

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Laiva- ja venetekniikka

2017

Kuisma Takala

TALONPOIKAISVENEEN RAKENTAMINEN JA LUOKITUS VUOKRAKÄYTTÖÖN

Kuisma Takala

TALONPOIKAISVENEEN RAKENTAMINEN JA LUOKITUS VUOKRAKÄYTTÖÖN

[Click here to enter text.](#)

Työssä kuvataan talonpoikaishenkisen isoveneen, Tacksamhetenin, rungon rakennusprosessi pohjasta purjeisiin. Rakennusprosessin avulla työkohteesta muodostuu käsitys ja konkreettinen kaikupohja laskuille ja kallistuskokeelle.

Isovene rakennettiin perinnetyönä Marko Nikulan kädentaidoilla, Sami Uotisen tilauksesta ja Harro Koskisen piirustusten mukaan. Tacksamheten-projektin avainsanoja ovat käsityö, perinteet ja ekologisuus.

Painolaskut olivat opinnäytetyön laskujen ensimmäinen osa. Painolaskut koostuivat veneen panopisteen ja purjepainopisteen määrittämisestä. Purjepainopisteen määrittämisessä havaittiin, että purjepainopiste sijaitsi liian lähellä veneen uppouman painopistettä. Siirtämällä mastoa keulaan 30 cm saatiin painopisteiden etäisyys toivotuksi. Painolaskujen toisessa osiossa määritettiin veneen painopisteen paikka painotaulukon avulla. Painotaulukko perustui veneen osien painopisteiden summaukseen. Painotaulukon avulla saatiin myös arvioitua veneen kokonaismassa.

Laskujen toinen osio muodostui lujuuslaskelmista. Lujuuslaskelmissa laskettiin veneen laudoituksen paksuus, sekä kaarien lujuusominaisuuksia. Tarkasteltaessa veneen lujuusominaisuuksia huomattiin perän olevan kriittisempi johtuen peräpeilin ja viimeisen kaaren pitkästä välistä. Veneen työvenetaustasta johtuva vankka rakenne kuitenkin täytti ISO SFS-EN ISO 12215-5 -standardin vaatimukset, niin laudoituksen kuin kaarienkin osalta.

Viimeisenä työssä perehdyttiin keväällä 2017 suoritettavan kallistuskokeen suunnitteluun. Kallistuskokeessa tarvittavat painot selvitettiin vakavuuslaskuilla, joiden pohjana käytettiin veneen vakavuutta kuvaavaa GZ-käyrää.

ASIASANAT:

Painolaskut, Lujuuslaskut, Kallistuskoe, Perinnevene, Isovene

Kuisma Takala

BUILDING AND CLASSIFICATION FOR RENTING OF TRADITIONAL TRADING VESSEL

- subtitle of the report (if used)

The Tacksamheten project is about building and classifying a traditional trading vessel. The description of the building process creates a foundation for understanding the project. Understanding the project is crucial for making calculations and performing the inclination test.

Tacksamheten was handcrafted by Marko Nikula, ordered by Sami Uotinen and designed by Harro Koskinen. The key words of the project are handmade, traditional and ecological.

Weight calculations were the first thing done. Calculations included the definition of the center of gravity for the boat and sails. After defining the center of gravity for the sails, it was discovered that it was too close to the center of buoyancy. This was fixed by moving the mast forward by 30 cm so that the distance between the centers of gravity matched the designed value. After defining the center of gravity for the sails, it was time to define the center of gravity for the boat. The boat's center of gravity was defined by using a weight table. The weight table was based on summarizing the centers of gravity of all parts of the boat. By using the weight table, it was possible to approximate the boat's total mass.

The second part of the calculations consisted of strength calculations which included analyzing the boat's stiffeners and plating. The minimum thickness for the plating and the strength requirements for the stiffeners were defined by strength calculations. When analyzing the results, it was noticed that the rear part of the boat was more critical than other parts. This was due to a wide gap between the transom and the last stiffener. The sturdy structure of the boat due to its background as a work boat proved to be valuable since all demands of the standard ISO SFS-EN ISO 12215 -5 were met.

The last part was to plan an inclination test for the boat. The test was set to take place later in spring 2017. The weights needed to incline the boat were calculated by using stability calculations. Stability calculations were based on the GZ-curve.

KEYWORDS:

Weight calculations, Stress calculations, Inclination test, Traditional boat

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	10
2 STORBÅT TACKSAMHETEN -PROJEKTI	11
2.1 Veneen suunnittelu	11
2.2 Veneen rakennus	12
2.2.1 Ranka, mallikaaret ja peräpeili	12
2.2.2 Laita laudoitus ja kaaret	14
2.2.3 Propulsio ja sähköjärjestelmä	19
3 PAINOLASKUT	22
3.1 Purjepainopiste	22
3.2 Veneen painopiste	23
4 LUJUUSLASKUT	25
4.1 Laudoituksen lujuuslaskut	25
4.1.1 Veneen pohjan mitoituspaine	26
4.1.2 Veneen kyljen mitoituspaine	27
4.2 Kaarien lujuuslaskut	28
4.3 Lujuuslaskujen tulokset	32
4.3.1 Laudoituksen paksuus	32
4.3.2 Kaarien lujuusominaisuudet	33
5 KALLISTUSKOE	35
6 LOPUKSI	37
LÄHTEET	38

KAAVAT

Kaava 1 Painopiste	23
Kaava 2. Laminoidun puun tai umpivanerin vaadittava paksuus. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 10.4.2).	25
Kaava 3. Purjeveneen pohjan paine. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1)	26
Kaava 4. $P_{BS\ BASE}$ kaavassa 3. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1)	26
Kaava 5 Purjeveneen pohjan minimipaine. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1)	26
Kaava 6. Pitkittäisen painejakauman kerroin. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.4.)	27
Kaava 7. Pinta-alan paineen alentamiskerroin. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.5.1.)	27
Kaava 8. Purjeveneen kyljen paine. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.2.)	27
Kaava 9. Kyljen paineen vähennyskerroin. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.6.)	28
Kaava 10. Purjeveneen kannen peruspaine. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.3.)	28
Kaava 11. Jäyhyysmomentti neutraaliakselin suhteen. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.2.)	28
Kaava 12. Jäykisteen uuman leikkauspinta-ala. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.2.)	28
Kaava 13. C:n arvo (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.2.)	29
Kaava 14. Jäykisteen taivutusvastus ylälaippaan. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.3.)	29
Kaava 15. Jäykisteen taivutusvastuksen alalaippa (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.3.)	29
Kaava 16. Mitoitusleikkausvoima (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.5.)	29
Kaava 17. Mitoitustaivutusmomentti (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.5.)	29
Kaava 18. Puujäykisteen yläpinnan jännitys. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.4.2.)	30
Kaava 19. $SM_{stiffener}$ vähimmäisarvo. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.4.2.)	30
Kaava 20. Jäykisteen uuman pinta-ala (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.4.1.)	31
Kaava 21 Jäykisteen leikkausjännitys (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.4.4.)	32
Kaava 22 Kallistavan momentin laskenta. (Kanerva & Räisänen 2000,6-1.)	35
Kaava 23. Momentin kaava. (Momentti 1 Insinööri-fysiikka, 2009, 205)	36

KUVAT

Kuva 1. Yleisjärjestys (Uotinen S,2017.)	12
Kuva 2. Veneen ranka (Uotinen S, 2014.)	13
Kuva 3. Mallikaaret & peräpeili (Nikula M, 2014.)	14
Kuva 4. Laudan kaarevuus (Uotinen S, 2014.)	15
Kuva 5. Valmis karmvinda oikealla ja keskeneräinen vasemmalla. (Uotinen S 2015.)	16
Kuva 6. Sovitetut kaariaihiot. (Uotinen S 2015.)	17
Kuva 7. Kaikki runkolaodat paikoillaan. (Uotinen S 2015.)	17
Kuva 8. Kyllästetty runko (Uotinen S, 2017.)	18
Kuva 9. Purjeiden koelevitys. (Uotinen S 2016.)	19
Kuva 10. Sähköjärjestelmän periaatekaavio (Uotinen S 2015.)	20
Kuva 11. Purjepainopisteet ja uppouman painopiste. (Uotinen S, 2016)	23

