

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitys

2018

Teemu Tuominen

# LAIVAN IKKUNOIDEN MITOITUS

– Lasinpaksuuden laskeminen

Teemu Tuominen

## LAIVAN IKKUNOIDEN MITOITUS

- Lasinpaksuuden laskeminen

Ikkunoiden mitoittaminen on aikaa vievää työtä, jonka suunnittelijat ovat aikaisemmin tehneet pitkälti käsin laskemalla. Laivanrakennuksessa kaikki mitoitukset ja laskelmat tulee olla viranomaisten hyväksymiä. Viranomaiset voivat jakaa tehtäviä tarkastuksia myös luokituslaitoksille, jotka yhdessä viranomaisten kanssa katsastavat lopulta rakennetun laivan.

Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Meyer Turku Oy:lle. Työn tavoitteena oli luoda Excel-työkalu laivan ikkunoiden painelasien paksuuden mitoittamista varten ja todeta työkalun toimivuus laskemalla eri ikkunatyypeistä muutamia esimerkkejä eri kohdista laivaa. Työkalussa käytettävät kaavat tehtiin noudattaen DNVGL-luokituslaitoksen tapaa laskea ikkunoiden lasinpaksuuksia.

Opinnäytetyö aloitettiin selvittämällä sisustussuunnitteluosaston toimintatapoja ja prosesseja, erityisesti ikkunasuunnittelun eri vaiheita. Seuraavaksi otettiin selvää merenkulkua ja ikkunoiden suunnittelua koskevista säännöistä ja määräyksistä. Viimeisenä teoriaosuudessa tutkittiin lasin ominaisuuksia ja eri lasityyppejä.

Työn tuloksena saatiin toimiva laskentatyökalu, jonka avulla pystytään viranomaisten hyväksymällä tavalla laskemaan lasinpaksuuksia laivan jokaisesta kohdasta. Työkalu nopeuttaa ikkunasuunnitteluprosessia laskentavaiheessa, joka muuten veisi paljon aikaa. Työn teoriaosuuteen on kerätty paljon hyödyllistä tietoa, jota voidaan jatkossa käyttää esimerkiksi perehdytysmateriaalina.

### ASIASANAT:

laivanrakennus, sisustussuunnittelu, ikkuna, ikkunasuunnittelu, lasin paksuus, lasin ominaisuudet, valoventtiili

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Product Development

2018 | 48

Teemu Tuominen

# DIMENSIONING OF THE WINDOWS OF A SHIP

## - Calculation of the glass thickness

The calculation process of the window's dimensioning takes a lot of time in window design. The calculations are calculated so far by designers without any programs. Every calculation has to be approved by the authorities. The inspections can be shared between the authorities and the classification society.

The thesis was commissioned by Meyer Turku Oy. The purpose of the thesis was to streamline the calculation process of the windows and to create an Excel -tool for window thickness calculations. The tool was found to be working by calculating a few examples of the windows successfully. The formulas of the tool were made to follow the DNVGL -classification society's way to calculate window thicknesses.

In the beginning of the thesis, processes in interior design, especially different phases of window design were investigated. After that, the rules and standards on shipping and window design were researched. The properties of glass and different types of windows are presented in the final section of the theoretical part.

As a result of this thesis, a workable tool that can be used for calculating glass thicknesses in every part of the ship as approved by the authorities was created. The tool makes calculating faster, which streamlines the whole design process. A lot of useful information that can be used as a familiarization material in the future has been gathered in the theoretical part.

### KEYWORDS:

shipbuilding, interior design, window, window design, glass thickness, glass properties, side scuttle

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
1.1 Tavoite ja tausta	8
1.2 Meyer Turku Oy	9
<b>2 SISUSTUSSUUNNITTELU</b>	<b>10</b>
2.1 Yleistä	10
2.2 Ikkunasysteemi	11
2.2.1 Sopimuserittelyvaihe	11
2.2.2 Perussuunnitteluvaihe	11
<b>3 SÄÄNNÖT JA SÄÄDÖKSET</b>	<b>13</b>
3.1 Merenkulun sääntely	13
3.2 Luokituslaitokset	14
3.3 Ikkunat	14
3.3.1 Yleiset vaatimukset lasseille	14
3.3.2 Valoventtiilit ( <i>side scuttle</i> )	15
3.3.3 Normaalit ikkunat	17
3.4 Ikkunoiden sijoitus	18
3.5 Paloturvallisuus	18
3.6 Ikkunoiden merkintä	19
<b>4 LASIN OMINAISUUDET</b>	<b>21</b>
4.1 Karkaistu turvalasi	22
4.2 Laminoitu turvalasi	22
4.3 Laminoitu karkaistu turvalasi	23
4.4 Eristelasit	23
4.5 Auringon säteilyltä suojaaminen	24
4.6 Palonsuojaus	25
4.7 Äänieristys	26
<b>5 PAINELASIN MITOITUS</b>	<b>27</b>
5.1 Paineen laskeminen	27

5.1.1 Kerroin $f_n$	28
5.1.2 Kerroin $f_c$	28
5.1.3 Kerroin $f_b$	29
5.1.4 Kerroin $f_d$	30
5.1.5 Korkeus $Z_w$	30
5.2 Painelasin paksuus ikkunoille	31
5.3 Painelasin paksuus valoventtiileille	34
<b>6 EXCEL-TYÖKALUN LUONTI</b>	<b>35</b>
6.1 Pääsivu	35
6.2 Ikkunakohtaiset sivut	39
6.2.1 Valoventtiilit	39
6.2.2 Ikkunat	43
<b>7 KOKOAVAA TARKASTELUA</b>	<b>46</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>47</b>

## KAAVAT

Kaava 1. Paine (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4).	27
Kaava 2 (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4.1).	28
Kaava 3. Block coefficient (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch1Sec4.3.1.9).	30
Kaava 4. Ikkunan minimipaksuus (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.4.1.1).	31
Kaava 5. Valoventtiilien minimipaksuus (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.4.1.1).	34
Kaava 6. Sivulaipioiden paineet (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.3).	38

## KUVAT

Kuva 1. Esimerkki valoventtiilistä ( <i>side scuttle</i> ) (Bohamet, 2018).	15
Kuva 2. Esimerkki normaalista ikkunasta (Bohamet, 2018).	17
Kuva 3. Lasin merkintä (ISO 614/2012(E) 5.2, 4).	20
Kuva 4. Lasin rikkoutuminen. Kuvassa tavallinen tasolasi, karkaistu turvalasi sekä laminoitu turvalasi (Pilkington 2018).	21
Kuva 5. Auringon vaikutus lasirakenteen läpi (Lasifakta 2018).	24
Kuva 6. Scantling draught (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch1Sec4.3.1.12).	29
Kuva 7. Koordinaattisysteemi (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch1Sec4.3.6).	30
Kuva 8. Ikkunan rakenne (Sisäinen tietokanta Meyer Turku 2018).	32
Kuva 9. Valoventtiilin rakenne (Sisäinen tietokanta Meyer Turku 2018).	34

## KUVIOT

Kuvio 1. Kerroin  $\beta$  (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.4.1.1).

33

## TAULUKOT

Taulukko 1. Taulukko kertoimelle $f_n$ (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4.1).	28
Taulukko 2. Taulukko kertoimelle $f_b$ (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4.1).	29
Taulukko 3. Lähtötietotaulukko pääsivulla.	35
Taulukko 4. Taulukko kertoimille.	36
Taulukko 5. Kerroin $f_b$ .	37
Taulukko 6. Sivulaipioiden paineet kansittain.	38
Taulukko 7. Minimipaineet (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4.1).	39
Taulukko 8. Window info valoventtiilille.	40
Taulukko 9. Kertoimet ja vakiot valoventtiilille.	40
Taulukko 10. $f_b$ kerroin valoventtiileille	41
Taulukko 11. Lasinpaksuuksien laskenta.	42
Taulukko 12. Window info ikkunoille	43
Taulukko 13. Kertoimet ja vakiot ikkunatyypille.	44
Taulukko 14. $f_b$ kertoimet ikkunoille.	44
Taulukko 15. Lasin paksuus ikkunoille.	45

## KÄYTETYT LYHENTEET ¶

Autoklaavi	Paineastia, joka kuumennetaan tavallisesti höyryllä. Käytetään mm. laminoitujen ikkunoiden valmistuksessa.
Float-lasi	Tavallinen rakennuslasi
FTP-koodi	Kansainvälinen palokoesäännöstö (International Code for Fire Test Procedures)
GA	Laivan yleisjärjestely (General Arrangement)
IACS	Kansainvälinen luokituslaitosten yhdistys (International Association of Classification Societies)
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (International Maritime Organisation)
Laipio	Aluksen rungon poikki- tai pituussuunnassa kulkeva osastoiva seinä
Loadline (LL)	Kansainvälinen lastiviivayleissopimus (International Convention on Load Lines)
Napa Steel	Napa ohjelmalla voidaan muun muassa määrittää aluksen runkomuoto, suorittaa hydrostatiikka- ja vakavuuslaskuja, määrittää erilaisia lastitilanteita ja tarkastella aluksen käyttäytymistä ja ohjailtavuutta merenkäynnissä
SOLAS	Kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä (International Convention for the Safety of Life at Sea)
Varalaitakansi	Laivan ylin, jatkuva vesitiivis kansi

# 1 JOHDANTO

Ikkunasysteemi sisältää kustannustehokkaan suunnittelun lisäksi laivan normaalien sekä erikoisikkunoiden hankinnan erittelyn säädösten ja vaatimusten mukaisesti. Sisustussuunnittelu budjetoi ja hankkii normaalien ikkunoiden materiaalit (myös asennuksen, jos on erikseen sovittu) sekä erikoisikkunat sisältäen asennuksen.

## 1.1 Tavoite ja tausta

Ikkunasysteemi on yksi Meyer Turku Oy:n sisustussuunnitteluosaston osa-alueista. Ennen kuin ikkunoita voidaan tilata laivaan, täytyy tietää, millaisia vaatimuksia ikkunoille on asetettu. Vaatimusten perusteella tehtyjen laskelmien avulla voidaan määrittää ikkunoiden tyypit ja muun muassa ikkunoiden lasinpaksuudet. Laskelmien tekeminen ikkunoille on tärkeää, sillä mitä pienemmällä materiaalimäärällä selvittää esimerkiksi lasien paksuuksissa, sitä enemmän säästetään muun muassa laivan kokonaispainossa ja sitä kautta säästetään myös laivan kustannuksissa.

