

SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU

Pekka Fagerlund

NOSTOKORVAN LUJUUSLASKENTA

TEKNIikka PORI  
KONE- JA TUOTANTOTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA  
KONEENSUUNNITTELUN SUUNTAUTUMISVAIHTOEHTO

2007

## NOSTOKORVAN LUJUUSLASKENTA

Pekka Fagerlund

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Tekniikan Porin yksikkö, Tekniikantie 2, 28600 Pori

Konetekniikan koulutusohjelma

Koneensuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Toimeksiantaja: PI-Rauma Oy

Huhtikuu 2007

Opinnäytetyön ohjaaja: Markku Salonen, Tek.lis

Avainsanat kirjastoa varten: standardi, nostokorva, offshore, lujuuslaskenta

UDK: 62-1, 629.5

Sivumäärä: 35

### TIIVISTELMÄ

Raskaassa metalliteollisuudessa, kuten offshore ja laivanrakennus, suuret kokonaisuudet koostuvat pienemmistä osalohkoista. Näiden kymmenien tonnien painoisten kappaleiden siirto ja nosto on oma erikoisalueensa tällä tekniikan alalla.

Tämän opinnäytetyön aiheena oli Spar-Truss tyyppisen öljynporauslautan lohkon väliaikaisesti kiinnitettävien nostokorvien lujuusopillinen laskenta. Tarkoituksena oli saada aikaan kirjallinen ohje, eräänlainen standardi nostokorvakkeiden valinnalle eri tilanteisiin. Ohjeen perusteella luotiin esimerkkilaskelma valitulle korvatyypille.

Muuttuneet materiaaliominaisuudet, edellinen vanhentunut ohje ja asiakkaiden vaatimukset valintaperusteiden näkemisestä ja työn turvallisesta suorittamisesta olivat lähtökohta opinnäytetyön aloittamiselle. Lopputulokset tukivat käytännön kokemuksia ja arvioita nostokorvakkeiden lisääntyneestä lujuudesta.

## STRENGTH CALCULATION OF LIFTING LUG

Pekka Fagerlund

Satakunta University of Applied Sciences

Mechanical and Production Engineering

Mechanical Design Engineering

School of Technology Pori

April 2007

Supervisor: Markku Salonen

Keywords: standard, lifting lug, hoist bracket, off-shore, strength calculation

UDC: 62-1, 629.5

Pages: 35

### ABSTRACT

In heavy metal industry, like off-shore and shipbuilding, large final products are made up of smaller sections. Moving and lifting of these pieces that weigh dozens of tons is its own special area in this technology.

The subject of this Bachelor's thesis was strength calculation of temporary lifting lugs, which are used in Spar-Truss type oil platform. The aim was to create a written guide, a kind of standard for choosing lifting lugs in various situations. On the basis of this guide an example calculation was made for one chosen lifting lug.

Altered material features, former out-of-date guide, and customers' demands of seeing selection criteria as well as safe performance of work were reasons for beginning this Bachelor's thesis. The results are consistent with practical experiences and estimates of lifting lugs' increased strength.

# SISÄLLYSLUETTELO

## TIIVISTELMÄ ABSTRACT

1 JOHDANTO	5
2 TRUSS SPAR -LAUTTA	6
3 NOSTOJEN TOTEUTUS	8
4 TURVALLISUUS	9
5 YLEISTÄ KORVAKKEISTA	10
5.1 Käytössä olevat nostokorvat	10
5.2 Korvatyypit	10
5.3 Valmistaminen	11
5.4 Taustarakenteen vahvistus	11
6 SUUNNITTELUOHJEET	13
7 LASKENTA	16
7.1 Varmuusluvut	16
7.2 Koekuormitus	16
7.3 Korvakkeen geometria	17
7.4 Korvakkeen jännitystarkastelu	18
8 ESIMERKKILASKELMAT	21
9 LASKENTATULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	26
TERMINOLOGIA	28
LÄHDELUETTELO	29
LIITELUETTELO	30

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on teräsrakenteeseen hitsaamalla kiinnitetyt nostokorvat, joita käytetään mm. raskaassa telakkarakennuksessa. Tavallisesti nostokorvat hitsataan kiinni lohkokon sellaiseen paikkaan, josta nosto on turvallista suorittaa. Käytön jälkeen ne polttoleikataan auki juuresta ja varastoidaan uusintakäyttöä varten. Samantapaisia korvia käytetään myös mm. laivojen tai öljynporauslauttojen kiinnitykseen, hinaukseen ja ankkurointiin.