TAULUKOT

Taulukko 1. k_{DC} -arvoja suunnittelukategorian perusteella (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.2)	26
Taulukko 2 Jäykisteen kaarevuuskerroin. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.2.)	30
Taulukko 3. Jäykisteiden mitoitusjännitykset. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.3.)	31
Taulukko 4. Tavallisten puulajien lujuusarvoja. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, E.2.2.)	31
Taulukko 5. Leikkauspinta-alakerroin k_{SA} (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.2.2.)	32

KÄYTETYT LYHENTEET

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
A_s	Jäykisteen poikkipinta-ala (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.4.1).
A_w	Jäykisteen poikkipinta-ala minimi (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.4.1).
b	Paneelin lyhyempisivu (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 9.1.10).
c_u	Kaarevan jäykisteen nuolikorkeus (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.2.1).
d	Momenttivarren pituus (Momentti 1 Insinöörifysiikka 205)
GM	Alkuvaihtokeskuskorkeus (Räisänen & Kanerva, laivateorianperusteet 6-1)
GZ	Uppoumanpainopisteen poikittaissiirtymä (Räisänen & Kanerva, laivateorianperusteet 6-1)
F	Voima (Momentti 1 Insinöörifysiikka 205)
h	Paneelin tai jäykisteen keskikohdan korkeus vesisiivasta (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.6).
k_{AR}	Pinta-alan paineen alentamiskerroin (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.5).
k_{CS}	Jäykisteen kaarevuuskorjauskerroin (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.2.1).
k_{DC}	Suunnittelukategorian kerroin (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.2).
k_L	Pitkittäisen paineen jakaumakerroin (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.4).
k_R	Rakenneosan venetyypin kerroin (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.5).

k_{SA}	Jäykisteen leikkauspinta-alakerroin (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.2.2).
k_{SLs}	Slammingpaineen korjauskerroin (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.8).
k_z	Kyljen paineen vähennyskerroin (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.6).
k_2	Paneelin taivutuslujuuden sivusuhtekerroin (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 10.1.2).
M	Momentti (Momentti 1 Insinöörifysiikka 205)
P_{BS}	Purjeveneen pohjan paine (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1).
$P_{BS\text{ BASE}}$	Purjeveneen pohjan peruspaine (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1).
$P_{BS\text{ MIN}}$	Purjeveneen pohjan minimipaine (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1).
P_{SS}	Purjeveneen laidan paine (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.2).
$P_{SS\text{ MIN}}$	Purjeveneen laidan minimipaine (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.2).
$P_{DS\text{ BASE}}$	Purjeveneen kannen peruspaine (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.3).
l	Paneelin pidempi reuna (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 9.1.2).
l_u	Jäykisteen pituus (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 9.2.2).
s	Kaariväli (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 9.2.1).
t	Laudoituksen minimi paksuus (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 10.4.2).

- x Paneelin tai jäykisteen keskikohdan etäisyys lwl:n peräpäästä (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.4).
- Z Kannen korkeus vesiviivasta (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.6).

1 JOHDANTO

”Talonpoikaisvene on vene joka rakennustavaltaan, materiaaleiltaan, muodoltaan ja purjevarustukseltaan mahdollisimman läheisesti muistuttaa niitä vanhoja käyttöveneitä, joita rannikoillamme käytettiin ennen moottoreiden aikakautta.” (Koskinen 2017). Tacksamheten-veneessä kohtaavat perinnerakentaminen ja nykyajan vaatimukset. Tarkoituksena on rakentaa perinnevene vuokratyökaluun, perinteitä kunnioittaen. Vuokratyökaluun luokittaminen tapahtuu hankkimalla veneelle CE-sertifikaatti huvivenedirektiivin C-kategoriasta. CE-hyväksytty vene voidaan katsastaa vuokratyökaluksi Trafin toimesta. Työssä käsitellään veneen perinnerakentamista, lujuus- ja painolaskelmia sekä suunnitellaan kallistuskokeen toteutus. Veneen rakenteen täytyy täyttää SFS-EN ISO 12215-5 -standardin vaatimukset laudoituksen ja jäykisteiden suhteen. Veneen rakenne pohjautuu vuosisatoja vanhaan veneenrakennus perinteeseen, jonka soveltuvuutta nykystandardeihin verrataan laskelmien muodossa ja kallistuskokeella.

Aiheen tekee kiintoisaksi sen ainutlaatuisuus. Työssä tutkitaan, miten vuosisatojen aikana muokkautuneet veneenrakennusperinteet käyvät yhteen nykyaikaisten viranomaisvaatimusten kanssa. Tacksamheten-projektissa on tarkoituksena yhdistää perinteiden kunnioittaminen, käsityö, ekologisuus sekä nykyaika.

Tacksamheten-projektin tilaajana toimii Sami Uotinen. Veneenrakennuksen toteutti perinneveneveistäjä Marko Nikula ja suunnittelijana toimi Harro Koskinen. Luokituksesta vastaa Anton Salokoski, sertifioitu CE-tarkastaja. Työssä on käytetty lähteinä projektiin osallistuneiden kanssa käytyjä keskusteluja sekä heidän internet-aineistoaan. Työn uniikkista luonteesta johtuen parhaat ja käytännöllisimmät tiedot tulevat projektiin osallistuneiden ihmisten ammattitaidosta.

2 STORBÅT TACKSAMHETEN -PROJEKTI

Projektin tarkoituksena on replikoida 1500–1900-luvuilla yleisesti käytetty rahti- ja markkinavene ja luokitaa tämä vuokrakäyttöön. Venemallista käytetään nimitystä isovene eli storbåt. Tacksamheten-vene pohjautuu "Storbåt, förr och nu" Per-Ove Högnäs & Jerker Öljans -kirjassa esiintyneeseen samannimiseen veneeseen. (Uotinen 2014a.)

Tacksamheten-projekti kunnioittaa isoveneiden perinteitä monin osin, kuten rakennustavoissa, suunnittelussa sekä kosmeettisesti.

2.1 Veneen suunnittelu

Tacksamheten pohjautuu Nauvossa vuonna 1825 rakennettuun veneeseen, jonka mitat olivat

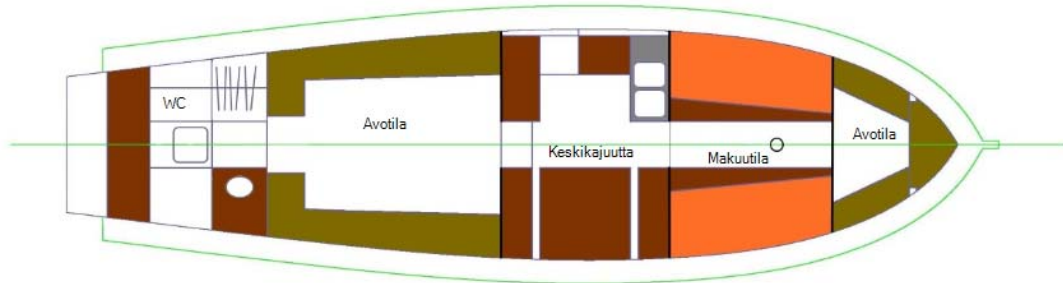
- pituus: 12 m
- leveys: 4,5 m
- syväys: 1 m

Veneeseen haluttiin myös perinteisen takakajuutan lisäksi keksikajuutta tuomaan rakenteeseen kestävyyttä. Tacksamheten-venettä suunniteltaessa haluttiin säilyttää isoveneelle tyypillinen tilavuus ja avara kansitila. Veneen ketteryyttä lisäsi Harro Koskisen piirtämät linjat. Koskisen suunnittelemat linjat säilyttivät myös isoveneelle tyypillisen ulkomuodon. Veneeseen lisätyt sivukannet mahdollistivat varalaidan integroimisen kajuuttojen rakenteeseen, näin ollen vahvistaen rakennetta. Suunnittelussa päädyttiin lopulta päämittoihin

- pituus: 12,5 m
- leveys: 3,6 m
- syväys: 0,9 m
- paino: 7000 kg,

josta painolastia noin 1000 kg. (Uotinen 2014a, Uotinen 2014b.)

Runkolinjojen muodostuttua pystyttiin suunnittelemaan veneen yleisjärjestystä (kuva 1).



Kuva 1. Yleisjärjestys (Uotinen S,2017.)

