykset (1, Liite F.)

Arvot newton per neliömillimetri

Jäykisteiden mitoitusjännitykset										
Teräs				σ_u	σ_{uw}	σ_y	σ_{yw}	σ_d/σ_y	σ_d	τ_d
E24 / A				400	400	235	235	0,8	188	106
E32 - AH 32				470	470	315	315	0,8	252	142
E36 - AH 36				490	490	355	355	0,8	284	160
Alumiiniseokset (ei-lämpökäsiteltävät)										
EN viittaus	Tuote ja paksuus	Seos	Lämpökäsittely	$\sigma_u^{a)}$	$\sigma_{uw}^{a)}$	σ_y	σ_{yw}	σ_d/σ_{yw}	$\sigma_d^{b)}$	τ_d
EN AW-5052	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 2,5	H32	210	170	160	65	0,7	46	64
EN AW-5052	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 2,5	H34	235	170	180	65	0,7	46	72
EN AW-5754	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 3	0/H111	225	190	80	80	0,7	56	32
EN AW-5754	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 3	H24	240	190	190	80	0,7	56	76
EN AW-5154A	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 3,5	0/H111	215	215	85	85	0,7	60	34
EN AW-5154A	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 3,5	H24	240	215	200	85	0,7	60	80
EN AW-5086	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 4	0/H111	240	240	100	100	0,7	70	40
EN AW-5086	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 4	H34	275	240	185	100	0,7	70	74
EN AW-5083	Levy, rima, laatta $t < 6$	Al,Mg 4,5 Mn 0,7	0/H111	275	275	125	125	0,7	88	50
EN AW-5083	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 4,5 Mn 0,7	H32	305	275	215	125	0,7	88	86
AA 5059 Alustar	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 5-6	0/H111	330	300	160	160	0,7	112	64
AA 5059 Alustar	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 5-6	H32	370	300	270	160	0,7	112	108
EN AW-5383	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 4,5 Mn 0,9	0/H111	290	290	145	145	0,7	102	58
EN AW-5383	Levy, rima, laatta $3 < t < 50$	Al,Mg 4,5 Mn 0,9	H32	305	290	220	145	0,7	102	88
Alumiiniseokset (lämpökäsiteltävät)										
EN AW-6060	Profiilit, tangot, putket $3 < t < 25$	Al,Mg Si	T5,T6	190	95	150	65	0,7	46	26
EN AW-6061	Profiilit, tangot, putket $3 < t < 25$	Al,Mg1, Si Cu	T5,T6	260	165	240	115	0,7	81	46
EN AW-6061	Suljetut profiilit	Al,Mg1, Si Cu	T5,T6	245	165	205	115	0,7	81	46
EN AW-6063	Profiilit, tangot, putket $3 < t < 25$	Al,Mg 0,7 Si	T5	150	100	110	65	0,7	46	26
EN AW-6063	Profiilit, tangot, putket $3 < t < 52$	Al,Mg 0,7 Si	T6	205	100	170	65	0,7	46	26
EN AW-6005A	Profiilit, tangot, putket $3 < t < 51$	Al,Si,Mg (A)	T5,T6	260	165	215	115	0,7	81	46
EN AW-6005A	Suljetut profiilit $3 < t < 50$	Al,Si,Mg (A)	T5,T6	250	165	215	115	0,7	81	46
EN AW-6082	Profiilit, tangot, putket $3 < t < 25$	Al,Si 1,Mg,Mn	T5,T6	310	170	260	115	0,7	81	46
EN AW-6082	Suljetut profiilit	Al,Si 1,Mg,Mn	T5,T6	290	170	240	115	0,7	81	46
EN AW-6106	Profiilit, tangot, putket $3 < t < 25$	Al,Mg,Si,Mn	T6	240	240	195	195	0,7	81	78
a) Murtolujuudet annettu vain tiedoksi, koska mitoitusjännitykset perustuvat hitsatun materiaalin myötölujuuteen.										
b) Mitoitusjännityksen arvo pätee hitsatulle alumiinille. Hitsaamattomalle (niitattu tai liimattu): $\sigma_d = 0,7 \times \sigma_y$ hitsaamaton ja $\tau_d = 0,4 \times \sigma_y$ hitsaamaton.										
HUOM. σ_u ja σ_y ovat vetojännityksiä.										