Tämän toiminnallisen opinnäytetyön tarkoituksena on suorittaa laivan ikkunoiden lasinpaksuuksien laskentoja laivan eri osissa perehtyen samalla laskentaprosessiin. Teoriaosuus aloitetaan tarkastelemalla suunnittelun kulkua ja sen vaiheita Meyer Turku Oy:ssä. Seuraavaksi selvitetään merenkulkuun ja laivan ikkunoiden suunnitteluun liittyviä sääntöjä ja säädöksiä.

Ennen toiminnallista osuutta, jossa lasketaan painelasiin paksuudet, perehdytään vielä lasin ominaisuuksiin sekä erilaisiin lasityyppeihin. Laskentaa varten luodaan Excel-taulukko, jolla lasketaan lasinpaksuudet laivan eri ikkunatyypeille taulukkoon syötetyillä arvoilla. Taulukon tarkoituksena on nopeuttaa ikkunoiden paksuuksien laskentaa ikkunasuunnitteluprosessissa. Työ suoritetaan noudattaen DNVGL-luokituslaitoksen tapaa laskea ikkunoiden paksuudet sekä luokituslaitoksen antamia määräyksiä ja standardeja.



## 1.2 Meyer Turku Oy

Työ tehdään toimeksiantona Meyer Turku Oy:n sisustussuunnitteluosastolle. Meyer Turku Oy on innovatiivisten ja ympäristöystävällisten risteilyalusten, autolauttojen ja erikoisalusten valmistamiseen erikoistunut yritys. Telakka työllistää noin 1 700 henkilöä ja on yhdessä Saksassa sijaitsevien sisartelakoidensa, Meyer Werftin ja Neptun Werftin kanssa yksi maailman johtavista risteilyalusten valmistajista. Turun telakalla laivoja on rakennettu menestyksekkäästi jo vuodesta 1737 lähtien. (Meyer Turku Oy 2018a.)

Turun telakalla on viime vuosien aikana tehtyä monia suuria investointeja, mm. keväällä 2018 valmistuvan uuden 1 200 tonnin kapasiteetin omaavan pukkinosturin hankkiminen vanhan nosturin rinnalle, jonka nostokapasiteetti on 600 tonnia. Investointeja on tehty ja tullaan tekemään myös uusiin linjastoihin ja toimitiloihin. (Meyer Turku Oy 2018b.)

## 2 SISUSTUSSUUNNITTELU

### 2.1 Yleistä

Laivan perussuunnittelu on yksi laivanrakennusprojektin päävaiheista. Suunnittelu alkaa sopimalla tilaajan kanssa käytännön asioista, kuten suunnitteluaiakataulut, piirustusluettelot ja käytettävät suunnitteluohjeet. (Meyer Turku 2018a.)

Suunnittelun aikana tehdään yhteistyötä tilaajan ja muiden suunnittelun osa-alueiden kanssa, pidetään suunnittelukatselmuksia ja suunnitteluaineiston tarkastuksia ja lopuksi suoritetaan suunnitteluaineiston luovutus. (Meyer Turku 2018b.)

Yhtenä suurimmista yksittäisistä tehtävistä perussuunnittelussa on luoda laivan yleisjärjestely eli "GA". Laivan yleisjärjestelyllä tarkoitetaan eri tilojen ja alueiden kansittaista sijoittumista laivaan. Yleisjärjestely on ikään kuin laivan pohjapiirustus. (Meyer Turku 2018c.)

Sisustussuunnittelun alueisiin kuuluvat mm.

- julkiset alueet kuten ravintolat, kaupat, teatterit, kylpylät, kuntosalit, konferenssitilat, matkustajaportaikot, uima-allasalueet, kirjastot, hissit, WC:t, sisäänkäynnit yms.
- matkustajahyttialueet ja hytit
- sairaala
- miehistöalueet kuten hyttialueet, portaikot ja miehistön virkistätymisalueet yms.
- toimistot
- varastot. (Meyer Turku 2018c.)

Systemit eli järjestelmäkaaviot ovat perussuunnittelupiirustuksia jostakin tietyistä järjestelmästä, esimerkiksi ikkunoista tehtävät ikkunakaaviot.

Tyypillistä kaavioille on, että niiden pohjana käytetään useimmiten kansittaista yleisjärjestelykuvaa eli GA:ta. Järjestelmäkaaviot perustuvat pääosin laivaerittelyyn ja sääntöihin sekä luovat perusraamit valmistussuunnittelulle. (Meyer Turku 2018d.)

## 2.2 Ikkunasysteemi

### 2.2.1 Sopimuserittelyvaihe

Sopimuserittelyn tekovaiheessa ikkunoiden systeemivastuullinen tekee ikkunaerittelyn ja mahdolliset liitteet laivan sopimuserittelyyn. Systeemivastuullinen henkilö tekee kal-  
kyylin erittelyn ja GA:n pohjalta arvioimalla laivan ikkunoiden lukumäärän.

Tässä vaiheessa projektin insinööri merkitsee alustavat ikkunasymbolit GA:n havain-  
noimaan tulevan ikkunan paikkaa ja kokoa. Ikkunasymbolien tulee sisältää alustavien  
aukkojen siirtämiseen tarvittavat attribuuttitiedot 2D ”yleisjärjestelystä” Napa Steel-  
luokitusmalliin. (Meyer Turku 2018e.)

### 2.2.2 Perussuunnitteluvaihe

Sopimuserittelyä seuraavat alustavat perussuunnittelun lähtöaineistot, jotka eri osastot  
valmistelevat ikkunoiden ja ikkunajärjestelyiden suunnittelua varten. Näihin aineistoihin  
kuuluvat esimerkiksi kriittisten teräsrakenteiden luokitus. Ikkunasysteemin suunnittelija  
valmistelee piirustukset laivaprojektissa käytettävistä eri ikkunatyypeistä. Piirustukset  
sisältävät ikkunoiden standardikoot ja ikkunakohtaiset rakenteelliset yksityiskohdat,  
kuten esimerkiksi paksuuden ja paloluokituksen.

Alustavat ikkunat siirretään sopimus-GA-tasolta Cadmatic-malliin ja edelleen hyväksyt-  
täväksi runkoluokitusosastolle, jonka jälkeen runkoluokitus päivittää mallin näiden tieto-  
jen pohjalta. (Meyer Turku 2018f.)

Aluesuunnittelun ollessa käynnissä ikkunasysteemin suunnittelija tekee alustavan tar-  
kastelun teknisten tilojen, kuten keittiötilojen ja konehuoneiden ikkunoista, näiden alu-  
eiden vastuullisten henkilöiden kanssa. Ikkunat määritellään mahdollisimman tarkasti,  
jotta voidaan minimoida tarvittavat korjaukset tulevaisuudessa. Suunnittelijat määrittä-  
vät ikkunoiden koon, tyypin ja paikan. (Meyer Turku 2018f.)

Ikkunasysteemin suunnittelija tekee aukkopyynnöt runkoluokitus-osastolle erikseen sovitun aikataulun mukaisesti. Runkoluokitus-osasto hyväksyy tai hylkää aukkopyynnöt, jotka tarvittaessa korjataan. Teknisten alueiden ikkunatiedot sovitaan katselmuksissa aluesuunnittelijoiden kanssa. Yleisten alueiden osalta aluevastaava suunnittelija hyväksyy ikkunatiedot yhdessä asiakkaan ja arkkitehdin kanssa aluekohtaisissa palavereissa. (Meyer Turku 2018f.)

## 3 SÄÄNNÖT JA SÄÄDÖKSET

### 3.1 Merenkulun sääntely

Koko merenkulkua säännellään niin globaalilla, eurooppalaisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Sääntelyllä pyritään turvaamaan kansainvälisen- ja kotimaan meriliikenteen turvallisuus ja ympäristöystävällisyys. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2018.)

Kansainvälisellä tasolla merenkulkua sääntelee YK:n alainen merenkulkujärjestö IMO, joka on laatinut merenkulun turvallisuutta sääntelevän SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) -sopimuksen. Ympäristön suojeluun liittyvät säännökset on puolestaan sovittu MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution From Ships) -sopimuksessa. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2018.)

EU-tasolla sääntelyllä pyritään takaamaan ihmisten ja tavaroiden liikkuminen vapaasti EU:n sisällä. Suurin osa EU-tason säännöksistä on syntynyt jäsenmaiden reaktiona kansainvälisen toimintaympäristön muutokseen. Tällaisia muutoksia ovat esimerkiksi tapahtuneet öljyvuodot ja merionnettomuudet, joiden johdosta valvontaa on kohdistettu enemmän huonokuntoisiin aluksiin. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2018.)

Edellä mainittujen sopimusten lisäksi merenkulkua säädellään myös kansallisella tasolla, jolloin säännellään ja valvotaan pääasiassa kotimaassa kulkevien alusten turvallisuutta.

Suomen aluevesillä kulkevien alusten turvallisuudesta ja niille asetettujen säädösten täyttämisestä vastaa liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2018.)

## 3.2 Luokituslaitokset

Luokituslaitokset ovat yksityisiä merenkulun alalla toimivia laitoksia, jotka yhteistyössä viranomaisen (Suomessa Trafi) kanssa katsastavat laivan (Liikenteen turvallisuusvirasto 2018).

Luokituslaitokset voivat tekemiensä tarkastusten perusteella myöntää alukselle SOLAS-yleissopimuksen, MARPOL-yleissopimuksen ja Loadline-yleissopimuksen mukaiset turvakirjat ja hyväksyä kaikki aluksen hyväksymiseen vaadittavat dokumentit ja suorittaa ISM-auditoinnit (Liikenteen turvallisuusvirasto 2018).

Luokituslaitoksesta riippumatta niille annetut vastuut ovat identtisiä, jolloin tehtävien tarkastusten kannalta ei ole merkitystä minkä luokituslaitoksen kanssa laivaisäntä sopimuksen tekee (Liikenteen turvallisuusvirasto 2018).

## 3.3 Ikkunat

### 3.3.1 Yleiset vaatimukset laseille

DNVGL-luokituslaitoksen ohjeiden mukaan laivan ikkunat valmistetaan ja testataan ISO-standardien 1751, 3903, 21005 ja 614 mukaisesti. Sama pätee myös muihin kansainvälisiin tai kansallisiin standardeihin, jotka vastaavat ISO-standardeja. (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.1.1.4.)