Veneen rakennuksen aikana yleisjärjestely on muuttunut useaan otteeseen. Keskikajuutan järjestys on muuttunut siten, että hana ja altaat ovat perän puoleisella laipiolla ja jääkaappi altaiden paikalla. Muilta osin kuvan 1 järjestys on paikkansa pitävä.

2.2 Veneen rakennus

Tacksamheten-projektin voidaan katsoa alkaneen talvella 2012, jolloin puut käytiin valitsemassa Evon kansallispuistosta. Talvella 2013 puut kaadettiin, sahattiin ja tapuloitiin kuivumaan (Uotinen 2014c, Uotinen 2014d.) Veneen varsinainen rakentaminen alkoi loppusyksystä 2014. Elokuussa 2014 sahatut lankut olivat kuivuneet 1,5 vuotta, joten oli aika valita käytettävä materiaali. Runkolautojen täytyi olla yli 30 cm leveitä ja vailla halkeamia (Uotinen 2014e.)

2.2.1 Ranka, mallikaaret ja peräpeili

Isoveneen ranka muodostuu keularangasta, kölistä sekä perärangasta. Elokuussa 2014 rakentaminen aloitettiin keularangasta, johon myöhemmin liitettiin kölipuu. (Uotinen 2014f). Kuvassa 2 vasemmalta oikealle näkyvät peräranka, köli, sekä keularanka.



Kuva 2. Veneen ranka (Uotinen S, 2014.)

Rankaan kiinnitettiin mallikaaret, jotka sijoittuivat varsinaisten kaarien väleihin. Mallikaaret valmistettiin vanerista helpon työstettävyyden takia ja niiden avulla laidan laudoitus noudattaa suunniteltuja linjoja. Ennen laudoituksen aloitusta oli vielä nostettava ja kiinnitettävä, noin 350 kg painava peräpeili paikalleen. Peräpeilin kiinnitys esitetty kuvassa 3. (Uotinen 2014g, Nikula 2017.)



Kuva 3. Mallikaaret & peräpeili (Nikula M, 2014.)

2.2.2 Laita laudoitus ja kaaret

Runkolaudoitus on aikaa vievää työtä perinteisin menetelmin, varsinkin näin suuressa veneessä. Pääasiassa runkolaudat koostuvat kahdesta lankusta, jotka on liimattu yhteen. Yhteen liimatut lankut ovat pituudeltaan 12-13 metriä ja vaativat useita höyläyskerroja ennen höyrytystä, eli pasutusta (Uotinen 2015a, Nikula 2017.)



Kuva 4. Laudan kaarevuus (Uotinen S, 2014.)

Pasutuksessa lautaa höyrytetään molemmista päistä, jolloin sen taivuttaminen paikoilleen on mahdollista. Paikoilleen asennetun laudan kaarevuus on havaittavissa kuvassa 4. Lautojen paikoilleen asennus tapahtuu puristimien avulla ja lopullinen kiinnitys tapahtuu niiteillä ja ruuveilla. Runkolaudoituksen paksuudesta johtuen pasutus kestää noin tunnin päästä kohden. Lautojen väliin asetetaan köysi, joka on kastettu mehiläisvahan sekä tervan seokseen. Köysi varmistaa liitoskohdan tiiviyyden. (Uotinen 2015a, Nikula 2017.)

Laudoituksen lautaparia, joka tulee kölin ja peräpeilin yhtymäkohtaan, kutsutaan karmvindaksi. Karmvinda täytyi työstää oikeaan muotoon kirveellä ja höylillä. Kuvassa 5 näkyy karmvindan muoto ennen ja jälkeen työstön. (Nikula 2017.)



Kuva 5. Valmis karmvinda oikealla ja keskeneräinen vasemmalla. (Uotinen S 2015.)

Karmvindan asentamisen jälkeen asennetaan vielä yksi lautapari, jonka jälkeen alkaa kaarien asentaminen.

Isoveneeseen asennettiin kaikkiaan 18 kaartaa, kaarivälillä 470 mm. Kaaret valmistetaan liimatuista lankuista, joista sahataan aihiot. Kuvassa 6 aihiot sovitetaan laudoitusta vasten, jolloin kaaren muoto saadaan juuri oikeaksi. (Nikula 2017.)



Kuva 6. Sovitetut kaariaihiot. (Uotinen S 2015.)

Isoveneen laudoitus jatkui tavalliseen tapaan, jossa pasutetut laudat asennettiin paikoilleen. Viimeinen eli 9. lautapari asennettiin paikoilleen noin 10 kuukautta ensimmäisen jälkeen. Yhdeksännen lautaparin laudat olivat n. 13 metriä pitkiä, joten käsittely oli haastavaa. Kuvassa 7 näkyvät paikoillaan olevat runkolaudat.



Kuva 7. Kaikki runkolaudat paikoillaan. (Uotinen S 2015.)

Laudoituksen valmistuttua vene siirrettiin Turun Wanhalle Veneveistämölle Ruissaloon, jossa kaarien muokkaus ja rungon viimeistely jatkuivat. Runkoon asennettiin mallikaarien kohdalle osuneet kaaret, pultattiin pohjatukit kölipuuhun, höylättiin kaarien sisäpuoli muotoon sekä runkolaudoituksen suuret oksankohdat porattiin ja tapitettiin. Vielä ennen rungon kyllästämistä asennettiin sivukannet sekä sivusarjat. Sivukannet tehtiin leveiksi, jotta niitä pitkin pääsee turvallisesti kulkemaan tarvittaessa. Kävely sivukannella aiheuttaa räsytystä, johon varauduttiin tukemalla laudat kaariin polviolla. (Uotinen 2015b.) Varalaita eli kiinteä sivusarja asennettiin kansien kiinnityksen jälkeen (Nikula, 2017). Varalaita valmistettiin kahdesta päällekkäin liimatusta lankusta, joiden liimaussaumot vahvistettiin upottamalla vanerista valmistetut ”tapit” lankkujen väliin. Rungon porauksiin upotetut tapitukset katkaistiin ja hiottiin tasaisiksi. Tämän jälkeen voitiin aloittaa rungon kylästys. (Uotinen 2015c.)



Kuva 8. Kyllästetty runko (Uotinen S, 2017.)

Rungon kyllästämiseen kului noin 200 litraa pellavaöljyä ja sinkkiaftenaattia. Kyllästäminen alkoi kaatamalla kyllästysseos veneen pohjalle, josta kyllästettä levitettiin kauhalla ja suurella siveltimellä laudoitukseen ja kaariin. (Nikula, 2017.)

2.2.3 Propulsio ja sähköjärjestelmä

Isoveneeseen propulsiojärjestelmä koostuu purjeista ja sähkömoottorista. Isoveneellä on tarkoitus liikkua pääasiassa purjein, onhan kyseessä purjevene. Purjevaihtoehtoina olivat isoveneiden perinteiset rikityypit (Uotinen 2016.)

- raakapurje
- spriipurje
- kahvelipurje

Isoveneessä päädyttiin kahvelirikiin ja toppipurjeeseen. Rikityyppi ja purjepainopiste vaikuttavat suoraan maston paikkaan, joka puolestaan vaikuttaa veneen ohjailtavuuteen. Isoveneeseen purjepinta-ala on 60 m^2 , ja se on jakautunut seuraavasti (Uotinen 2016.)