Taulukko 12. Jäykisteiden mitoitusjännitykset (1, Liite F.)

ISO 12215-5				
6.1	Dimension and data	Mitat ja data		
	Loaded displacement (kg)	Massa täydellä kuormalla (kg)	m_{LDC}	4 800
	Hull length (m)	Rungon pituus (m)	L_H	9,80
	Waterline length (m)	Vesilinjan pituus (m)	L_{WL}	8,70
	Hull beam (m)	Rungon leveys (m)	B_H	3,02
	Chine beam (m)	Palteen leveys (m)	B_C	2,75
	Topside height (mm)	Laidan korkeus (mm)	H_s	1 200
	Freeboard (mm)	Varalaita (mm)	Z	1 400
	Deadrise angle (°)	Pohjan kulma (°)	$\beta_{0,4}$	17,0
	Maximum speed in calm water (kn)	Maksimi nopeus tyynessä vedessä (solmua)	V_{max}	25
7.2	Design category (A,B,C,D)	Suunnittelukategoria (A,B,C,D)	-	B
	Design category factor	Suunnittelukategorian kerroin	k_{DC}	0,8
	Design speed (kn)	Suunnittelu nopeus (solmua)	V	25,0
	Mode (planing or displacement)	Moodi (Liukuva tai uppouma)	-	Planing
7.3	Dynamic load factor	Dynaaminen kuormituskerroin	n_{CG}	4,2
8	Design pressures	Suunnittelu paineet		
8.1.2	Bottom pressure in displacement mode (kPa)	Pohjan paine uppouma tilassa (kPa)	$P_{BMD\,BASE}$	59,4
8.1.3	Bottom pressure in planing mode (kPa)	Pohjan paine liuku tilassa (kPa)	$P_{BMP\,BASE}$	94,8
8.1.2	Bottom minimum pressure (kPa)	Pohjan minimi suunnittelu paine (kPa)	$P_{BM\,MIN}$	13,6
8.1.4	Side minimum pressure (kPa)	Laidan minimi suunnittelu paine (kPa)	$P_{SM\,MIN}$	6,3
8.1.4	Deck minimum pressure (kPa)	Kannen minimi suunnittelu paine (kPa)	$P_{DM\,MIN}$	5,0
8.1.6	Deck pressure (kPa)	Kannen paine (kPa)	$P_{DM\,BASE}$	17,6

Kuva 6. Veneen perustiedot ja suunnittelu paineet (Jere Impola 18/11/2015)

ISO 12215-5				Valittu alumiini:
Annex F	Mechanical properties	Mekaaniset ominaisuudet		EN AW 5083 H111
	Aluminium design stress for plating (Mpa)	Alumiinin suunnittelu lujuudet paneeleille/levyille	σ_{yw}	125
			σ_{op}	113
	Aluminium design stress for stiffener (Mpa)	Alumiinin suunnittelu lujuudet jäykisteille	σ_{as}	88
			τ_{as}	50
	Tensile yield strength (Mpa)	Vetolujuus (Mpa)	σ_y	125
10.6.2	Minimum thickness	Minimi paksuus		
	Thickness factor	Paksuus kerroin	A	1,0
	Thickness factor	Paksuus kerroin	k_s	1,00
	Thickness factor bottom	Pohjan paksuus kerroin	k_7	0,02
	Thickness factor	Paksuus kerroin	k_8	0,1
	Minimum thickness at bottom (mm)	Pohjan minimi paksuus (mm)	t_{minb}	3,14
	Minimum thickness at side & transom (mm)	Laidan ja peräpeilin minimi paksuus (mm)	t_{mins}	2,64

Kuva 7. Materiaalin mekaaniset ominaisuudet (Jere Impola 18/11/2015)

5.2 Materiaalivahvuuksien määrittäminen

Veneen perusparametrit ja materiaalin mekaaniset ominaisuudet määrittävät veneen vaaditut levypaksuudet pohjassa ja kyljessä. Levypaksuuden määrittämiseen täytyy kuitenkin syöttää tiedot jäykisteistä. Tässä vaiheessa jäykisteistä tarvittavia tietoja ovat niiden määrä, pituus tukipisteiden välissä sekä leveys. Tämän opinnäytetyön kuvassa 8 on nähtävillä rakenneanalyysin mukainen pohjanlevypaksuuden määrittäminen sekä kuvassa 9 kyljen levypaksuuden määrittäminen.