Korvakkeiden rakenteisiin ja hitsauksiin vaikuttavat voimat ovat suuria, tässä tapauksessa korkeimmat kuormat ovat noin 100 tonnia. Käytännössä lohkopainojen koko rajoittuu nosturien kapasiteettiin. Mäntyluodossa hallien ulkopuolella nostot suoritetaan kahdella sadan tonnin siltanosturilla.

Tuotteen tilannut asiakas edellyttää korkeaa työturvallisuuden tasoa valmistuksessa. Tarvittaessa asiakkaalle on esitettävä nostokorvista laadittu lujuuslaskenta, jolla voidaan osoittaa niiden kestävyys ja luotettavuus. Myös PI-Raumalle myönnettyt laatu- ja turvallisuussertifikaatit edellyttävät tätä. Nykyinen standardi on vanhentunut mm. materiaaliominaisuuksien parantumisen myötä, lisäksi tällä hetkellä yleispätevää ohjetta käytössä olevien korvien laskennalle ei ole.

Työn tavoitteena on laatia standardi ja laskentaohje vastaamaan nykypäivän materiaaliominaisuuksia. Lisäksi tarkastetaan, että nykyisellään mitoitettut korvakkeet ovat riittävän lujia. Opinnäytetyössä esitetään eri luokituslaitosten käyttämiä menetelmiä lujuuden laskemiselle. Parhaiten soveltuvien kaavojen perusteella laaditaan lujuustarkastelu 75 tonnin nostokorvalle. Saatujen tuloksien luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta arvioidaan suunnittelijoiden ja laskentaosaston työntekijöiden kanssa. Käsineläskennan tukena käytetään FEM-laskentaohjelmistoa ja laskelmien laadinnassa hyödynnetään MathCadiä. Tuloksia voidaan käyttää apuna tulevaisuudessa nostokorvien suunnittelussa.

Opinnäytetyön ensimmäisessä vaiheessa selvitetään Spar-öljyntuotantolautan rakenne, turvallisten nostojen edellytykset sekä nostokorvatyyppit ja niiden käyttökohteet. Tämän jälkeen verrataan eri lähteiden suunnitteluohjeita ja laskentakaavoja, joiden avulla esimerkklaskenta laaditaan. Lopuksi arvioidaan eri menetelmillä saatujen tulosten

luotettavuutta sekä käyttökelpoisuutta. Tietojen perusteella esitetään johtopäätökset Mäntyluodossa käytössä olevien nostokorvien uusille valitsemisperusteille.

PI-Rauma on noin 220 hengen suunnittelu-yhtiö, jonka päätoimialat ovat meritekniikan suunnittelu telakka- ja offshore-teollisuudelle sekä laitossuunnittelu prosessiteollisuuden investointiprojekteihin. Yhtiö on perustettu vuonna 1989, ja sen toimipisteet sijaitsevat Porissa Mäntyluodossa ja Pripolissa sekä näiden lisäksi Raumalla ja Turussa. Suurimmat asiakkaat offshore-alalla ovat Technip ja Aker Yards. Porin Mäntyluodon telakka (Technip Offshore Finland) valmistaa kelluvia Spar-tyypin öljynporauslauttoja.