- isopurje 39 m^2 , kuvassa 7 vasemmalla
- fokka 13 m^2 , kuvassa 7 oikealla
- toppiseili 8 m^2 , kuvassa 7 T:llä merkitty



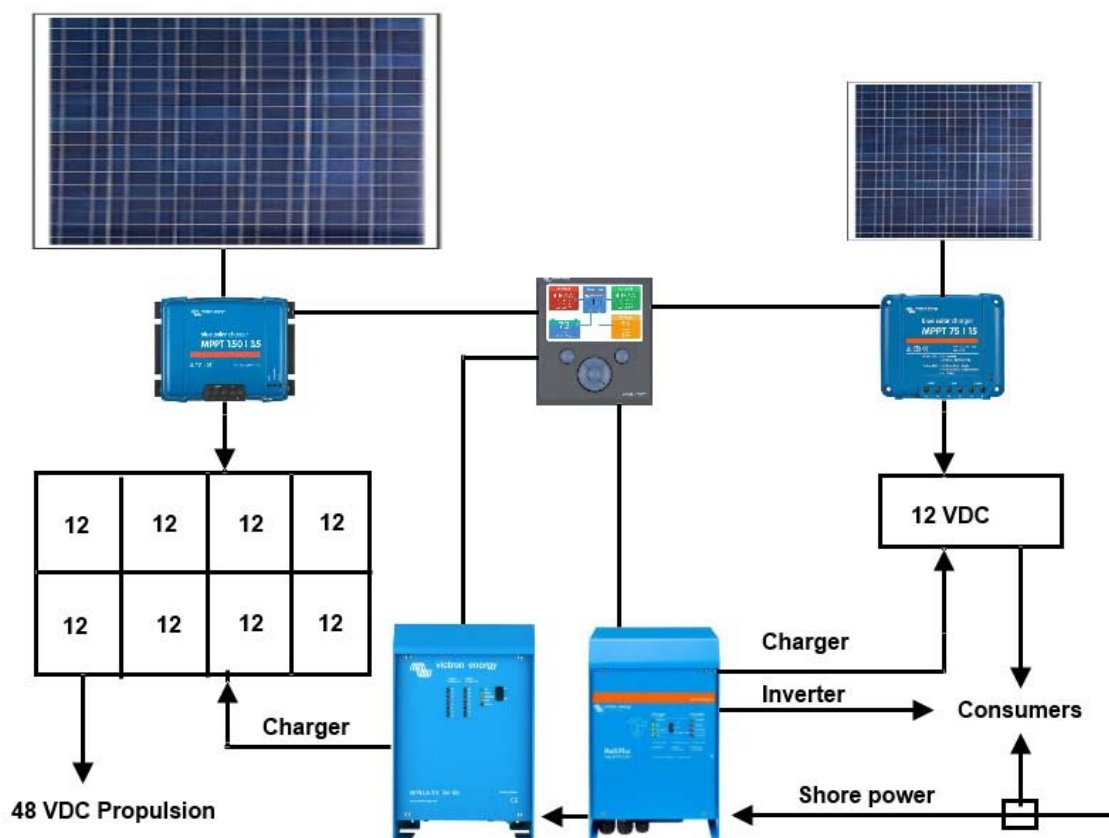
Kuva 9. Purjeiden koelevitys. (Uotinen S 2016.)

Moottori ei ole välttämätön varuste luokituksen kannalta mutta isoveneeseen haluttiin kuitenkin myös moottori helpottamaan liikkumista ahtaissa paikoissa ja tyventen varalle. Moottorin valinnassa ainoa vaihtoehto oli sähkömoottori, sillä ympäristöystävällisyys on

yksi projektin pääteemoista. Moottoriksi valittiin kotimainen Oceanvolt AX8. Moottori saa virtansa kahdesta rinnan kytketystä 4 x 12VDC akkupaketista, joista yhdessä on kapasiteettia 303 Ah. Akkujen laskennallinen ajoaika ja nopeus ovat 4 h 6 solmun nopeudella. (Uotinen 2014h.)

Isoveneessä olisi mahdollista hyödyntää potkurin pyöriminen ja ladata tällä akkujärjestelmää, mutta tämä heikentäisi veneen purjehdusominaisuuksia. Veneeseen asennettiin säätölapapotkuri, joka kääntää lavat nollakulmaan ja pysäyttää akselin, kun moottoria ei käytetä. Kääntyvät lavat vähentävät vastusta ja antavat paremman työnnön eteen ja taaksepäin ajettaessa. (Uotinen 2014h.)

Isoveneeseen sähköjärjestelmä koostuu 48 V järjestelmästä ja 12 V järjestelmästä. 48 V-järjestelmä on propulsiota varten, kun taas 12 V on muille kuluttajille. Järjestelmä kaavio näkyy kuvassa 8.



Kuva 10. Sähköjärjestelmän periaatekaavio (Uotinen S 2015.)

Sähköjärjestelmää voidaan ladata joko aurinkopaneeleilla tai maasähköllä. 48 V ja 12 V järjestelmillä on omat laturit ja järjestelmää voidaan käyttää myös suoraan maasähköllä.

12 V pääakulla on pienempi vara-akku, joka voidaan kytkeä päälle. Vara-akulla varmistetaan valojen, mittarien ja pilssipumppujen toiminta. Järjestelmää ohjataan kosketusnäytöllä ja automaattisulakkein. Sähköjärjestelmän asentaminen aiheutti haasteita, sillä veneessä haluttiin säilyttää talonpoikaishenki. (Uotinen 2015d.)

3 PAINOLASKUT

Veneen luokittaminen vuokrakäyttöön teki myös laskelmien tekemisen aiheelliseksi, vaikkakin työvene pohjalta rakennettu isovene onkin vankka. Kiinnostuksen kohteena oli myös purjepainopiste, jonka selvittäminen onnistui hyödyntämällä Autocad ohjelmaa.

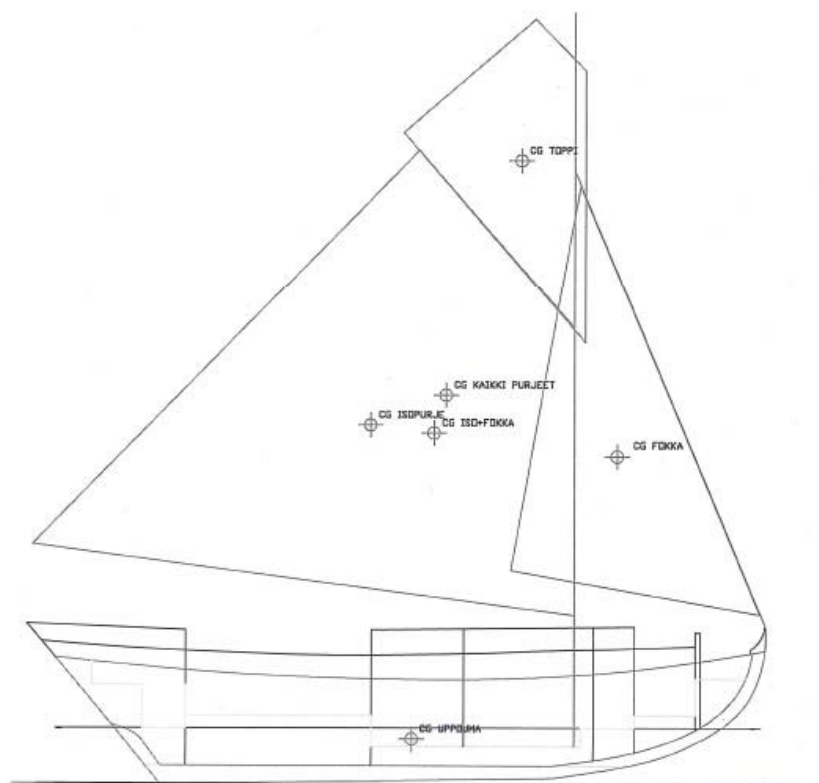
Painolaskut ovat oleellinen osa laivan vakavuutta ja täten kallistuskoeetta. Laskujen avulla kyetään määrittämään kallistuskokeessa tarvittava kallistava momentti. Isoveneitä on käytetty saaristossa rahtialuksina, joten vene ei ole painokriittinen. Veneen kantavuus on n. 5000 kg ja tyypillinen lastitilanne on 1500 – 2000 kg. Painolaskut alkoivat Kanadassa, missä aluksen runko mallinnettiin digitaaliseen muotoon. Mallinnuksen tuloksena saatiin rungon painopiste sekä alustava GZ-käyrä, joka kuvastaa veneen kykyä oikaista itsensä kallistustilanteesta. Pelkkä rungon painopiste ei kuitenkaan riitä, vaan oli syytä laskea tarkemmin, miten varustus vaikuttaa painopisteeseen. Veneen uppouman painopisteen paikka selvitetään lopullisesti vasta kallistuskokeen tuloksien perusteella. (Karnerva & Räisänen 2000,6-1, Uotinen 2014.)

3.1 Purjepainopiste

Purjepainopisteellä on suora vaikutus maston paikkaan ja ohjailtavuuteen. Kahveliriki veneissä suositellaan yleisesti, että purjeidenpainopiste on 6-20% uppoumanpainopisteen keulapuolella. (Uotinen 2016.)