Alumiinipaneelin vähimmäispaksuus millimetreissä saadaan alla olevasta kaavasta. Rakenneanalyysi ei kuitenkaan ota huomioon valmistustekniikan vaikutuksia materiaaliin tai korroosiovaaraa. Paneelin mitoituspaineksi on otettava mitoitusalueen mukainen mitoituspaine. (1.)

$$t = b * k_c * \sqrt{\frac{P * k_2}{1000 * \sigma_d}} \quad mm$$

jossa

t	Paneelin vähimmäispaksuus
b	Paneelin lyhyt reuna
k_c	Paneelin kaarevuuskorjauskerroin
P	Mitoitusalueen mitoituspaine
k_2	Paneelin taivutuslujuuden sivusuhtekerroin
σ_d	Paneelin mitoitusjännitys

9.1	Dimensions of plating panels and stiffeners	Paneelien ja jäykisteiden mitat		
	Number of floor	Poikittaisjäykisteiden määrä (kpl)	n	10
	Number of longitudinals/side	Pituusjäykisteiden määrä/puoli (kpl)	m	3
	Distance between floors (mm)	Poikittaisjäykisteiden pituus, tukipisteiden välissä (mm)	L_u	792
	Distance between longitudinals (mm)	Pituusjäykisteiden väli (mm)	s	905
	Width of longitudinal (mm)	Pituusjäykisteiden leveys (mm)	W	250
	Width of floor (mm)	Poikittaisjäykisteiden leveys (mm)	F	150
	Large dimension of the panel (mm)	Paneelin pitkä reuna (mm)	l	642
	Short dimension of the panel (mm)	Paneelin lyhyt reuna (mm)	b	655
	Bottom panel	Pohja		
7.4	Long placement of panel (m)	Paneelin keskikohdan tai puolen pituuden sijainti (m)	x	3,5
	Long side of panel from drawing (mm)	Paneelin pitkä reuna, piirustuksista (mm)	l	642
	Short side of panel from drawing (mm)	Paneelin lyhyt reuna, piirustuksista (mm)	b	655
7.4	Longitudinal pressure distribution factor	Pitkittäisen painejakauman kerroin	k_L	0,9
	Design area (m ²)	Mitoitus pinta-ala (m ²)	A_d	0,420
7.5	Area reduction factor, displacement	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, uppouma	k_{ARD}	0,603
	Area reduction factor, planing	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, liukuva	k_{ABP}	0,463
8.1.2	Motor craft bottom pressure, displacement (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine uppouma tilassa (kPa)	P_{BMD}	25,7
8.1.3	Motor craft bottom pressure, planing (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine liuku tilassa (kPa)	P_{BMP}	39,4
8.1	Motor craft bottom pressure, design (kPa)	Moottoriveneen mitoitus/suunnittelu paine (kPa)	P_{BM}	39,4
10.1.2	Panel aspect ratio factor	Paneelin sivusuhtekerroin lujuudelle	k_2	0,308
10.1.3	Panel curvature height	Paneelin nuolikorkeus	c	0
	Panel curvature factor	Kaarevien paneelien korjauskerroin	k_c	1,00
10.3	Required thickness for aluminium plating (mm)	Vaadittu paksuus alumiini levyille (mm)	t	6,80
	Chosen thickness (mm)	Valittu levypaksuus pohjaan (mm)	t	7

Kuva 8. Pohjan vaadittu levypaksuus (Jere Impola 18/11/2015)