Ikkunoiden lasit voidaan valmistaa joko yksittäisistä lasilevyistä, jotka ovat karkaistua turvalasia, tai laminoidusta turvalasista. Karkaistua turvalasia valmistetaan noudattaen ISO 21005 -standardia. Laminoidun lasin tulee olla liimattu koko pinta-alaltaan esimerkiksi polyvinyylibutyyraali-kalvolla (PVB). (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.1.1.)

Jos käytetään lämpökarkaistua lasia, niin karkaisun syvyyden tulee olla vähintään 30 µm. Lasi-erät testataan EN 1288-3 -standardin mukaan noudattaen ISO 614-, 1095- ja 21005-standardeja. Kemiallisesti karkaistujen lasien käyttö ei kuitenkaan ole sallittua 4. tason alapuolella laivan rungossa. (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.1.1.8.)

Lämpökarkaistujen lasien tulee olla ISO 3434 -standardin mukaisia. Lasityypeistä kerrotaan enemmän luvussa 4 (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.1.1.9).

### 3.3.2 Valoventtiilit (*side scuttle*)

Valoventtiilien määritelmä on, että ne ovat pyöreitä tai ovaalin muotoisia eikä niiden pinta-ala ylitä 0.16 m<sup>2</sup>. Tästä suurempia pyöreitä ja ovaaleja aukkoja kutsutaan ikkunoiksi. Kuvassa 1 näkyä valoventtiili on varustettu saranoidulla sokkoluukulla (*dead light*), joka voidaan tarpeen vaatiessa sulkea. (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.2.)



Kuva 1. Esimerkki valoventtiilistä (*side scuttle*) (Bohamet, 2018).

Seuraavien tilojen venttiilit on varustettava sisäpuolisilla saranoiduilla sokkoluukuilla:

- alueet, jotka sijaitsevat varalaitakannen alapuolella
- laivan korkeussuunnassa mitattuna, ensimmäisellä tasolla (*1st tier*) sijaitsevat suljetut tilat
- ensimmäisellä tasolla sijaitsevat kansirakenteet, jotka suojaavat alla olevia aukkoja tai jotka katsotaan kelloviksi vakauselämissä.

Valoventtiilien tulee olla suljettavissa ja vesitiiviitä, niiden ollessa varalaitakannen alapuolella, ja säänkestäviä niiden ollessa sen yläpuolella. (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.2.1.3).

Valoventtiilejä ei saa sijoittaa sellaiseen paikkaan, että niiden karmien alareunat ovat varalaitakannen linjan alapuolella, jonka alin piste on 2.5 % leveydestä B (*breadth*), tai 500 mm (kumpi tahansa on suurempi) vesilinjan (*summer load line*) yläpuolella. (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.3.1.3.)

Mikäli tarvittavat vauriolaskelmat osoittavat, että valoventtiilit voisivat keskisuuren tason vuodossa upota veden alle, on luukkujen oltava tyypiltään aukeamattomia (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.3.1.4).



### 3.3.3 Normaalit ikkunat

Ikkunat ovat yleensä suorakaiteen muotoisia lasielementtejä, joiden kulmien säde on suhteessa ikkunan kokoon. Myös pyöreät tai ovaalin muotoiset elementit, joiden pinta-ala ylittää 0.16 m<sup>2</sup> katsotaan ikkunoiksi. (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.2.1.)



Kuva 2. Esimerkki normaalista ikkunasta (Bohamet, 2018).

Ikkunoita ei saa asentaa

- varalaitakannen alapuolelle
- ensimmäiselle tasolle päätylaipioihin tai suljettujen rakenteiden sivuihin
- ensimmäisen tason kansirakenteisiin, jotka määritellään kantaviksi vakausselkelyissä (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.3.1.5).

Valoventtiilien ja ikkunoiden, jotka ovat toisen tason sivuilla, tulee olla varustettu sisäpuolisilla ja saranoiduilla kansilla, jotka voidaan sulkea ja suojata säänkestävästi, mikäli rakenne suojaa suoran pääsyn alempaan tilaan, tai sitä pidetään kantavana rakenteena vahvuuslaskelmissa (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.3.1.6).

Sivulaipioissa olevien ikkunoiden ja venttiilien, jotka on asennettu ulkokuoren sisäpintaan toisella tasolla ja jotka suojaavat suoraa yhteyttä alla oleviin tiloihin, tulee olla varustettu joko saranoiduilla kansilla, tai jos mahdollista, pysyvästi kiinnitetyillä myrskysuojilla, jotka voidaan sulkea säänkestävästi (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.3.1.7).

Hyttilaipiot ja ovet toisella tasolla ja sen yläpuolella erottaen valoventtiilit ja ikkunat suoralta yhteydeltä alapuolelle, tai toisella tasolla kantaviksi määriteltyihin rakenteisiin, voidaan hyväksyä korvaamaan myrskysuojat ja venttiilien kannet (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.3.1.8).

Kansirakenteet, jotka sijaitsevat korotetulla kannella tai tavallista matalammalla kannella, voidaan katsoa samanlaisiksi kuin toisella tasolla olevat, kunhan sokkoluukkujen vaatimukset on otettu huomioon ja huolehdittu, että korotettu kansi tai kansirakenne on korkeampia tai yhtä korkeita kuin tavallinen korokekansi (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.3.1.9).

### 3.4 Ikkunoiden sijoitus

Laiva on korkeussuunnassa jaettu tasoihin, joita myös laivan lujuuslaskelmissa käytetään. Taso määritellään kansirakenteeksi, joka koostuu kannesta ja sen ulkoisista laipioista.

Ensimmäinen taso on yleensä varalaitakannen yläpuolella sijaitseva taso. Jos laivassa on sellainen kansi, jossa on ylimääräinen varalaita, voidaan sääkannen yläpuolella sijaitseva taso määritellä ylimmäksi tasoksi. (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.2.1.3.)

### 3.5 Paloturvallisuus

Ikkunoita valittaessa on otettava huomioon myös paloluokitusten asettamat vaatimukset laivan eri osissa. Ikkunoihin sovelletaan normaalisti samoja paloturvallisuusvaatimuksia kuin laipioihin, joihin ikkunat asennetaan. Ikkunat tulee olla myös testattu FTP Code:n mukaisesti (SOLAS Ch. II-2 Reg. 9.4.1.3.1).

Lisäksi, mikäli ikkuna on asennettu kokonaan sisätiloihin, on sen täytettävä alueen vaatimat paloturvallisuusvaatimukset ikkunan molemmilta puolilta. Normaalisti ikkunan toinen puoli osoittaa merelle, jolloin ikkunoiden polttokokeet tehdään ainoastaan sisältä ulospäin ja tällöin myös palosertifikaatti ikkunan sisäpuolelta riittää (T. Leino 2018; P. Ylinen 2018).

Poikkeustapauksena ovat kuitenkin pelastautumiseen tarkoitetut ulkoalueet esimerkiksi, hätäpoistumistiet ja pelastusveneiden alapuolella sijaitsevat ikkunat, joiden paloluokitus on erikseen määritetty (SOLAS Ch. II-2 Reg. 9.4.1.3.2).

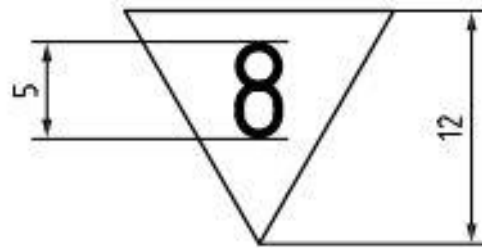
Edellä mainituilla alueilla voidaan kuitenkin ikkunoiden paloluokitukseksi hyväksyä laipion paloluokitusta kevyempi luokitus. Jos esimerkiksi alueen vaatimuksena ovat A-60 luokan ikkunat, voidaan A-0-luokan ikkunat hyväksyä samanarvoisiksi, mutta se vaatii erillisen jäähdytyksen. Tässä tapauksessa alueiden täytyy olla, joko varustettu omilla ikkunakohtaisilla sprinklereillä tavallisten sprinkleripisteiden lisäksi, tai tavalliset sprinkleripisteet tulee olla asennettu niin, että ikkunaa suojaava vesisuihku on levitysnopeudeltaan, keskiarvallisesti vähintään 5l/min/m<sup>2</sup>. (SOLAS Ch. II-2 Reg. 9.4.1.3.3.)

Ikkunat, jotka sijaitsevat pelastusvenekannen alapuolella, tulee olla vähintään A-0 paloluokitettuja. Lisää lasien palonsuojauksesta kerrotaan myöhemmin kappaleessa 4.6 (SOLAS Ch. II-2 Reg. 9.4.1.3.3.2).

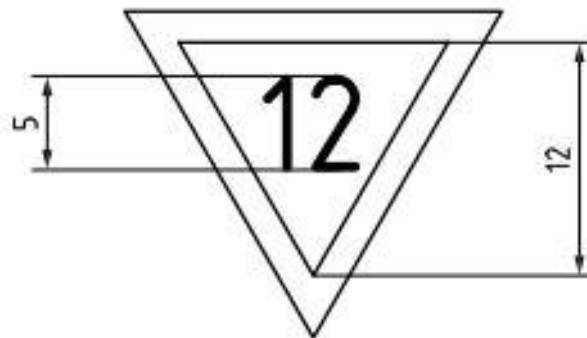
### 3.6 Ikkunoiden merkintä

Laivan lämpökarkaistut ikkunat testataan ISO 614:2012(E) standardin mukaan, jonka jälkeen lasihin merkitään info lasin nimellispaksuudesta seuraavasti:

- a) Kirkaspintaisiin lasihin tulee kolmio, jonka sisällä on merkittynä lasin nimellispaksuus (kuva 3).
- b) Pinnoitetuissa lasseissa merkintään tulee kaksi kolmiota, joiden sisällä on merkittynä lasin nimellispaksuus (kuva 3). (ISO 614/2012(E) 5.1, 4).