Purjepainopiste saatiin käyttämällä Autocad -ohjelmaa, johon mallinnettiin purjeet käyttämällä ”region” komentoa. ”Region” komento yhdistää 2D-objektit, jotka sulkevat sisälleen alueen. Purjeiden ollessa määriteltäviä 2D-alueita voitiin käyttää Autocadin komentoa ”massprop”, joka laskee valitun alueen massan ominaisuuksia. Ominaisuuksien joukossa oli haluttu painopisteen paikka. Painopisteiden paikat ovat nähtävissä kuvassa 9. (Autodesk.)

Purjepainopisteen paikan selvittyä huomattiin tämän olevan vain 2% uppouman painopisteen keulapuolella. Asia korjattiin siirtämällä mastoa 30 cm keulaan, jolloin painopisteiden välinen ero oli 8% (Uotinen 2016.)



Kuva 11. Purjepainopisteet ja uppouman painopiste. (Uotinen S, 2016.)

3.2 Veneen painopiste

Veneen kokonaispainopisteen paikan laskeminen vaati manuaalista työtä huomattavasti enemmän kuin purjepainopiste, sillä osia on runsaasti enemmän. Veneen jokaisen osan mallintaminen olisi ollut todella työlästä, joten päädyttiin perinteisempään painotaulukko ratkaisuun. Exceliin tehty painotaulukko perustuu painopisteen kaavaan, jossa ”kappaleen osiin vaikuttavien painovoimien momenttien summa on yhtä kuin kappaleen painopisteeseen sijoitetun koko painon momentti” (Maansalo, 2000 5-2). Kaavan suureet:

$$X = \frac{\sum mixi}{\sum mi},$$

Kaava 1 Painopiste

jossa X = painopisteen koordinaatti, m = massa kilogrammoina ja x = momenttivarsi millimetreinä.

Exceliin listattiin veneen koko varustus, sekä rakenteet, joita ei ollut huomioitu rungon painopisteessä. Varustuksen eri osille annettiin paino sekä painopisteen koordinaatit, x:n ollessa pituus, y:n ollessa leveys ja z:n ollessa korkeus. Painotaulukossa laskettiin painopiste erikseen kullekin suunnalle, jolloin painopiste saatiin x, y, z -muodossa. (Oksman, J. Luentomuistiinpanot).

4 LUJUUSLASKUT

CE-hyväksynnän saamiseksi on veneen rakenteen lujuus todennettava laskuin. Lujuuslaskelmat tehtiin Excel-ohjelmalla, ja ne perustuvat SFS-EN ISO 12215-5 -standardiin. Standardi käsittelee yksirunkoisten alusten mitoituspaineita, mitoituspännityksiä ja mitoituksen määrittelyä, ja sen tarkoitus on määrittää veneiden yleistä rakenteiden lujuutta. Laskelmat varmistavat veneen vesi-, että säätiivyyden, ja määrittävät mitoituksen alarajat. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 10).

4.1 Laudoituksen lujuuslaskut

Isovene päätettiin luokitella suunnittelukategoriaan C, joka standardin määritelmän mukaan on ”venekategoria, jota pidetään soveltuvana käytettäväksi aallokossa, jonka merkitsevä aallon korkeus on enintään 2 m ja tuulen keskimääräinen voimakkuus enintään 6 Beaufort”. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 10). Laudoituksen osalta tehtiin laskelmia kolmesta kohdasta veden alaiselta alueelta, sekä kolmesta kohdasta veden päältä (Salokoski 2014.) Mitoituskohdat olivat perästä keulaan kohdilla 2,9 m, 6 m ja 10 m. Mitoituskohtiin viitataan jatkossa nimityksillä perä, keskikohta ja keula.

Venettä käsiteltiin laskelmissa rimarakenteena, sillä standardissa ei suoranaisesti käsitellä limisaumaista venettä (Salokoski 2014). Laudoituksen osalta laskettiin vaadittava ainevahvuus kaavalla 2:

$$t = b \times \sqrt{\frac{P \times k_2}{1000 \times \sigma_d}} \text{ mm},$$

Kaava 2. Laminoidun puun tai umpivanerin vaadittava paksuus. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 10.4.2).

jossa t on vaadittava paksuus, b on paneelin lyhyt reuna millimetreissä, P on mitoituspaine kilonewton per neliömetri, k_2 on paneelin taivutuslujuuden sivusuhtekerroin, ja σ_d on mitoituspännitys Newton per neliömillimetri. Paneeli määräytyy standardissa jäykisteiden väliin jääväksi alueeksi, joka pystyttiin mittaamaan ja saamaan b:n arvo 470mm. Paneelin taivutuslujuuden sivusuhtekerroin k_2 rajoittuu 0,5:een, johtuen materiaalista. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 10.4.2.)

4.1.1 Veneen pohjan mitoituspaine

Veneen pohjan mitoituspaineen laskennassa käytettiin kaavoja 3 sekä 5. Mitoituspaineksi otettiin tuloksista suurempi (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1).

$$P_{BS} = P_{BS\,BASE} \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2$$

Kaava 3. Purjeveneen pohjan paine. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1)

jossa

$$P_{BS\,BASE} = (2 m_{LCD}^{0,33} + 18) \times k_{SLS} \text{ kN/m}^2$$

Kaava 4. $P_{BS\,BASE}$ kaavassa 3. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1)

tai

$$P_{DM\,MIN} = 0,35 m_{LCD}^{0,33} + 1,4 L_{WL} \times k_{DC} \text{ kN/m}^2$$

Kaava 5 Purjeveneen pohjan minimipaine. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.1)

Kaavoissa käytettiin m_{LCD} arvona arvioitua uppouman painoa täydellä kuormalla 7000 kg, sekä paineen korjauskertoimia k_{AR} , k_{DC} , k_L ja k_{SLS} . Kertoimilla huomioidaan eri tekijöitä, kuten k_{DC} joka on suunnittelukategorian kerroin. Suunnittelukategorian kerroin valittiin taulukosta 1.(SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.2).

Taulukko 1. k_{DC} -arvoja suunnittelukategorian perusteella (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.2)

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

Isovene kuuluu suunnittelukategoriaan C, jolloin arvoksi valitaan 0,6. Suunnittelukategorian mukaan määräytyy myös slamming-paineen korjauskerroin k_{SLS} , joka on 1 kategorioissa C ja D. Kerroin k_L on pitkittäisen painejakauman kerroin, joka huomioi painekuormien vaihteluja veneen eri kohdissa. Pitkittäisen painejakauman kerroin voidaan valita kuvaajasta tai laskea. Työssä päädyttiin laskennalliseen arvoon, joka saatiin kaavasta. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.4 & 7.8.)

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

$$k_L = 1 \text{ kun } \frac{x}{L_{WL}} \leq 0,6$$

Kaava 6. Pitkittäisen painejakauman kerroin. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.4.)

Kaavassa 6 käytetty x on tarkastellun paneelin tai jäykisteen keskikohdan x -koordinaatti metreissä, alkaen perästä ja kasvaen keulaan. x -koordinaatti alkaa tässä tapauksessa vesiviivan, eli L_{WL} :n perimmäisestä pisteestä. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.4.) Kaavassa käytetään dynaamisen kuormituksenkerrointa n_{CG} vain k_L :n määrittämiseen ”Purjeveneille ei käytetä n_{CG} -kerrointa paineiden määrittämisessä. Sitä käytetään ainoastaan k_L -laskennassa, ja siinä n_{CG} :n arvoksi on otettava 3” (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.3).

Paneelin tai jäykisteen koko huomioidaan pinta-alan paineen alennuskertoimella k_{AR} . k_{AR} laskettiin kaavalla

$$k_{AR} = \frac{k_R \times 0,1 \times m_{LCD}^{0,15}}{AD^{0,3}}$$

jossa $k_r = 1,5 - 3 \times 10^{-4} \times b$ ja $A_D = (l \times b) \times 10^{-6}$ mutta ei valita $> 2,5 \times b^2 \times 10^{-6}$

Kaava 7. Pinta-alan paineen alentamiskerroin. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.5.1.)