9.1	Dimensions of plating panels and stiffeners	Paneelien ja jäykisteiden mitat		
	Number of frames	Poikittaisjäykisteiden määrä (kpl)	n	10
	Number of longitudinals/side	Pituusjäykisteiden määrä/puoli (kpl)	m	1
	Distance between frames (mm)	Poikittaisjäykisteiden pituus, tukipisteiden välissä (mm)	L_u	1150
	Distance between longitudinals (mm)	Pituusjäykisteiden väli (mm)	s	955
	Width of longitudinal (mm)	Pituusjäykisteiden leveys (mm)	W	100
	Width of frame (mm)	Poikittaisjäykisteiden leveys (mm)	F	50
	Large dimension of the panel (mm)	Paneelin pitkä reuna (mm)	l	1100
	Short dimension of the panel (mm)	Paneelin lyhyt reuna (mm)	b	855
	Topside panel	Kylki		
	Long placement of panel (m)	Paneelin keskikohdan tai puolen pituuden sijainti	x	3,5
	Long side of panel from drawing (mm)	Paneelin pitkä reuna, piirustuksesta (mm)	l	1100
	Short side of panel from drawing (mm)	Paneelin lyhyt reuna, piirustuksesta (mm)	b	855
7.4	Longitudinal pressure distribution factor	Pitkittäisen painejakauman kerroin	k_L	0,9
	Design area	Mitoitus pinta-ala (m^2)	A_d	0,941
7.5	Area pressure reduction factor, displacement	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, uppouma	k_{ARD}	0,452
	Area pressure reduction factor, planing	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, liukuva	k_{ARP}	0,363
6.2.3	Height of panel center from D_{WL} (mm)	Paneelin keskikohdan sijainti vesilinjasta (mm)	h	678
7.6	Hull side pressure reduction factor	Kyljen paineen vähentämiskerroin	k_z	0,516
8.1.4	Motor craft side pressure, displacement (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine uppouma tilassa (kPa)	P_{SMD}	12,7
8.1.5	Motor craft side pressure, planing (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine liuku tilassa (kPa)	P_{SMP}	6,3
8.1	Motor craft side pressure, design (kPa)	Moottoriveneen mitoitus/suunnittelu paine (kPa)	P_{SM}	12,7
10.1.2	Panel aspect ratio factor	Paneelin sivusuhtekoroin lujuudelle	k_2	0,409
10.1.3	Panel curvature height	Paneelin nuolikorkeus	c	0
	Panel curvature factor	Kaarevien paneelien korjauskoroin	k_c	1,00
10.3.2	Required thickness for aluminium plating (mm)	Vaadittu paksuus alumiini levyille (mm)	t	5,8
	Chosen thickness (mm)	Valittu levy paksuus (mm)	t	6

Kuva 9. Kyljen vaadittu levypaksuus (Jere Impola 18/11/2015)

5.3 Jäykisteiden määrittäminen

Jäykisteiden vaaditut ääriimitat saadaan syöttämällä jäykisteen materiaalin paksuus, jäykisteen uuman paksuus, jäykisteen korkeus sekä jäykisteen leveydet. Ennen tätä on täytynyt määrittää poikittaisjäykisteiden pituus tukipisteiden välissä sekä pituusjäykisteiden väli. Myös jäykisteen kaarevuuskoroin (k_{CS}) ja jäykisteen leikkauspinta-alakerroin on määritettävä. Leikkauspinta-alaan kertoimen arvo jäykisteelle on 5, jos jäykiste on kiinnitetty alalapaan ja 7.5, mikäli jäykiste on kelluva. Tämän opinnäytetyön kuvassa 10 on esitetty esimerkki pohjan pituusjäykisteiden määrittämisestä ja kuvassa 11 pohjan poikittaisjäykisteiden määrittämisestä. Kyljen jäykisteiden mitoitus tapahtuu samalla tavalla, mutta mitoituspaine määräytyy moottoriveneen kyljen paineesta.