**a) Clear glass**



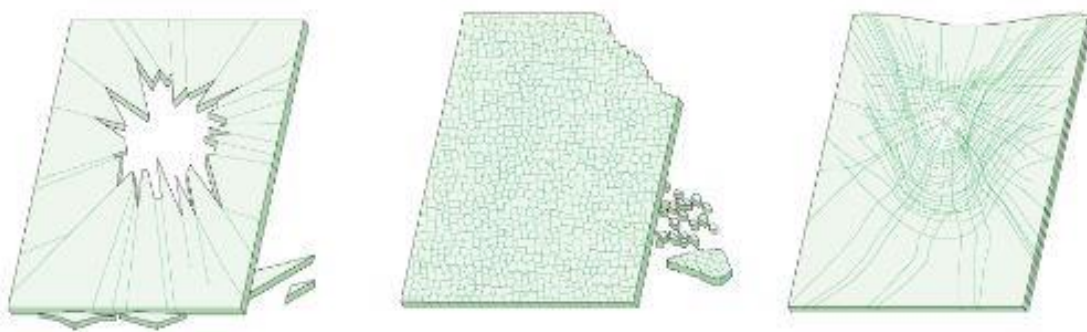
**b) Surface treated glass**

Kuva 3. Lasin merkintä (ISO 614/2012(E) 5.2, 4).

Lasimerkintöjen mitat ilmoitetaan millimetreinä. Merkintä tehdään ennen karkaisemista, mutta pinnoituksen jälkeen ja merkinnän täytyy olla näkyvillä ikkunoiden asennuksen jälkeen. (ISO 614/2012(E) 5.1, 4).

## 4 LASIN OMINAISUUDET

Laseja on montaa erilaista tyyppiä, ja ne soveltuvat erilaisiin tarkoituksiin eri ominaisuuksiensa ansiosta. Talonrakennuspuolella ikkunoissa käytetään normaalisti karkaismatonta floatlasia, mutta laivan ikkunoissa käytetään aina karkaistuja turvalaseja. Karkaistu lasi kestää float-lasiin verrattuna jopa viisinkertaisen määrän iskuja sekä painetta (Lasifakta 2018, 44).



Kuva 4. Lasin rikkoutuminen. Kuvassa tavallinen tasolasi, karkaistu turvalasi sekä laminoitu turvalasi (Pilkington 2018).

Turvalasin määritelmä on, että se on karkaistua, laminoitua tai karkaistua ja laminoitua lasia, joka rikkoutuessaan ei vahingoita henkilöitä.

Ikkunoita valittaessa, lasin kestävyuden lisäksi huomioitavia asioita ovat

- lämmön eristys
- auringon säteilyn suojaus
- palon suojaus
- äänen eristys. (Lasifakta 2018, 44.)

#### 4.1 Karkaistu turvalasi

Karkaistu turvalasi valmistetaan lämmittämällä lasi ensin noin 650 asteen lämpötilaan karkaisu-uunissa. Lämmityksellä saadaan lasin jännitykset poistumaan. Lämmityksen jälkeen lasi jäähdytetään nopeasti, jolloin lasin pintaan jää puristusjännitys ja lasin keskiosaan jää vetojännitys. (Lasifakta 2018, 44.)

Lämpökarkaisemalla lasista saadaan kestävä, ja ennen kaikkea lasin rikkoutumistilanteessa lämpökarkaistu lasi ei hajoa kemiallisesti lujitettujen lasien tavoin sirpaleiksi, jotka voisivat tehdä viiltohaavoja, vaan hajotessaan se murenee vaarattomiksi lasimuruiksi (Lasifakta 2018, 44).

#### 4.2 Laminoitu turvalasi

Laminoitu lasi valmistetaan laminoimalla kaksi tai useampi Float-lasi yhteen muovikalvolla. Laseja lämmitetään niin, että muovikalvo kiinnittyy lasiin, jonka jälkeen lasi vietään autoklaaviin. Suuren paineen ja korkean lämpötilan seurauksena, kalvo sulautuu lasien väliin ja muodostaa kokonaisuuden, jota kutsutaan laminoiduksi turvalasiksi. (Lasifakta 2018, 44.)

Lasien välissä oleva kalvo tekee ikkunasta kestävämmän. Rikkoutuessaan lasi sirpaloituu tavallisen ikkunan tavoin, mutta sirpaleet eivät irtoa ja siten aiheuta vaaraa. Sirpaleet pysyvät laminaatissa kiinni, jolloin levy pysyy yhtenäisenä. Lasin laminaatti on myös hyvä suoja UV-säteilyä vastaan. Laminaatti ei kuitenkaan vaikuta lasin läpinäkyvyyteen millään tavalla. (Lasifakta 2018, 44.)

Ikkunoiden välissä oleva laminaattikalvo voi olla esimerkiksi PVB-, SGP-, tai EVA-laminaattia. Yleisin näistä on PVB-kalvo (Polyvinyylidi butyraali) (Lasifakta 2018, 44).

### 4.3 Laminoitu karkaistu turvalasi

Yhdistämällä kaksi edellä mainittua menetelmää, saadaan aikaan laminoitu karkaistu turvalasi, jossa yhdistyy karkaistun lasin hyvä iskun kestävyys ja laminoidun lasin ominaisuus, pitää lasin palaset yhdessä lasin rikkoutuessa. Tällainen yhdistelmä kestää hyvin sekä painetta, että iskuja, joten se sopii hyvin sellaisiin kohteisiin, jossa laseihin saattaa kohdistua monenlaista rasitusta. Lasityyppien yhdistämisestä on hyötyä myös auringon suojauksessa, äänieristyksessä sekä lämpötilaerojen kestävyudessa. (Lumon Turvalasit 2018.)

Laminaattien ominaisuuksilla on todettu olevan keskenään jonkin verran eroja. Esimerkiksi SGP-laminaatin on tutkittu olevan jopa viisi kertaa vahvempaa ja 100 kertaa jäykempää, kuin yleisemmin käytetty PVB-laminaatti. On olemassa joitain testauksia siitä, että yhdistelmälasilla saataisi luotua niin kestävä elementti, että laivan ikkunoissa yhden lasilevyn ei välttämättä tarvitsisi olla niin paksu, kuin pelkästään karkaistulla lasilla varustetussa ikkunassa. Lasi on erittäin painavaa ainesta ja jos laminoinnin avulla voidaan valita ohuempi lasivaihtoehto, säästetään silloin koko ikkunan painossa, joka taas vaikuttaa positiivisesti koko laivan painoon, pienentämällä sitä. (Shenzhen Jimmy Glass Oy 2018; A. Vainisto, henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2018.)

### 4.4 Eristelasit

Eri laseja yhdistelemällä voidaan vaikuttaa esimerkiksi lämmöneristävyyteen, sisäilman laatuun, energiatehokkuuteen ja ympäristövaikutuksiin. Useampilasisella rakenteella voidaan ehkäistä epämiellyttävää kylmän hohkaa, tai vedon tunnetta (Ikkunawiki 2018).

Ikkunoiden lämmöneristävyydestä kertoo lasin U-arvo, eli lämmönläpäisykerroin, joka kertoo kuinka paljon lämpöä ikkuna läpäisee watteina neliometriä kohden, lämpötilaeron ollessa yhden asteen. Eli mitä pienempi U-arvo ikkunalla on, sitä parempi on myös lämmöneristävyys. U-arvon kannalta on edullista käyttää useampi lasisia ikkunarakenteita, jolloin lasien väliin jää tila, joka täytetään kaasulla (tavallisimmin argonilla, ilmalla tai kryptonilla) lämmönjohtavuuden pienentämiseksi. (Lasifakta 2018, 17.)

Emissiviteetti puolestaan kertoo lasin pinnasta säteilevän lämmön määrän. Matalan emissiviteetin omaava ikkuna siis säteilee vähän lämpöä, jolloin suurin osa lämmöstä

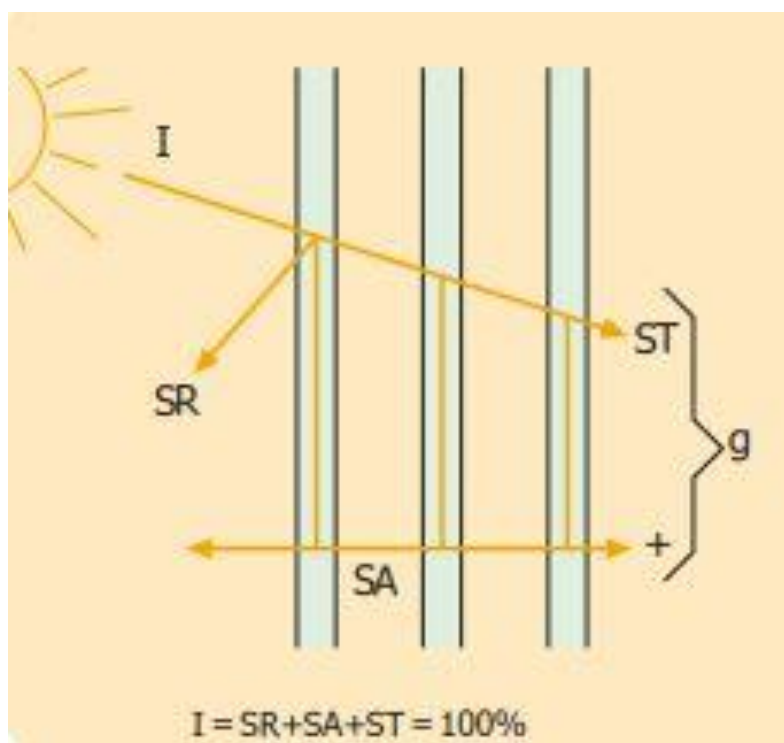
säilyy lasin pinnassa, joka pitää lasin lämpimänä. Lasin matala emissiviteetti on hyvä asia energiatehokkuuden kannalta. (Lasifakta 2018, 17.)

#### 4.5 Auringon säteilyltä suojaaminen

Energiatehokkuuden myötä ikkunoiden auringonsuojaus on kasvattanut merkitystään. Lasien auringonsuojauksella voidaan estää liiallisen lämmön pääsy huonetilaan auringosta johtuen, jolloin huoneilma pysyy tasaisena ja miellyttävänä, mutta kuitenkin saadaan riittävästi päivänvaloa sisätiloihin. (Suomen Tasolasiyhdistys ry 2018.)