4.1.2 Veneen kyljen mitoituspaine

Veneen kyljen painetta laskettaessa toimittiin kuten pohjankin painetta laskettaessa, mutta eri kaavoin. Kyljen paine saatiin valitsemalla suurempi paine kaavoista

$$P_{SS} = [P_{DS\,BASE} + k_Z \times (P_{BS\,BASE} - P_{DS\,BASE})] \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2$$

Kaava 8. Purjeveneen kyljen paine. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.2.)

jossa k_z on kyljen paineen vähennyskerroin, ja $P_{DS\ base}$ on purjeveneen kannen peruspaine. Kyljen paineen vähennyskerroin huomioi tilanteen, jossa osa paneelista on vesiviivan alapuolella ja osa taas ylläpuolella. Kerroin k_z saadaan kaavasta

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

Kaava 9. Kyljen paineen vähennyskerroin. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 7.6.)

ja kannen peruspaine kaavasta

$$P_{DS\ BASE} = 0,5m_{LDC}^{0,33} + 12\ kN/m^2$$

Kaava 10. Purjeveneen kannen peruspaine. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 8.2.3.)

Veneen kannen rakenteita ei ollut muutoin syytä tutkia, sillä rasitukset vedenpinnan yläpuolella ovat melko pieniä ja rakenteet jäykkiä.

4.2 Kaarien lujuyslaskut

Isoveneen kaaria oli tarkasteltava lujuusominaisuuksien suhteen. Puujäykisteiden lujuusarvot poikkeavat paljon riippuen syiden suunnista. Yleisesti syyn suuntaiset lujuusarvot ovat paremmat kuin poikki syyn, tästä johtuen jäykisteen ja laudoituksen väliset arvot vaativat eri laskukaavoja. Tarkastelu alkoi jäyhyysmomentin selvityksellä neutraaliakselin suhteen kaavalla (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.2.).

$$I_{NA} = \frac{C}{A_p + A_s} cm^4$$

Kaava 11. Jäyhyysmomentti neutraaliakselin suhteen. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.2.)

jossa A_s on jäykisteen uuman leikkauspinta-ala cm^2 ja A_p on alalaipan tehollinen pinta-ala cm^2 . Jäykisteiden mitat muodostuvat korkeudesta h ja leveydestä t_w .

$$A_s = h \times t_w$$

Kaava 12. Jäykisteen uuman leikkauspinta-ala. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.2.)

Isoveneeseen tapauksessa A_p on 0, johtuen laudoituksen ja jäykisteiden syiden suunnista. Jäykisteiden ja laudoituksen syiden ollessa kohtisuorassa toisiinsa nähden täytyy kaaret käsitellä kelluvina. Kelluvina käsiteltävät kaaret nollaavat t_p :n alalaipan paksuuden, b_e :n alalaipan tehollisen leveyden sekä KE_{0-90} :n (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.2.)

$$C = \frac{A_s \times A_p}{3} (h^2 + 1,5 \times h \times t_p \times t_p^2) + \frac{1}{12} [(A_p \times t_p)^2 (A_s \times h)^2] \text{ cm}^6$$

Kaava 13. C:n arvo (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.2.)

Veneen jäykisteiden ylälaipan taivutusvastus laskettiin kaavalla

$$SM_{\text{jäykisteen ylälaippa}} = \frac{C}{A_p \left(h + \frac{t_p}{2} \right) + \frac{A_s \times h}{2}} \text{ cm}^3$$

Kaava 14. Jäykisteen taivutusvastus ylälaippaan. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.3.)

Kelluvista jäykisteitä johtuen $SM_{\text{jäykisteen alalaippa}}$, $SM_{\text{jäykisteen ylälaippa}}$ saavat samat arvot kaavojen sieventyessä.

$$SM_{\text{jäykisteen alalaippa}} = \frac{C}{A_s \left(\frac{h}{2} + t_p \right) + \frac{A_p \times t_p}{2}} \text{ cm}^3$$

Kaava 15. Jäykisteen taivutusvastuksen alalaippa (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.3.3.)

Tulosten analysointia varten täytyi laskea mitoitusleikkausvoima F_d sekä mitoitusmomentti M_d

$$F_d = 5 \times P \times s \times l_u \times 10^4 \text{ N}$$

Kaava 16. Mitoitusleikkausvoima (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.5.)

$$M_d = 83,33 \times k_{CS} \times P \times s \times l_u^2 \times 10^{-9} \text{ Nm}$$

Kaava 17. Mitoitusmomentti (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.5.)

joissa P on mitoituspaine, s on jäykisteväli, l_u on jäykisteen pituus, ja k_{CS} on jäykisteen kaarevuuskerroin. Mitoituspaine lasketaan valitsemalla kaavoista 8 & 10 suurempi arvo.

Jäykisteen kaarevuuskerroin valitaan taulukon 2 mukaan. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.5.).

Taulukko 2 Jäykisteen kaarevuuskerroin. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.2.)

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

jossa

c_u on kaarevan jäykisteen nuolikorkeus [ks. kuva 11 e)] millimetreissä

k_{CS} pätee sekä kuperille että koverille jäykisteille, arvoa ei valita < 0,5 tai > 1.

Käytettäessä kaavaa 8 on huomioitava, että k_{AR} kertoimen arvo muuttuu laskettaessa jäykisteen mitoituspainetta. Laskettaessa k_{AR} arvoja käytetään $k_r = 1 - 2 \times 10^{-4} \times l_u$ ja $A_D = (l_u \times s) \times 10^{-6}$ mutta ei ole tarpeen ottaa $A_D < 0,33 \times l_u^2 \times 10^{-6}$. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.2.).

Jäykisteiden analysoinnissa tarkasteltiin jäykisteen yläpinnan jännitystä, alalaipan alapinnan jännitystä, jäykisteen leikkausjännitystä sekä jäykisteen poikkileikkauksen pinta-alaa. Alalaipan alapinnan jännitystä ei tarvitse huomioida, koska jäykiste on kelluva ja näin ollen jännitystä ei synny. Jäykisteen yläpinnan jännitys saadaan kaavasta

$$\sigma_{stiffener} = \frac{M_d}{SM_{stiffener}} \text{ cm}^3$$

Kaava 18. Puujäykisteen yläpinnan jännitys. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.4.2.)

kaavaa täytyi kuitenkin muokata, jotta sitä voitiin käyttää SM arvojen vertailuun.

$$SM_{stiffener} = \frac{M_d}{\sigma_{ou} \times 0,4} \text{ cm}^3$$

Kaava 19. $SM_{stiffener}$ vähimmäisarvo. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.4.2.)

Jäykisteen yläpinnan jännitystä on verrattava σ_d arvoon taulukoista (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.4.2.).

Taulukko 3. Jäykisteiden mitoituspännitykset. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.3.)

Materiaali	Veto- ja puristusjäykkyyden mitoitusarvo σ_d N/mm ²	Leikkausjäykkyyden mitoitusarvo τ_d N/mm ²
Lujitemuovi	0,5 σ_{ut} and 0,5 σ_{uc} ^{a)}	0,5 τ_u
Alumiiniseokset	0,7 σ_{yw} ^{b)}	0,4 σ_{yw} ^{b)}
Teräs	0,8 σ_y	0,45 σ_y
Laminoidut puukaaret	0,45 σ_{uf} ^{c)}	0,45 τ_u
Massiivipuukaaret	0,4 σ_{uf} ^{c)}	0,4 τ_u
Vanerikaaret syrjällään	0,45 σ_{uf} ^{c)}	0,45 τ_u
HUOM. Nämä mitoituspännitykset pätevät myös jäykisteen alalaipalle sen materiaalin mukaisesti.		
^{a)} σ_c käytetään, kun kyseessä on puristus (tavallisesti jäykisteen ylälaippa), ja σ_t käytetään, kun on veto (tavallisesti jäykisteen alalaippa); molemmat todettava laskelmin. ^{b)} Hitsatuille jäykisteille. Jos alumiinijäykisteitä ei hitsata, so. niitatut, liimatut jne., ei-hitsattuja ominaisuuksia on käytettävä. ^{c)} Laminoitujen puukaarien σ_{uf} ja massiivipuun σ_{uf} on otettava taulukosta E.1. Vanerikaarien σ_{uf} ei valita taulukosta E.2 vaan taulukoista E.3 tai E.6.		