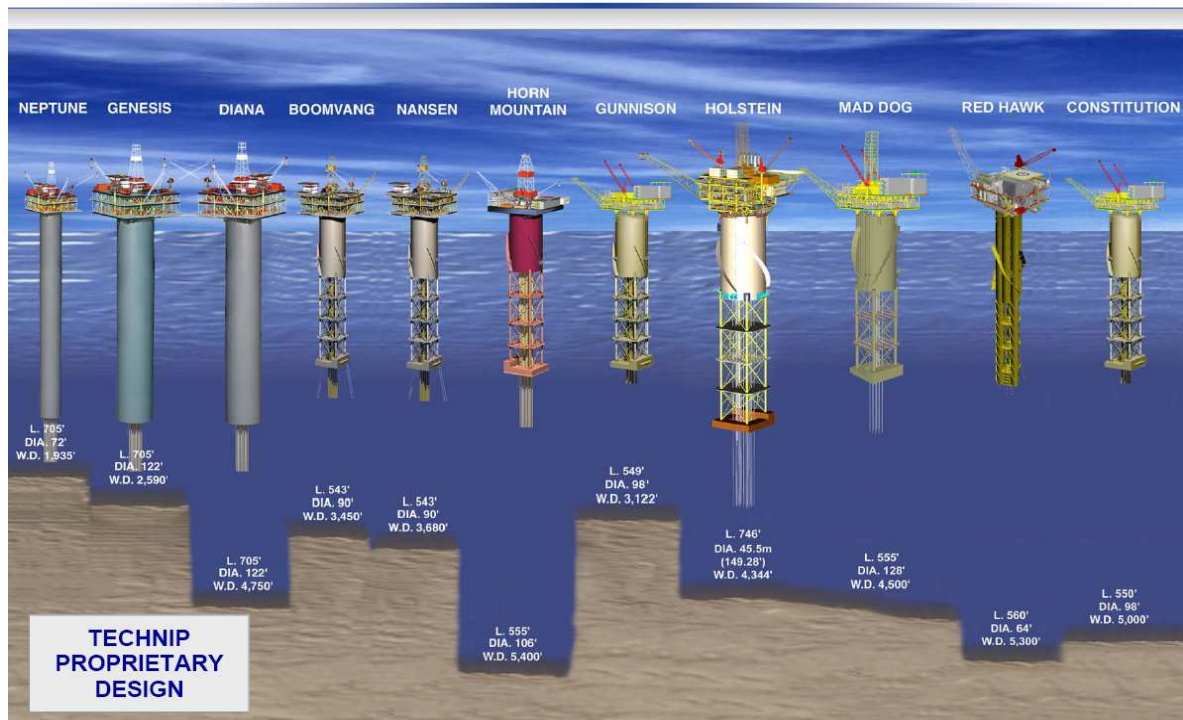
Opinnäytetyön teon aikana Technip osti PI-Rauman lauttojen suunnitteluun liittyvät toiminnot itselleen, ja työntekijät siirtyivät yhtiön palvelukseen vanhoina työntekijöinä. Jäljelle jäänyt osa PI-Raumasta jäi 100 %:sesti ruotsalaisen Sweco PIC –konsernin omistukseen. Vuoden 2006 marraskuussa syntyneen uuden yhtiön nimeksi tuli Sweco Marine.

## 2 TRUSS-SPAR LAUTTA

Spar-lautat ovat kelluvia tuotantolauttoja, joilla otetaan meren pohjasta talteen öljyä ja kaasua jatkojalostusta varten. Tyypillinen toimintasyvyys on noin 600-1800 metriä. Raaka-aine kuljetetaan jatkojalostukseen rannikolle joko säiliöalusten tai putkien avulla. Useita Mäntyluodossa valmistettuja lauttoja on sijoitettu mm. Meksikonlahdelle, ja niiden luotettavuus ja toimivuus on tullut testattua trooppisille myrskyille alttiina olevilla alueilla. Truss Spar –lautan etuja ovat muita kelluvia lauttoja pienempi paino, joka materiaalikustannusten osalta johtaa halvempaan hintaan. Lisäksi Spar-tyypin lautoilla on hyvä vakaus meren pinnan liikkeisiin nähden.

Muut lauttatyypit ovat Classic Spar, jonka rakenne on yksi täysimittainen tuotantotasoa kelluttava sylinteri, sekä Cell Spar, josta esimerkkinä käy Red Hawkin seitsemästä 20-jalkaisesta ontosta putkesta valmistettu kelluva lautta. Kuva 1 havainnollistaa eri lauttatyypien rakennetta.

## CLASSIC SPAR / TRUSS SPAR / CELL SPAR



Kuva 1. Technip Offshore Finlandin valmistamat lautat.

Sparin pääosat ovat niin kutsutut Hard Tank, Truss- ristikkorakenne ja Soft Tank. Hard Tankia kiertää lisäksi aallon vaikutusta heikentävä Strake. Hard Tank on lieriömäinen suurimmaksi osaksi veden alla oleva lieriömäinen putki, joka hydrostaattisen paineen avulla kannattelee öljyntuotantotasoa eli Topsidea. Truss-ristikkorakenteeseen kiinnitetty vaakasuora levykenttä eli Heave Plate vaimentaa tuotantolautan korkeussuuntaista liikettä pinta-aallokon mukana. Alin osa, jota kutsutaan Soft Tankiksi, pitää öljynporauslauttaa stabiilina, ja se täytetään pystytysvaiheessa suuritiheyksisellä teräsmalmilla. Kokonaiskuva Truss-Spar lauttatyypistä ja sen rakenneosista on liitteessä 1.