Lasien auringonsuojauksen kannalta tärkeitä arvoja ovat aurinkoenergian kokonaisläpäisy, g-arvo, valon läpäisy LT, sekä joissain tilanteissa auringon suoraläpäisy ST. Valon läpäisy on tarkemmin määritetty SFS-EN 410 -standardissa ja U-arvo SFS-EN 673 -standardissa. (Lasifakta 2018, 23.)

Oikeanlaisella lasituksella voidaan estää sisäilman liiallinen lämpeneminen, jolloin koineellisen ilman jäädytyksen tarve vähenee. Lasituksen suorituskyvystä kertoo perusvaatimukset yhteen tiivistävä suorituskyvykoodi U/LT/g. (Lasifakta 2018, 7.)



Kuva 5. Auringon vaikutus lasirakenteen läpi (Lasifakta 2018).



Kuva 5 havainnollistaa, kuinka aurinkoenergia vaikuttaa sisäilmaan kahdella tavalla. Aurinkoenergian kokonaisläpäisy, eli g-arvo nostaa huoneilman kokonaislämpötilaa ja auringon suoraläpäisy, eli ST nostaa puolestaan pintojen lämpötilaa, joihin aurinko valoa heijastaa (Lasifakta 2018, 21).

#### 4.6 Palonsuojaus

Laivanrakennuksessa lasin palonsuojausta mietittäessä, on tärkeää muistaa ottaa huomioon mille alueelle ikkuna ollaan asentamassa. Kuten kappaleessa 3.5 sanottiin, laipioiden paloluokitukset määrittävät ikkunoiden paloluokan.

Lasin palonsuojaus voidaan toteuttaa perustuen lasin laminointiin. Lasien välissä oleviin tiloihin laitetaan palonestokerros, joka voi olla esimerkiksi kidevettä sisältävää silikaattia, tai muuta palonestoainetta, riippuen lasityypistä ja paloluokituksesta. (Lasifakta 2018, 32.)

Pelkästään karkaistuja palonsuojalasejakin on olemassa. Nämä lasit toimivat samalla myös turvalaseina. Tällaisia laseja voidaan kuitenkin myös laminoida, jolloin palonsuojaluokkaa voidaan saada vielä korkeammaksi (Lasifakta 2018, 32).

Sellaisen ikkunan rakenteessa, jossa on useampi lasi, palonsuojalasi sijaitsee normaalisti aina sisimpänä. Laivoissa A0-paloluokitettujen ikkunoiden sisimmäinen lasi koostuu kahdesta 6 mm lasista, joiden välissä on 4mm geeli. (P. Ylinen henkilökohtainen tiedonanto 5.1.2018.)

#### 4.7 Äänieristys

Lasin ääneneristystä voidaan parantaa esimerkiksi paksuntamalla itse lasia ja/tai muuttamalla lasien välejä.

Kun lasin paksuutta kasvatetaan, ääniaallot eivät enää pysty vaikuttamaan lasiin yhtä voimakkaasti. Useampilasisessa rakenteessa käyttämällä eri paksuisia laseja, pystytään vaikuttamaan äänieristävyteen. Tällöin ikkunan lasit eivät enää värähtele samalla taajuudella ja äänieristävyys paranee. Mitä suurempi on etäisyys lasien välillä, sitä paremmin ikkuna eristää ääntä. (Lasifakta 2018, 39.)

Useita laseja yhteen laminoimalla, lasin taivutusjäykkyys pienenee, jolloin yli 1000Hz ääniaallot vaimenevat tehokkaasti. Tästä johtuen, esimerkiksi kaksi 4mm lasia laminoituna yhteen vaimentaa paremmin korkeataajuisia ääntä kuin yksi 8mm lasi. (Lasifakta 2018, 38.)

## 5 PAINELASIN MITOITUS

Painelasien mitoitusprosessi alkaa lähtötietojen selvittämisellä. Tässä opinnäytetyössä ikkunoiden mitoitus suoritetaan käyttäen DNVGL-luokituslaitoksen tapaa laskea ikkunoiden paksuuksia. Jotta lasi tulisi mitoitettua oikein, täytyy tietää millaisia rasituksia ja kuormituksia siihen kohdistuu.

### 5.1 Paineen laskeminen

Painelasin paksuuden laskeminen aloitetaan määrittämällä ikkunoihin vaikuttava paine. Laivan eri kohtiin vaikuttaa erilaiset voimat, joten paineet on laskettava ikkunakohtaisesti.

Laivan ikkunoiden paineen laskemiseen sovelletaan seuraavaa, laivan laipioihin kohdistuvan paineen kaavaa:

Kaava 1. Paine (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4).

$$P_A = f_n * f_c [f_b * f_d - (Z_w - T_{SC})]$$

Jossa:

$P_A$  = Kyseiseen laipioon kohdistuva paine (kN/m<sup>2</sup>)

### 5.1.1 Kerroin $f_n$

$f_n$  = Laipion sijainnin mukaan määräytyvä kerroin (Taulukko 1).

Kertoimen laskukaava määräytyy sen mukaan, missä kohdassa laivaa tarkasteltava piste sijaitsee. Kaavassa,  $L_2$  tarkoittaa laivan pituutta, jonka täytyy kaavaa käytettäessä, DNVGL:n sääntöjen mukaan olla yli 300 metriä.

Taulukko 1. Taulukko kertoimelle  $f_n$  (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4.1).

Type of bulkhead	Location	$f_n$
Unprotected front bulkhead <sup>1)</sup>	Lowest tier <sup>2)</sup>	$20 + \frac{L_2}{12}$
	Second tier	$10 + \frac{L_2}{12}$
	Third tier and above	$5 + \frac{L_2}{15}$
Protected front bulkhead <sup>1)</sup>	All tiers	$5 + \frac{L_2}{15}$
Side bulkheads	All tiers	$5 + \frac{L_2}{15}$
Aft end bulkheads	Abaft amidships	$7 + \frac{L_2}{100} - 8 \frac{x}{L_2}$
	Forward of amidships	$5 + \frac{L_2}{100} - 4 \frac{x}{L_2}$

### 5.1.2 Kerroin $f_c$

$f_c$  kerroin, joka määräytyy tarkasteltavan pisteen sijainnista leveys suunnassa, saadaan kaavasta 1:

Kaava 2 (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4.1).

$$f_c = 0,3 + 0,7 * \frac{b_1}{B_1}$$

Kaavassa  $b_1$  on kansirakenteen leveys tarkasteltavassa kohdassa ja  $B_1$  on laivan sääkannen leveys tarkasteltavassa kohdassa. Kerroin  $f_c$  ei saa kuitenkaan olla missään tapauksessa arvoltaan alle 0.475 ja konehuoneen suojaamattomassa kohdassa sen on oltava vähintään 1.0.

### 5.1.3 Kerroin $f_b$

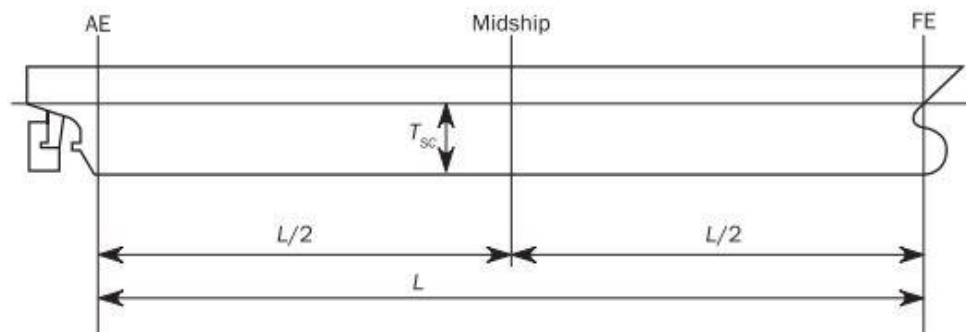
Kerroin  $f_b$  on riippuvainen tarkasteltavan laipion sijainnista laivan x-koordinaatin suunnassa. Kerroin lasketaan taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Taulukko kertoimelle  $f_b$  (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4.1).

Location of bulkhead <sup>1)</sup>	$f_b$
$\frac{x}{L} < 0.45$	$1 + \left( \frac{\frac{x}{L} - 0.45}{C_{B1} + 0.2} \right)^2$
$\frac{x}{L} \geq 0.45$	$1 + 1.5 \left( \frac{\frac{x}{L} - 0.45}{C_{B1} + 0.2} \right)^2$

Taulukon 2 kaavassa,  $x$  tarkoittaa tarkasteltavan laipion paikkaa metreinä, mitattuna laivan perästä (AE) kohti keulaa (FE). Pituudella  $L$  tarkoitetaan laivan "Rule length" pituutta, joka on määritetty mitattavaksi syvyydessä  $T_{sc}$  (*scantling draught*), rungon etupuolelta peräsinkannen keskikohtaan. (Kuva 1)

$T_{sc}$  = *scantling draught*, eli laivan syväys, laivan ollessa täyteen lastattu, jota vahvuuslaskelmissa käytetään (Kuva 1).



Kuva 6. Scantling draught (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch1Sec4.3.1.12).

Tässä vaiheessa laiva voidaan jakaa pituussuunnassa pienempiin, keskenään yhtä suuriin osiin, mutta kuitenkin ylittämättä  $0,15 \cdot L$  pituutta. Näiden osien keskikohtaa voidaan käyttää laskuissa x-koordinaattina, kuten tässä kertoimen  $f_b$  laskussa.