Longitudinal stiffener	Pituusjäykiste		
Distance between floors (mm)	Poikittaisjäykisteiden pituus, tukipisteiden välissä (mm)	L_u	792
Distance between longitudinals (mm)	Pituusjäykisteiden väli (mm)	s	905
7.4 Longitudinal pressure distribution factor	Pitkittäisen painejakauman kerroin	k_L	0,7
Design area	Mitoitus pinta-ala (m ²)	A_d	0,716
7.5 Area pressure reduction factor, displacement	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, uppouma	k_{AD}	0,332
Area pressure reduction factor, planing	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, liukuva	k_{ADP}	0,394
8.1.2 Motor craft bottom pressure, displacement (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine uppouma tilassa (kPa)	P_{EMD}	13,6
8.1.3 Motor craft bottom pressure, planing (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine liuku tilassa (kPa)	P_{EMPP}	26,0
8.1 Motor craft bottom pressure, design (kPa)	Moottoriveneen mitoitus/suunnittelu paine (kPa)	P_{EM}	26,0
11.2.1 Stiffener curvature height	Kaarevan jäykisteen nuolikorkeus	c_u	0
Stiffener curvature factor	Jäykisteen kaarevuuskerroin	k_{ca}	1,00
11.2.2 Stiffener shear area factor (5 or 7.5)	Jäykisteen leikkauspinta-ala kerroin (5 tai 7.5)	k_{sa}	5
11.3 Tensile and compressive design stress (N/mm ²)	Veto- ja puristusjäännityksen mitoitusarvo (N/mm ²)	σ_d	88
Design shear stress (N/mm ²)	Leikkausjäännityksen mitoitusarvo (N/mm ²)	τ_d	50
11.4.1 Minimum shear area (cm ²)	Vähimmäistaivutusvastus (cm ²)	A_w	1,86
Minimum section modulus (cm ³)	Vähimmäis leikkauspinta-ala (cm ²)	SM	14,0
11.7.2 Stiffener flange thickness (mm)	Jäykisteen materiaalin paksuus (mm)	t_f	4
Stiffener web thickness (mm)	Jäykisteen uuman paksuus (mm)	t_w	8
Stiffener height (mm)	Jäykisteen korkeus (mm)	h	50
Stiffener flange width (mm)	Jäykisteen leveys päällä (mm)	d	150
Stiffener width on plate (mm)	Jäykisteen leveys levyä vasten (mm)	w	250
Bottom plate width (mm)			670
Bottom section area (mm ²)		$A1$	4690
Web area (mm ²)		$A2$	400
Flange area (mm ²)		$A3$	600
Bottom height (mm)		$y1$	3,5
Web height (mm)		$y2$	32
Flange height (mm)		$y3$	59
Neutral axes (mm)		y_o	11,4
		$a1$	7,9
		$a2$	-20,6
		$a3$	-47,6
Second moment of bottom plate		I_1	19151
Second moment of web		I_2	83333
Second moment of flange		I_3	800
Second moment of stiffener		I	1925176
Distance from neutral to lower edge		e_1	11,4
Distance from neutral to upper edge		e_2	49,6
Section modulus (cm ³)	Taivutusvastus (cm ³)	SM	38,8
Web area (cm ²)	Leikkaus pinta-ala (cm ²)	A_w	4
Compliance	Tulos		OK

Kuva 10. Pohjan pituusjäykisteiden mitoitus (Jere Impola 18/11/2015)