Taulukosta valittiin massiivipuukaaret, jonka perusteella taulukosta 4 saatiin 0,4 σ_{uf} arvo kohdasta pine, yellow.

Taulukko 4. Tavallisten puulajien lujuusarvoja. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, E.2.2.)

Puulaji		Tiheys	$\sigma_{uf} //$	$\sigma_{cu} //$	$\tau_u //$
Havupuut		ρ	syiden	syiden	syiden
Yleisnimi	Tieteellinen nimi	kg/m ³	suhteen	suhteen	suhteen
			N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
Fir, Douglas	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	520	74	41	8,9
Larch, European	<i>Larix decidua</i>	545	74	37	9,8
Pine, Yellow	<i>Pinus strobus</i>	433	64	34	7,5
Cedar, Western Red	<i>Thuja plicata</i>	368	52	28	6,8
Redwood, Baltic	<i>Pinus sylvestris</i>	481	67	36	9,1
Spruce, European	<i>Picea abies</i>	400	52	28	7,6
Spruce, Sitka	<i>Picea stichensis</i>	384	53	29	6,9
Muut puulajit		ρ	0,137 ρ	0,075 ρ	0,018 ρ

Jäykisteen poikkileikkauksen vähimmäispinta-ala A_w saadaan kaavasta

$$A_w = \frac{k_{SA} \times P \times s \times l_u}{\tau_d} 10^{-6} \text{ cm}^2$$

Kaava 20. Jäykisteen uuman pinta-ala (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.4.1.)

jossa k_{SA} otetaan taulukosta 5 kiinnityksen perusteella ja τ_d taulukosta 3 massiivipuun kohdalta (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.4.1).

Taulukko 5. Leikkauspinta-alakerroin k_{SA} (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, 11.2.2.)

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

Valittiin arvo 7,5 koska jäykisteitä käsitellään kelluvina.

Leikkausjännitys τ laskettiin kaavalla 21

$$\tau = \frac{F_d}{A_s} \text{ N/mm}^2$$

Kaava 21 Jäykisteen leikkausjännitys (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.4.4.)

Leikkausjännitystä laskettaessa on huomattava muuttaa A_s mm², jolloin tulos saadaan N/mm² muodossa. Leikkausjännityksen arvoja on verrattava τ_d arvoon taulukosta 3. (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.4.4.).

4.3 Lujuuslaskujen tulokset

Lujuuslaskujen tulokset täytyi analysoida standardin kaavojen mukaan. Laudoituksen osalta tarkasteltiin laudoituksen paksuutta, kun taas kaarien osalta oli oleellisempaa perehtyä lujuusominaisuuksiin ja leikkauspinta-alaan. (Salokoski 2017)

4.3.1 Laudoituksen paksuus

Laudoituksen paksuuden tarkastaminen tapahtui vertaamalla mitattua laudoituksen paksuutta 20 mm, laudoituksen minimipaksuuteen. Laudoituksen minimipaksuus saatiin kaavalla 2, sijoittamalla arvot tarkastelupisteen mukaan. Tuloksiksi vesiviivain alaiselta alueelta saatiin

- keula, 10 metrin kohdalta $t = 6,9$ mm
- keski, 6 metrin kohdalta $t = 6,6$ mm
- perä, 2,9 metrin kohdalta $t = 17,7$ mm

Tuloksista havaitaan, että perässä vaadittava paksuus on suurempi kuin keulassa ja keskikohdassa. Perän suurempi paksuusvaatimus on seurausta tarkastellun paneelin suuresta koosta. Paneelin suuri koko johtuu perän kaariasettelusta. Perässä viimeinen kaari on takahytin keulalaipion kohdalla, ja peräpeili toimii jäykistävänä rakenteena perässä.

Vesiviivan yläpuolelle jäävän, eli kyljen laudoituksen vaadittavat paksuudet tarkastelupisteissä olivat

- keula, 10 metrin kohdalta $t = 6,0 \text{ mm}$
- keski, 6 metrin kohdalta $t = 5,8 \text{ mm}$
- perä, 2,9 metrin kohdalta $t = 13,6 \text{ mm}$

Vesiviivan yläpuoleisen osuuden paineenvähennys näkyy tuloksissa vähäisempinä paksuus vaatimuksina, etenkin perässä ero on selvä.

4.3.2 Kaarien lujuusominaisuudet

Kaarien lujuutta tarkasteltiin taivutusvastuksen $SM_{\text{stiffener}}$, leikkauspinta-alan A_w ja leikkausjännityksen τ suhteen kaavojen 19, 20 ja 21 avulla. Tarkasteltavat kaaret sijaitsivat perässä 2,9 m, keskellä 6 m ja keulassa 10 m. Kaarien taivutusvastusten täytyy ylittää kaavan 19 arvot, jotka olivat

- perä $101,2 \text{ cm}^3$
- keskikohta $44,8 \text{ cm}^3$
- keula $21,2 \text{ cm}^3$

Lasketut arvot kaarille olivat

- perä 114 cm^3
- keskikohta 102 cm^3
- keula 102 cm^3

Kaarien taivutusvastuksen ylittivät kaavan 19 vaatimukset. Tuloksia vertailtaessa huomataan kuinka perän suuri kaariväli asettaa korkeamman vähimmäisvaatimuksen taivutusvastukselle. Perän tarkasteltu kaari oli 0,5 cm korkeampi, joka nostaa taivutusvastusta huomattavasti.

Kaavan 20 A_w arvot olivat

- perä 61,4 cm²
- keskikohta 25,3 cm²
- keula 18,1 cm²

ja todelliset arvot A_s olivat

- perä 72 cm²
- keskikohta 68 cm²
- keula 68 cm²

Kaarien leikkauspinta-alat ylittivät standardin asettamat rajat. Tuloksia tarkasteltaessa huomiitiin perän vaatimusten olevan korkeammat kuin keulan ja keskikohdan.

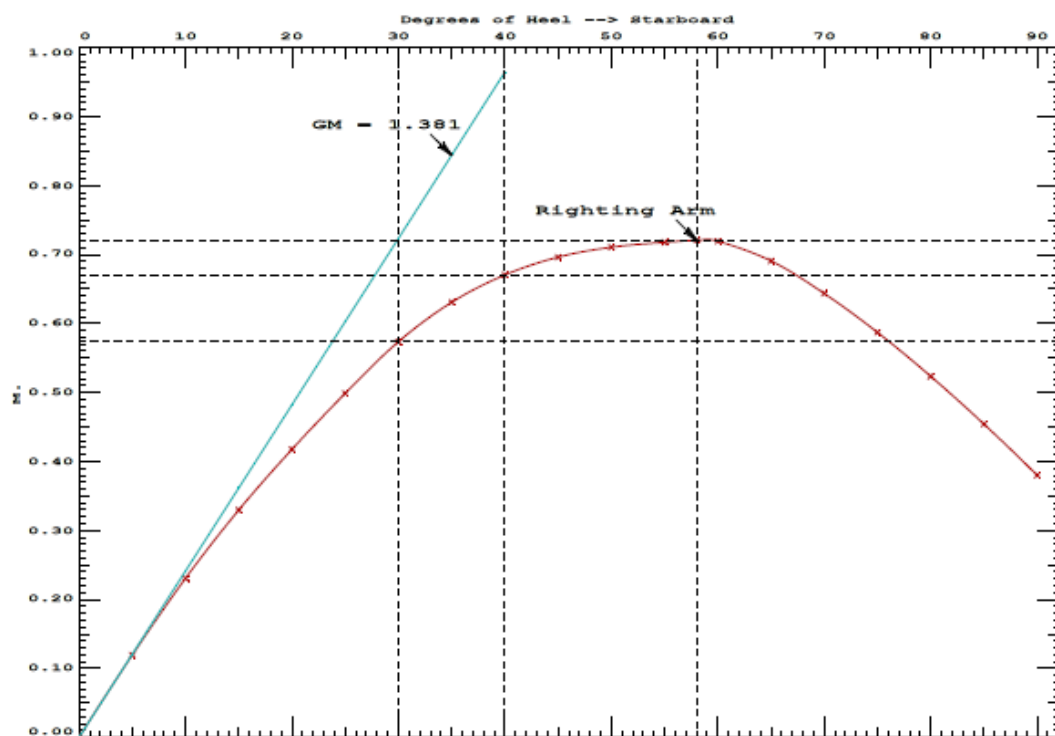
Leikkausjännitystä verrattiin taulukon 3 τ_d arvoon. Leikkausjännityksen täytyi alittaa τ_d :n arvo 3,117 N/mm. Leikkausjännityksen arvot olivat (SFS-EN ISO 12215-5, 2008, G.5.4.4.).