Taulukon 2 kaavassa,  $C_{B1}$  kerroin saadaan kaavasta:

Kaava 3. Block coefficient (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch1Sec4.3.1.9).

$$C_{B1} = \frac{\Delta}{1.025LBT_{sc}}$$

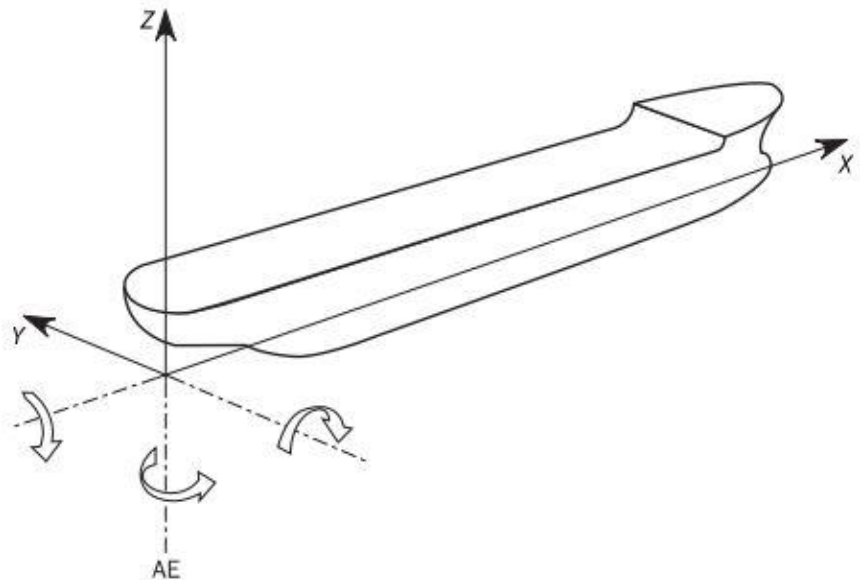
, jossa  $\Delta$  tarkoittaa laivan rungon tilavuutta kuutiometreinä, mitattuna pohjalinjasta korkeuteen  $T_{sc}$  (Kuva 3).

#### 5.1.4 Kerroin $f_d$

$f_d$  kerroin määritetään niin, että laivan pituuden  $L$  ollessa 300 metriä, tai yli (tässä tapauksessa 318 metriä), arvoksi annetaan automaattisesti 11,03.

#### 5.1.5 Korkeus $Z_w$

$Z_w$  tarkoittaa tarkasteltavan pisteen pystysuoraa korkeutta metreinä, mitattuna koordinaattisysteemin mukaisesti (Kuva 2).



Kuva 7. Koordinaattisysteemi (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch1Sec4.3.6).

## 5.2 Painelasin paksuus ikkunoille

Kun tiedetään lasiin vaikuttavat voimat, voidaan niiden perusteella laskea lasilta vaadittava minimipaksuus. DNVGL on antanut minimipaksuuden laskemiseen seuraavanlaisen kaavan:

Kaava 4. Ikkunan minimipaksuus (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.4.1.1).

$$t_r = \frac{b}{200} \sqrt{\beta * P}$$

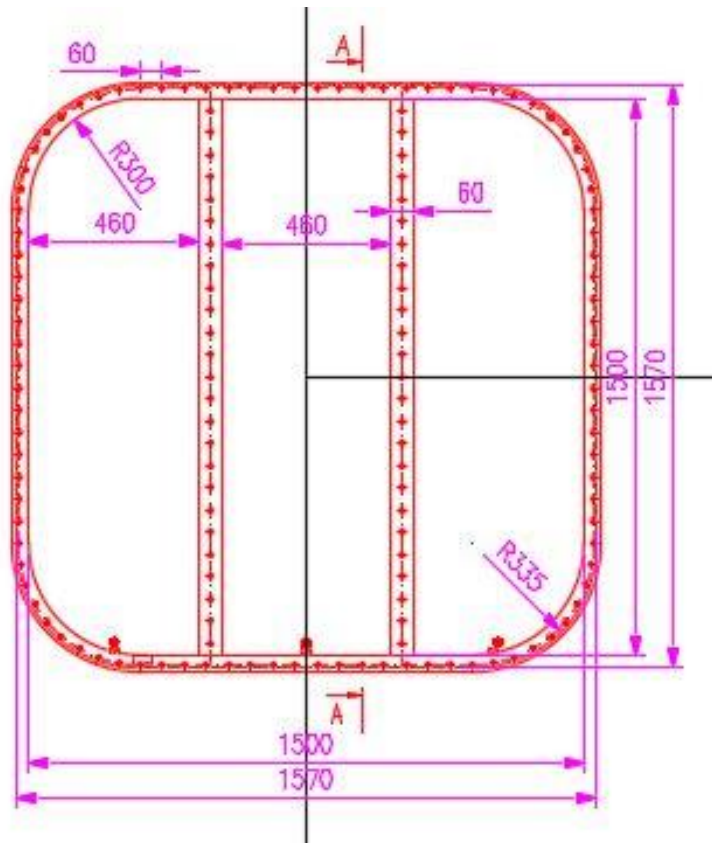
jossa:

$t_r$  = vaadittava painelasin paksuus (mm)

$b$  = ikkunan pienempi mitta, millimetreinä (Kuva 7)

$\beta$  = kerroin kuvaajasta (Kuvio 1)

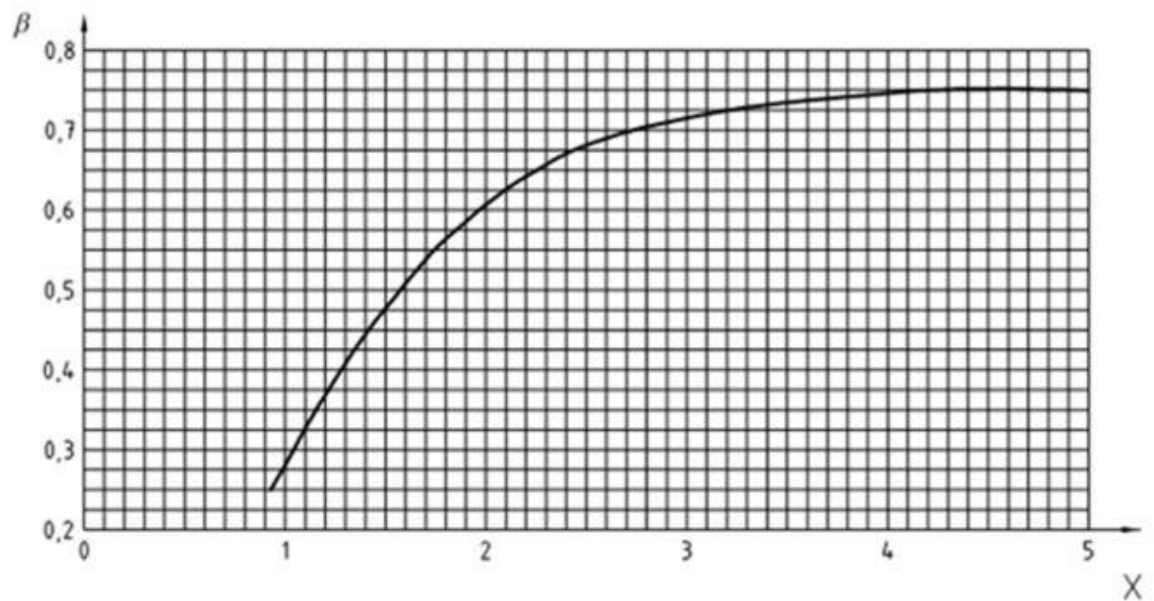
$P$  = ikkunaan vaikuttava paine (kN/m<sup>2</sup>), joka edellisessä kappaleessa laskettiin.



Kuva 8. Ikkunan rakenne (Sisäinen tietokanta Meyer Turku 2018).

Kuva 8 havainnollistaa ikkunan rakenteen, jonka nimellismitta on 1500x1500mm. Kuvassa näkyvistä mitoista 460mm tarkoittaa ikkunan pienempää mitta  $b$  ja pystysuunnassa 1500mm tarkoittaa ikkunan suurempaa mitta  $a$ , joita käytetään myös laskiessa kerrointa  $\beta$  (kuvio 1).



**Key**

X is the window size ratio =  $\left( \frac{\text{large dimension}}{\text{small dimension}} \right)$  in millimetres.

Kuvio 1. Kerroin  $\beta$  (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.4.1.1).

Laskemalla saatavien minimipaksuuksien lisäksi, on DNVGL:n toimesta annettu ehdottomia minimivaatimuksia lasin paksuuksille, jotka ovat erikseen määritetty seuraavasti:

Ikkunat, joiden pinta-ala on alle  $1\text{m}^2$ , painelasin minimipaksuus on 8 mm. Pinta-alaltaan  $1\text{m}^2$ , tai suuremmille ikkunoille minimipaksuus on 10mm.

Ikkunoiden sijaitessa ylempänä kuin  $1.7 \times C_W$  metriä korkeudesta  $T_{SC}$ , tulee alle  $1\text{m}^2$  ikkunoiden painelasien olla vähintään 6mm paksuja. Tässä korkeudessa,  $1\text{m}^2$  pinta-alaltaan olevat ikkunat, tai sitä suuremmat, on varustettava vähintään 8mm paksulla painelasilla.

### 5.3 Painelasin paksuus valoventtiileille

Valoventtiileihin vaikuttaa samat voimat kuin ikkunoihin, mutta venttiileihin on hieman erilainen laskukaava johtuen ikkunan erilaisesta muodosta. Valoventtiilien laskukaava on seuraavanlainen:

Kaava 5. Valoventtiilien minimipaksuus (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch12Sec6.4.1.1).

$$t_r = \frac{N}{362} \sqrt{P}$$

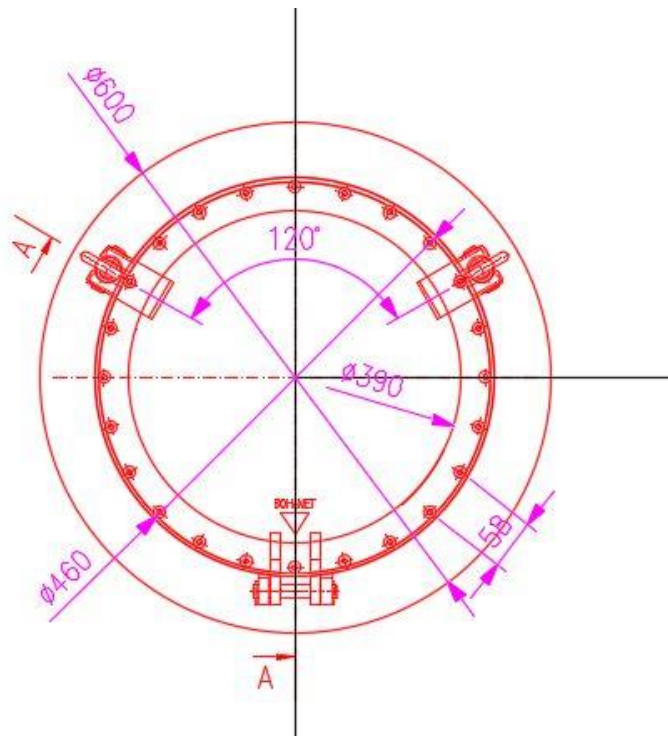
jossa:

$t_r$  = vaadittava painelasin paksuus (mm)

$N$  = valoventtiilin nimellismitta

$P$  = ikkunaan vaikuttava paine ( $\text{kN/m}^2$ ).