	Transversal stiffener	Poikittaisjäykiste		
	Distance between chines (mm)	Paiteiden etäisyys (mm)	L_c	2750
	Distance between floors (mm)	Poikittaisjäykisteiden pituus, tukipisteiden välissä (mm)	s	905
7.4	Longitudinal pressure distr. Factor	Pitkittäisen painejakauman kerroin	k_L	0,7
	Design area	Mitoitus pinta-ala (m ²)	A_d	2,496
7.5	Area pressure reduction factor, displacement	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, uppouma	k_{AED}	0,250
	Area pressure reduction factor, planing	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, liukuva	k_{APF}	0,271
8.1.2	Motor craft bottom pressure, displacement (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine uppouma tilassa (kPa)	P_{BUD}	13,6
8.1.3	Motor craft bottom pressure, planing (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine liuku tilassa (kPa)	P_{BUP}	17,9
8.1	Motor craft bottom pressure, design (kPa)	Moottoriveneen mitoitus/suunnittelu paine (kPa)	P_{BM}	17,9
11.2.1	Stiffener curvature height	Kaarevan jäykisteen nuolikorkeus	c_w	0
	Stiffener curvature factor	Jäykisteen kaarevuuskerroin	k_{ca}	1,00
11.2.2	Stiffener shear area factor (5 or 7.5)	Jäykisteen leikkauspinta-ala kerroin (5 tai 7.5)	k_{sa}	7,5
11.3	Tensile and compressive design stress (N/mm ²)	Veto- ja puristusjäännityksen mitoitusarvo (N/mm ²)	σ_d	88
	Design shear stress (N/mm ²)	Leikkausjäännityksen mitoitusarvo (N/mm ²)	τ_d	50
11.4.1	Minimum shear area (cm ²)	Vähimmäistaivutusvastus (cm ²)	A_w	6,67
	Minimum section modulus (cm ³)	Vähimmäis leikkauspinta-ala (cm ²)	SM	116,4
11.7.2	Stiffener flange thickness (mm)	Jäykisteen materiaalin paksuus (mm)	t_f	4
11.7.2	Stiffener web thickness (mm)	Jäykisteen uuman paksuus (mm)	t_w	8
11.7.2	Stiffener height (mm)	Jäykisteen korkeus (mm)	h	150
11.7.2	Stiffener flange width (mm)	Jäykisteen leveys päällä (mm)	d	125
11.7.2	Stiffener width on plate (mm)	Jäykisteen leveys levyä vasten (mm)	w	150
	Bottom plate width (mm)			570
	Bottom section area (mm ²)		$A1$	3990
	Web area (mm ²)		$A2$	1200
	Flange area (mm ²)		$A3$	500
	Bottom height (mm)		$y1$	3,5
	Web height (mm)		$y2$	82
	Flange height (mm)		$y3$	159
	Neutral axes (mm)		y_o	33,7
			$a1$	30,2
			$a2$	-48,3
			$a3$	-125,3
	Second moment of bottom plate		I_1	16293
	Second moment of web		I_2	2250000
	Second moment of flange		I_3	667
	Second moment of stiffener		I	1655510
	Distance from neutral to lower edge		e_1	33,7
	Distance from neutral to upper edge		e_2	127,3
	Section modulus (cm ³)	Taivutusvastus (cm ³)	SM	130,1
	Web area (cm ²)	Leikkaus pinta-ala (cm ²)	A_w	12
	Compliance	Tulos		OK

Kuva 11. Pohjan poikittaisjäykisteiden mitoitus (Jere Impola 18/11/2015)

5.4 Kölin alue

Mikäli vene on suunniteltu telakoitavaksi kölinsä varaan, on hyvä käyttää myös erillistä kölijäykistettä vaikka kölialueen leikkauspinta-ala ei sitä vaatisi. Kölijäykisteen laskelma toimii samalla tavalla kuin kyljen ja pohjan jäykisteiden. Siihen on syötettävä pituusjäykisteiden väli ja poikittaisjäykisteiden etäisyys millimetreissä sekä kaarevan jäykisteen nuolikorkeus ja leikkauspinta-alan kerroin. Tämän jälkeen voidaan syöttää jäykisteen halutut mitat. Tämän opinnäytetyön kuvassa 12 on esitetty kölin alueen mitoitus. (1; 2.)