- perä 1,8 N/mm²
- keskikohta 0,8 N/mm²
- keula 0,6 N/mm²

Laskuista on huomattavissa, että perä on harvan kaarivälin takia kriittisempi alue kuin keskikohta ja keula.

5 KALLISTUSKOE

Luokituslaitoksen vaatima kallistuskoe on määrä toteuttaa kevään 2017 aikana, ja koetta valvoo Anton Salokoski. Kallistuskokeessa venettä on tarkoitus kallistaa noin 3° ja kirjata ylös kallistava massa, sen siirtymä ja kallistuskulma. Kokeessa on tarkoitus käyttää ihmisiä painoina ja kallistuskulma mitataan käyttämällä digitaalista vesivaakaa. Kallistuskokeessa käytettävä kallistava momentti selvitetiin vakavuuslaskuilla, joiden pohjana käytettiin kuvan 9 GZ-käyrän tietoja.



Kuva 12. Isoveneen GZ-käyrä. (Uotinen s, 2014.)

Kallistavan momentin laskenta tehtiin kertomalla GZ arvon kaava veneen kokonaismassalla Δ ,

$$\Delta \times GZ = \Delta \times GM \times \sin(\varphi) \text{kgm}$$

Kaava 22 Kallistavan momentin laskenta. (Kanerva & Räisänen 2000,6-1.)

jolloin ΔGZ on yhtä suuri kuin kallistava momentti, kallistuskulman φ ollessa 3. Vaihtokeskuskorkeus eli GM kuvaa veneen vakavuutta ja käytetty GM arvo 1,381 on saatu 3D-

mallin perusteella tuotetuista hydrostaattisista laskelmista. Kallistavan momentin avulla voitiin selvittää tarvittavien painojen määrä ja sijoitus käyttämällä momentin kaava 23 (Kanerva & Räisänen 2000,6-1, Uotinen S, 2015)

$$M = Fd$$

Kaava 23. Momentin kaava. (Momentti 1 Insinöörifysiikka, 2009, 205)

Sijoittamalla kaavasta 22 kallistava momentti ja mahdollinen 2 m siirtymä veneessä, kaavaan 23 saatiin selville tarvittava paino 253 kg. Koetilanteeseen olisi hyvä saada 5-6 ihmistä painoiksi jolloin saadaan tarvittaessa aikaiseksi suurempikin kallistus. Kallistuskokeen tuloksien avulla pystytään laskemaan wind stiffness-kokeen laskelmat. (Salokoski 2017)

6 LOPUKSI

Isoveneiden työvenetaustasta johtuva vankka rakenne tuli laskuissa hyvin esille. Isoveeneen lujuusominaisuudet täyttivät standardin vaatimukset kaikilla alueilla. Tuloksista huomattiin perän olevan veneen kriittisin alue, johtuen suuresta kaarivälistä peräpeilin ja viimeisen kaaren välissä. Peränkin osalta standardin vaatimukset ylittyivät melko reilusti, joten lujuuden suhteen luokitukselle ei tule esteitä.

Purjepainopisteen määrittäminen oli työn ainoa osio, jonka vaikutukset olivat heti huomattavissa. Maston siirtäminen keulaan 30 cm ohjailtavuuden parantamiseksi oli seurausta purjepainopistelaskuista. Vasta vesillelaskun jälkeen koeajon perusteella tiedetään, siirrettiinkö mastoa tarpeeksi ohjaamisen keventämiseksi.

Painolaskut tehtiin vuotta aikaisemmin kuin muu osio työstä alustavien sisustus- ja rakennetietojen pohjalta. Tarkoituksena on tarkistaa laskut veneen valmistuttua. Isovene on tarkoitus punnita matkalla vesillelaskuun. Punnituksesta saadaan konkreettinen arvo, josta painolaskelmat on mahdollista tarkastaa.

Kallistuskokeesta saatavien tietojen perusteella on mahdollista tarkastaa painopisteiden sijainti ja tehdä wind stiffness laskelmat. Kallistuskokeen toteutuksesta tulee mielenkiintoinen projekti, sillä vastaavanlaisia kokeita on tehty vain kourallinen. Kokeenvalvojana toimiva Anton Salokoski on toteuttanut muutamia vastaavia kokeita ja kokeen järjestelyistä on konsultoitu häntä.

Projektin on edennyt suunnitelmien mukaan ja vesillelasku tapahtuu kevään 2017 aikana. Ikäviltä yllätyksiltä on välttytty ja veneen luokitukselle ei näyttäisi olevan ongelmia. Veneen vuosisatojen kokemukseen pohjautuva rakenne on saatu täyttämään nykypäivän standardit kuitenkin niin, että vene säilyttää klassisen ulkomuotonsa.

LÄHTEET

Autodesk 2017, Autodesk knowledge network, Viitattu 25.03.2017
<https://knowledge.autodesk.com/support/autocad-lt/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/AutoCAD-LT/files/GUID-ADD055CD-D351-424C-91F0-B8E5526B106C-htm.html>

Harro, K. 2017. Viitattu 25.03.2017
<http://www.puuvene.net/harro/>

Kanerva, M. & Räisänen, P. 2000. Laivatekniikka Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Toinen painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino OY.

Koskinen H, 2017, Talonpoikaisveneet lounaissaaristossa. Viitattu 19.4.2017
<http://www.puuvene.net/harro/index-2.html>

Maansalo, E. 2000. Laivatekniikka Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Toinen painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino OY.

Nikula, M. 2017. Veneenrakentaja. Isovene. Viitattu 24.03.2017
<http://www.veneenrakentaja.com/isovene.html>

SFS-EN ISO 12215-5, SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS

Uotinen, S. 2014a. Tacksamheten. The Project. Viitattu 22.32.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2014/09/the-project.html>

Uotinen, S. 2014b. Tacksamheten. Runkosuunnittelu... Hull design. Viitattu 23.03.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2014/10/runkosuunnitteluhull-design.html>

Uotinen, S. 2014c. Tacksamheten. Blog Sopivan materiaalin löytäminen, The search for building materials. Viitattu 23.03.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2014/09/sopivan-materiaalin-loytaminen-search.html>

Uotinen, S 2014d Tacksamheten. Puut kaatuu...Timber !!. Viitattu 23.03.2017 http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2014/09/puut-kaatuutimber_18.html

Uotinen, S 2014e Tacksamheten. Puut ovat kuivia!!! The wood is dry and ready for use!!!. Viitattu 23.03.2017 <http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2014/09/puut-ovat-kuivia-wood-is-dry-and-ready.html>

Uotinen, S 2014f Tacksamheten. Nyt se alkaa!!! Boat buiding is about to start. Viitattu 23.03.2017 <http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2014/10/nyt-se-alkaa-boatbuilding-is-about-to.html>

Uotinen, S 2014g Tacksamheten. Peräpeili... transom. Viitattu 24.03.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2014/12/perapeilitransom.html>

Uotinen S, 2014h Tacksamheten. Zero emission !!! Viitattu 15.04.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2014/12/zero-emission.html>

Uotinen S, 2015a Tacksamheten. Runko muodostuu lauta kerrallaan...Hull planking, one plank at the time. Viitattu 15.04.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2015/01/runko-muodostuu-lauta-kerrallaanhull.html>

Uotinen S, 2015b Tacksamheten. Kuvan mukaan. Viitattu 7.04.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2015/10/kuvan-mukaanaccording-to-drawings.html>

- Uotinen S, 2015c Tacksamheten. runko on valmis. Viitattu 15.04.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2015/11/runko-on-valmis-hull-is-ready.html>
- Uotinen S, 2015d Tacksamheten. El.boat. Viitattu 15.04.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2015/11/elboat.html>
- Uotinen S, 2016 Tacksamheten. Purjeet...Sailplan Viitattu 15.04.2017
<http://tacksamhetentheboat.blogspot.fi/2016/03/purjeetsailplan.html>