Valoventtiilin nimellismittalla  $N$  tarkoitetaan venttiilin läpinäkyvän osan halkaisijaa (kuva 9). Kuvan tapauksessa nimellismitta on 390mm.



Kuva 9. Valoventtiilin rakenne (Sisäinen tietokanta Meyer Turku 2018).

## 6 EXCEL-TYÖKALUN LUONTI

Excelin tekeminen aloitetaan luomalla ensimmäinen sivu, joka on tarkoitettu ns. pääsivuksi, josta voidaan hakea kertoimia ja arvoja yms. tarvittavia lähtötietoja, muiden sivujen avuksi, joilla lasketaan yksittäisten ikkunatyyppeiden ja ikkunoiden paksuuksia. Ensimmäisellä sivulla ei lasketa vielä ikkunoiden paksuuksia, vaan ainoastaan kertoimet sekä paineet jokaisen kannen kohdalta.

### 6.1 Pääsivu

Pääsivulla luodaan ensimmäisenä taulukko tarvittavista perustiedoista, jotka koskevat laivan runkoa. Taulukkoon on annettu seuraavat tiedot:

Taulukko 3. Lähtötietotaulukko pääsivulla.

The input values		
FE (Fore end) (Used also as L)	318	(m)
AE (Aft end)	0	(m)
$T_{sc}$ Draught scantling in (m)	8,95	(m)
$C_B$ Block coefficient	0,721	(-)
$b_1$ breadth of deckhouse at the position considered	42	(m)
$B_1$ breadth in scantling draught	42	(m)
x point considered in x-coordinate	0	(m)

Ensimmäisenä on annettu laskujen kaavoissa käytettävät arvot laivan pituudesta. Aiemmin kappaleessa 5.1.3 esitetyssä kuvassa (kuva 6) on esitetty laivan ”rule length”, jonka etupää on FE (fore end) ja peräpää AE (aft end). Tätä arvoa käytetään sellaisissa kaavoissa, joissa tarvitaan mittaa L.

Taulukon  $T_{sc}$  on myös selitetty aikaisemmin kappaleessa 5.1.3.

$C_B$  tarkoittaa kerrointa, joka määräytyy rungon muodon ja laivan painon mukaan. Kerroin saadaan laskettua rungon tilavuuden avulla. Rungon tilavuuden laskemiseksi olisi kuitenkin tiedettävä tarkasti mm. rungon muoto, joten tässä tapauksessa kerroin otetaan suoraan sisäisestä tietokannasta löytyvästä laivan mid-ship piirustuksesta, johon se on merkitty.

$b_1$  tarkoittaa kansirakenteen leveyttä tarkasteltavassa pisteessä. Tarkasteltavina pisteinä toimii tapauskohtaisesti jokaisen ikkunan y-koordinaatti.  $B_1$  puolestaan tarkoittaa laivan leveyttä  $T_{SC}$  korkeudessa, eli tässä tapauksessa 8,95 metrin korkeudessa laivan pohjalinjasta.

Taulukko 4. Taulukko kertoimille.

Coefficients			
fc coefficient	1,0	(-)	Not less than 0,475
fd coefficient	11,0	(-)	for $L \geq 300$ m
fb coefficient	1,2	(-)	$x/l < 0,45$
fb coefficient	1,4	(-)	$x/l \geq 0,45$
fn Lowest tier	46,5	(-)	Unprotected front bulkhead
fn 2nd	36,5	(-)	
fn 3rd tier and above	26,2	(-)	
fn All tiers	26,2	(-)	Protected front bulkhead
fn All tiers	26,2	(-)	Side bulkheads
fn Aft amidships	10,2	(-)	Aft end bulkheads
fn Forward of amidships	8,2	(-)	
$C_W$ Wave coefficient	10,8	(-)	For $300 < L \leq 350$

Taulukosta 4 löytyy kertoimet, joita käytetään paineiden laskemisessa niin kansittain, kuin ikkunakohtaisesti. Pääsivun kertoimia käytetään jokaisella sivulla kaavoja kirjoitettaessa. Tällöin ei tarvitse muuttaa jokaista kaavaa erikseen, jos jokin kertoimista muuttuu, vaan arvot muuttuvat kertoimien mukaan.

Kertoimelle  $f_b$  tehdään erikseen taulukko, sillä kerroin muuttuu laivan pituussuunnassa. eli x-koordinaatin mukaan.

Taulukko 5. Kerroin  $f_b$ .

$f_b$ coefficient			
x	x (m)	$f_b$	Location of bulkhead
AP	0	1,2	x/L < 0,45
0,05L	15,9	1,2	
0,15L	47,7	1,1	
0,25L	79,5	1,0	
0,35L	111,3	1,0	
0,45L	143,1	1,0	
0,55L	174,9	1,0	x/L ≥ 0,45
0,65L	206,7	1,1	
0,75L	238,5	1,2	
0,85L	270,3	1,3	
0,95L	302,1	1,4	
FP	318	1,5	

$f_b$  kertoimen määrittäminen on selitetty aikaisemmin kappaleessa 5.1.3, jossa selitettiin myös laivan jakaminen osiin pituussuunnassa. Laiva jaetaan kymmeneen yhtä suureen osaan, joiden keskikohta merkitään taulukkoon metreinä, mitattuna perästä AP. Jokaisesta keskikohdasta lasketaan kaavan mukaan kerroin  $f_b$ . Kaava on hieman erilainen riippuen, onko tarkasteltava kohta yli, vai alle 0,45 kertaa laivan pituus.

Taulukon x-arvoilla pystytään laskemaan kertoimet suuntaa antavasti, joten ikkunakohdaisesti paineita laskettaessa, täytyy kerroin laskea aina tarkan x-koordinaatin mukaan.

Taulukko 6. Sivulaipioiden paineet kansittain.

Design pressures by deck ( $p$ )			NOTE: The design pressure shall not be less than		
Deck	Deck height from BL (m)	Height from scantling draught T (m)			
Deck 19	56,9	48,0	2,5	2,5	2,5
Deck 18	54,1	45,2	2,5	2,5	2,5
Deck 17	51,1	42,2	2,5	2,5	2,5
Deck 16	47,9	39,0	2,5	2,5	2,5
Deck 15	45,1	36,2	2,5	2,5	2,5
Deck 14	42,4	33,5	2,5	2,5	2,5
Deck 12	39,7	30,8	2,5	2,5	2,5
Deck 11	37,0	28,1	2,5	2,5	2,5
Deck 10	34,3	25,4	2,5	2,5	2,5
Deck 9	31,5	22,6	2,5	2,5	2,5
Deck 8	28,2	19,2	7,4	7,4	7,4
Deck 7	24,0	15,0	15,8	15,8	15,8
Deck 61	22,9	14,0	-	-	-
Deck 6	20,6	11,6	54,1	39,6	22,6
Deck 5 - 3rd tier	17,8	8,8	127,4	112,9	89,1
Deck 4 - 2nd tier	15,0	6,1	199,5	185,0	161,1
Deck 3 Lowest tier	12,1	3,2	275,4	261,0	237,1
			AP	0,05L	0,15L

Taulukossa 6 lasketaan paineet kansittain z-koordinaattien (korkeus) arvoilla ja x-koordinaattien AP – FP arvoilla (pituus). Taulukossa otetaan huomioon myös minimivaatimukset paineelle, jotka on erikseen määritetty. Sivuille minimipaineet lasketaan kaavalla:

Kaava 6. Sivulaipioiden paineet (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.3).

$$P_{SI} = 3C_W(C_B + 0,7) - 2(z - T_{SC})$$

, johon tarvittavat kertoimet ja arvot saadaan aikaisemmista taulukoista. Kaava määritetään korkeuden mukaan, eikä siinä oteta huomioon x- tai y-koordinaatteja. Kaavasta 6 saatavat paineet alittavat joissain kohdissa laivaa arvon  $2,5 \text{ kN/m}^2$ , jolloin minimiarvoksi tulee  $2,5 \text{ kN/m}^2$  (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.3.1).

Taulukon 6 tapaan kaikille laipiotyypeille tehdään oma taulukko, jossa kertoimet muutuvat laipiotyyppin mukaan. Laskukaava pysyy muilta osin samana. Eri laipiotyypeille on kuitenkin eri minimipaineet (Taulukko 7).

Taulukko 7. Minimipaineet (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch4Sec5.3.4.1).

<i>L</i>	<i>P<sub>A-min</sub></i> in kN/m <sup>2</sup>	
	<i>Lowest tier of unprotected fronts</i>	<i>Elsewhere <sup>1)</sup></i>
<i>L</i> ≤ 250	$25 + \frac{L}{10}$	$12.5 + \frac{L}{20}$
<i>L</i> > 250	50	25

1) For the 4<sup>th</sup> tier and above, *P<sub>A-min</sub>* shall be taken equal to 12.5 kN/m<sup>2</sup> for the front bulkhead, and 2.5 kN/m<sup>2</sup> for deckhouse side and aft wall.

## 6.2 Ikkunakohtaiset sivut

Ikkunakohtaiset sivut nimetään Exceliin ikkunan tyyppin ja nimellismitan mukaan, niiden tunnistamisen helpottamiseksi. Sivuja tehdään yhteensä 6 kappaletta, joista 2 on valoventtiileille ja 4 on ikkunoille. Sivuille kootaan ne tarvittavat kertoimet ja taulukot, joita tarvitaan ikkunakohtaisiin laskuihin ja joita ei ole pääsivulla saatavissa.

### 6.2.1 Valoventtiilit

Ensimmäisenä tehdään sivu valoventtiilille, jonka nimellishalkaisija on 390mm. Sivun tekeminen aloitetaan tarkastelemalla valoventtiileiden lasinpaksuuden laskentakaavaa, joka on sama kuin luvussa 5.3, kaava 5. Kaavasta nähdään siihen tarvittavat arvot ja niille luodaan taulukot.

Taulukko 8. Window info valoventtiilille.