ISO 12215-6	Section modulus of keel area	Köli alueen leikkauspinta-ala		
	Minimum section modulus of keel (cm ²)	Minimi leikkauspinta-ala (cm ²)	SM_{KEEL}	34,2
8.4.2	Section modulus of plating (cm ²)	Levityksen leikkauspinta-ala (cm ²)	SM_{PLATE}	30,1
	Compliance	Tulos		FAIL
	Keel stiffener	Kölijäykiste		
	Distance between longitudinals (mm)	Pituusjäykisteiden väli (mm)	L_{cl}	905
	Distance between floors (mm)	Poikittaisjäykisteiden etäisyys (mm)	s	1810
7.4	Longitudinal pressure distribution factor	Pitkittäisen painejakauman kerroin	k_L	0,7
	Design area	Mitoitus pinta-ala (m ²)	A_d	1,638
7.5	Area pressure reduction factor, displacement	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, uppouma	k_{ARD}	0,259
	Area pressure reduction factor, planing	Pinta-alan paineen alentamiskerroin, liukuva	k_{ARP}	0,308
8.1.2	Motor craft bottom pressure, displacement (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine uppouma tilassa (kPa)	P_{EMD}	13,6
8.1.3	Motor craft bottom pressure, planing (kPa)	Moottoriveneen pohjan paine liuku tilassa (kPa)	P_{EMP}	20,3
8.1	Motor craft bottom pressure, design (kPa)	Moottoriveneen mitoitussuunnittelun paine (kPa)	P_{EMD}	20,3
11.2.1	Stiffener curvature height	Kaarevan jäykisteiden nuolikorkeus	c_u	0
	Stiffener curvature factor	Jäykisteiden kaarevuuskerroin	k_{ca}	1,00
11.2.2	Stiffener shear area factor (5 or 7.5)	Jäykisteiden leikkauspinta-ala kerroin (5 tai 7.5)	k_{SA}	5
11.3	Design stress for stiffener	Veto- ja puristusjäykkyyden mitoitussarvo (N/mm ²)	σ_d	88
	Design shear stress for stiffener	Leikkausjäykkyyden mitoitussarvo (N/mm ²)	τ_d	50
11.4.1	Minimum shear area (cm ²)	Vähimmäistäivutusvastus (cm ²)	A_{W1}	3,32
	Minimum section modulus (cm ²)	Vähimmäis leikkauspinta-ala (cm ²)	SM	28,6
11.7.2	Stiffener flange thickness (mm)	Jäykisteiden materiaalin paksuus (mm)	t_f	8
11.7.2	Stiffener web thickness (mm)	Jäykisteiden uuman paksuus (mm)	t_w	8
11.7.2	Stiffener height (mm)	Jäykisteiden korkeus (mm)	h	100
11.7.2	Stiffener flange width (mm)	Jäykisteiden leveys päällä (mm)	d	8
11.7.2	Stiffener width on plate (mm)	Jäykisteiden leveys levyä vasten (mm)	w	8
	Section modulus (cm ²)	Taivutusvastus (cm ²)	SM	41,2
	Web area (cm ²)	Leikkauspinta-ala (cm ²)	A_{W1}	8
	Compliance	Tulos		OK

Kuva 12. Kölijäykisteiden mitoitussuunnittelu (Jere Impola 18/11/2015)

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota selkeästi ja helposti käytettävä veneen rungon rakenteiden analysointityökalu sekä käydä läpi mitoituksen pääkohdat ISO 12215:n mukaisesti. Rakenteenmitoituslaskelmalla voidaan selvittää vaaditut peltipaksuudet sekä jäykisterakenteiden lähtökohdat.

Työn tavoitteet saavutettiin. Rakenteenmitoitus työkalulla saatuihin arvoihin tulee kuitenkin suhtautua suuntaa-antavina. Se on hyvä lisätyökalu esimerkiksi tuleviin tuotekehitysprojekteihin antamaan alustava arvio veneen rungon rakenteen kestävydestä ennen lopullisia FEM- analyyssejä.

Rakenteenmitoitus työkalu voitaisiin kuitenkin päivittää seuraavalle tasolle, niin että se ottaisi huomioon myös esimerkiksi lasikuidusta valmistetun kannen. Tällöin voitaisiin määrittää kannen vaaditut lujitepitoisuudet täyslaminaatilla tai ydinainerakenteella samalla kun suunnitellaan rungon rakenteita.

LÄHTEET

- 1 ISO 12215-5, vahvistettu: 15.4.2008
- 2 ISO 12215-6, vahvistettu: 1.4.2008
- 3 Veneilyturvallisuus, 23.3.2015
Saatavissa:
http://www.veneily.fi/veneilyturvallisuus/huvivenedirektiivi/olennaiset_turvallisuusvaatimukset/vakavuus_ja_kelluvuus
(Viitattu 2.12.2015)
- 4 ISO 14946, vahvistettu: 22.04.2002
- 5 ISO 8666, vahvistettu: 19.5.2015
- 6 Hietikko E. 2013: Palkki, lujuuslaskennan perusteet.
Kustantaja: Books on Demand, Helsinki, Suomi. Painopaikka: Nordstedt, Saksa.
- 7 ISO 12215-3
- 8 Kärkkäinen M. & Mikkonen P. 2006: Insinöörin mekaniikka. WSOY
Oppimateriaali Oy, 1.painos
- 9 E. Carlholt, Käännös T.Höök 28.1.2015 Alumiiniseokset
Saatavissa:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/metals_aluminum_FI.pdf
- 10 Alumeco Oy, Tekninen informaatio ja tuotteet. Viitattu 2.12.2015
Saatavissa:
http://www.alumeco.fi/Tekninen_informaatio/Tekninen_informaatio.aspx