Window info			
Minor dimension of window opening	<b>b</b>		(mm)
Large dimension of window opening	<b>a</b>		(mm)
Nominal diameter for side scuttle	<b>N</b>	390	(mm)

Ensimmäisenä luodaan ”*window info*” taulukko, jossa on ikkunan tai valoventtiin tarvittavat mitat. Valoventtiileillä mitta on niiden nimellishalkaisija. Käytettävien kertoimien solut maalataan erivärisiksi, jotta ne erottuvat paremmin.

Taulukko 9. Kertoimet ja vakiot valoventtiilille.

Factors for glass thickness			
Factor for windows	(-)	200	(-)
Factor for side scuttles	(-)	362	(-)
Factor taken form figure 1	<b><math>\beta</math></b>		(-)

Seuraavaksi luodaan taulukko, johon tulee painelasin paksuuden laskemiseen vaadittavat kertoimet. Valoventtiileille käytetään vakiolukua ”*factor for side scuttles*”, joka saadaan lasinpaksuuden laskukaavasta.



Taulukko 10.  $f_b$  kerroin valoventtiileille

$f_b$ coefficient d03			$f_b$ coefficient d04		
x (m)	fb	Location	x (m)	fb	Location
65,0	1,1	x/L < 0,45			x/L < 0,45
		x/L > 0,45			x/L > 0,45
216,6	1,1		258,0	1,2	

Paineiden laskemiseen tarvittava kerroin  $f_b$  muuttuu aina x-koordinaatin mukaan, joten sille tehdään oma taulukko jokaiselle sivulle, johon tulee jokaiselle ikkunalle oma kerroin. Taulukossa 10, x-sarake kuvaa ikkunan keskikohdan paikkaa laivan pituussuunnassa. fb on kerroin, joka saadaan laskukaavasta, joka laskettiin aiemmin luvussa 5.3.1.

Taulukko 11. Lasinpaksuuksien laskenta.

Glass thickness (mm) in deck 03 (side)			
Height (m) from Tsc	Distance from AP (m)	Design pressure kN/m <sup>2</sup>	Window thickness (mm)
4,6	65,0	189,8	14,8
4,6	216,6	196,5	15,1
Glass thickness (mm) in deck 04 (side)			
Height (m) from Tsc	Distance from AP (m)	Design pressure kN/m <sup>2</sup>	Window thickness (mm)
7,5	258,0	136,8	12,6

Lasinpaksuuksien laskentataulukot tehdään taulukon 11 tapaan. Ensimmäiseen sarakkeeseen merkitään ikkunan alareunan korkeus eli z-koordinaatti, mitattuna korkeudesta  $T_{sc}$ . Seuraavaan sarakkeeseen tulee tarkka ikkunan x-koordinaatti metreinä, mitattuna perästä (AP). ”*Design pressure*” tarkoittaa tarkasteltavaan kohtaan vaikuttavaa painetta (kN/m<sup>2</sup>). Viimeiseen sarakkeeseen tulee kaavojen mukaan laskettu, ikkunan teoreettinen paksuus millimetreinä, jonka mukaan valitaan loppujenlopuksi oikea lasin paksuus lasinvalmistajalta.

### 6.2.2 Ikkunat

Valoventtiilien tapaan, ikkunoille luodaan ensimmäiseksi ”*Window info*” taulukko, johon tulee ikkunan mitat. Esimerkkinä tässä kappaleessa käytetään ikkunatyyppiä, jonka nimellismitta on 1300 x 900 (mm).

Taulukko 12. Window info ikkunoille

Window info			
Minor dimension of window opening	<b>b</b>	394	(mm)
Large dimension of window opening	<b>a</b>	900	(mm)
Nominal diameter for side scuttle	<b>N</b>		(mm)
Area of the window	<b>A</b>	0,35	(m)

Ikkunainfotaulukkaan merkitään ikkunan painelasin pienempi mitta *b* ja suurempi mitta *a*. Taulukkaan merkitään myös lasipaneelin pinta-ala *A* (*Area of the window*).

Seuraavaksi tehdään taulukko tarvittavista kertoimista, tarkasteltavalle ikkunatyypille. Ensimmäiselle riville tulee lasinpaksuuden laskentakaavan (5.2, Kaava 4) vakioluku ikkunoille ”Factor for windows”. Alimmalle riville tulee lasipaneelin koosta määräytyvä kerroin ( $\beta$ ), joka katsotaan kuvaajasta. Kertoimen määrittäminen esitettiin kappaleessa 5.2, (kuvio 1).

Taulukko 13. Kertoimet ja vakiot ikkunatyypille.

Factors for glass thickness			
Factor for windows	(-)	200	(-)
Factor for side scuttles	(-)	362	(-)
Factor taken form figure 1	$\beta$	0,66	(-)

Jokaiselle ikkunalle lasketaan kappaleen 6.2.1 valoventiili-laskujen tapaan oma  $f_b$  kerroin, jota käytetään paineenlaskukaavassa. Jokaisen ikkunan ( $f_b$ ) kerroin löytyy oman sivunsa kerrointaulukosta.

Taulukko 14.  $f_b$  kertoimet ikkunoille.

$f_b$ coefficient		
x (m)	$f_b$	Location
15,9	1,1	x/L < 0,45
54,6	1,0	
74,1	1,0	
		x/L > 0,45
216,9	1,4	

Ikkunoiden lasinpaksuuksien laskentaa varten tehdään oma taulukko, jokaista ikkunatyyppiä kohden. Selkeyden vuoksi jokaista kantta kohti tehdään oma taulukko lasinpaksuuksista.

Taulukko 15. Lasin paksuus ikkunoille.

Glass thickness (mm) in deck 04 (side)			
Height (m) from Tsc	Distance from AP (m)	Design pressure kN/m <sup>2</sup>	Window thickness (mm)
7,0	15,9	142,0	19,1
7,3	54,6	107,7	16,6
Glass thickness (mm) in deck 05 (side)			
Height (m) from Tsc	Distance from AP (m)	Design pressure kN/m <sup>2</sup>	Window thickness (mm)
9,75	216,9	151,7	19,7
10	74,1	29,9	8,8

Ensimmäisestä ja toisesta sarakkeesta käy ilmi ikkunan sijainti pituus- ja korkeussuunnassa. Koska kyseessä on sivulaipio, (*side bulkhead*) tiedetään, että leveys suunnassa ikkunan sijainti on kyseisessä aluksessa 42 metriä, joka otetaan huomioon laskiessa ikkunaan kohdistuvaa painetta. Viimeiseen sarakkeeseen tulee ikkunan painelasin teoreettinen paksuus millimetreinä.

## 7 KOKOAVAA TARKASTELUA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda työkalu, laivan ikkunoiden painelasien paksuuksien laskennan avuksi, Microsoft Excel -ohjelmaa käyttäen. Lasien paksuuksien laskenta on työlästä käsin tehtäväksi, samat kaavat toistuvat usein ja ikkunoita on laivassa paljon, joten laskenta on helpompaa ja nopeampaa suorittaa käyttämällä siihen luotua työkalua.

Jotta laivojen ikkunat hyväksyttäisiin ja laiva läpäisisi katsastuksen, tulee ikkunoiden paksuudet olla laskettu viranomaisen hyväksymällä tavalla. Tästä johtuen työkalun sisältämät laskentakaavat tehtiin noudattamaan DNVGL-luokituslaitoksen tapaa laskea lasinpaksuuksia.

Valmiin Excel-työkalun avulla laskettiin ikkunoiden paksuuksia eri ikkunatyypeillä, eri kohdista laivaa. Laskujen tuloksia vertailtiin toisen luokituslaitoksen kaavoilla saatuihin tuloksiin. Tässä opinnäytetyössä laskemalla saadut paksuudet vaikuttivat järkeviltä, joten työkalu voitiin todeta toimivaksi laskennan osalta. Työkalulle jäi vielä kehittämismahdollisuuksia. Esimerkiksi käyttöohjeet ovat todennäköisesti tulossa vielä myöhemmin, jotta myös muut henkilöt voisivat käyttää työkalua. Lisäksi työkalua voidaan myöhemmin kehittää vielä automatisoidummaksi.

Työn teoriaosuus koostuu kolmesta osasta, joista ensimmäisessä tutkittiin ensin sisustus suunnittelun toimintatapoja ja eri osa-alueita ja jossa syvennyttiin enemmän ikkunasuunnittelun kulkuun. Tämän jälkeen selvitettiin merenkululle ja laivan ikkunoille asetettuja sääntöjä ja standardeja. Viimeisessä teorian osuudessa käsiteltiin lasin käyttäytymistä ja ominaisuuksia, sekä erilaisia lasityyppejä. Teoriaosuuteen koottiin ikkunasuunnittelun kannalta paljon hyödyllistä tietoa, joten sitä voidaan jatkossa käyttää mahdollisesti myös perehdytysmateriaalina. Lopullinen ikkunoiden valinta päätettiin rajata opinnäytetyön ulkopuolelle, sillä se olisi ollut liian pitkä prosessi laskennan lisäksi.

## LÄHTEET

Bohamet www-sivut 2018. Viitattu 28.3.2018.

<http://www.bohamet.com>

DNV GL rules and standards. 2018

<https://www.dnvgl.com>

Ikkunawiki 2018. Viitattu 5.4.2018

<http://www.ikkunawiki.fi>

Lasifakta 2018. Viitattu 29.3.2018.

[https://www.pilkington.com/~/\\_media/Pilkington/Site%20Content/Finland/Architects/0893\\_Lasifakta2017\\_FI\\_1002.pdf](https://www.pilkington.com/~/_media/Pilkington/Site%20Content/Finland/Architects/0893_Lasifakta2017_FI_1002.pdf)

Liikenteen turvallisuusvirasto www-sivut 2018. Viitattu 12.3.2018

<https://www.trafi.fi/merenkulku/saadokset>

Lumon Turvalasit www-sivut 2018. Viitattu 4.4.2018

<http://www.turvalasit.fi/turvalasit/laminoitu-karkaistu-turvalasi/>

Meyer Turku www-sivut 2018. Viitattu 19.3.2018

<http://www.meyerturku.fi>

Shenzhen Jimy Glass Oy www-sivut 2018. Viitattu 7.5.2018

<https://www.glassmanufacturerchina.com>

Sisäinen tietokanta Meyer Turku 2018

SOLAS Consolidated Edition. 2004 IMO

Suomen tasolasiyhdistys ry 2018. Viitattu 6.4.2018

<https://www.tasolasiyhdistys.fi>