Technip Offshore Finland Oy:llä valmistetaan edellä mainituista rakenteista muut, paitsi Topside eli öljynporauslautan tuotantotaso, joka asennetaan paikoilleen lopullisella sijoituspaikalla putken pystyyn asettamisen jälkeen.

### 3 NOSTOJEN TOTEUTUS

Nostojen suunnittelusta vastaa Load-out and dry transportation (nykyisin Marine) –osasto, jonka työtehtäviin sen nimen mukaisesti kuuluu telakan maakuljetusten suunnittelu. Sparin lastaus rakennuslustralta kuljetusalukselle on yksi tehtävistä, joissa yhteistyö laskentaosaston kanssa on jokapäiväistä. Lohkojen nostoista vastaa telakka. Käytännössä kokoonpanoradalla yhteen kasattu valmis tuotantolautta tunkataan raskaita kuljetuksia varten rakennetulle alukselle, jolla se kuljetetaan tilaajan määräämään paikkaan.

Raskaassa metalliteollisuudessa valmiit rakenteet kootaan pienistä yksittäisistä osista ja osalohkoista. Tonniin painoiset lohkon osat vaativat monenlaisia siirtoja tai kääntöjä hallissa ja telakalla. Nostot suoritetaan hitsaamalla rakenteeseen kiinni sen painon mukainen nostokorvake tai useampia.

Nostokorvat hitsataan riittävän lujaan paikkaan, mieluummin tuen tai jäykkääjän kohdalle. Ne kiinnitetään siten, ettei nostossa synny tarpeettomia sivuttaisvoimia korviin tai siihen kiinnitettävään sakkeliin. Jos nostokorva kuormittuu sivuttain käännessä, on korva vahvistettava lisätuella eli polviolla. Huomattava on, että sakkelit on mitoitettu kestäämään vain suoraa nostoa. Telakoilla käytettävistä nostokorvista on laadittava piirustukset ja lujuuslaskelmat /4, s. 15/.



Kuva 3. Sivulevylliset suoravetnostokorvat 75 tonnia.



## 4 TURVALLISUUS

Nostotapahtuma sisältää useita riskejä. Järjestelmä pettää aina heikoimmasta kohdasta, joten nosturin, vaijerien, köysien, sakkeleiden ja kiinnityslaitteiden kunto ja kestävyys on varmistettava säännöllisesti. Riippuvan kuorman alapuolelle ei ole turvallista mennä. Turvallisuus on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa, kappaleen painopiste ja nostokohdat on määritettävä tarkasti. Nostojärjestelyistä on olemassa lakiin merkitty turvallisuusmääräys, N:o 856/1998, josta nostokorviin soveltuvat kriteerit ovat:

### 34 § Lujuus ja vakavuus

Jos kuormien nostamiseen käytettävä työväline asennetaan pysyvästi paikalleen, sen lujuus ja vakavuus on varmistettava ottaen huomioon etenkin taakkojen nostamisen aiheuttama kuormitus ja rakenteiden pystytys ja kiinnityskohtiin kohdistuvat rasitukset.

### 35 § Nostolaitteen ja sen lisälaitteiden merkinnät

Kuorman nostamiseen käytettävässä koneessa on oltava selvästi näkyvissä sen nimelliskuorma ja tarvittaessa kuormakilpi, josta käy ilmi koneen eri toimintavaiheiden nimelliskuormitus. Nostamisessa käytettävät lisälaitteet on merkittävä siten, että turvallisen käytön kannalta olennaiset ominaisuudet voidaan tunnistaa. Nostamisessa käytettävän nostoapuvälineen ja muun irtaimen apuvälineen tulee olla ominaisuuksiltaan sellainen, että nosto voidaan suorittaa turvallisesti.

### 58 § Nostoapuvälineet

Nostoapuvälineet on valittava käsiteltävän taakan tarttumiskohtien, kiinnityslaitteiden ja sääolosuhteiden mukaisesti sekä ottaen huomioon taakan kiinnitystapa. Nostoapuvälineet on säilytettävä siten, etteivät ne vahingoitu tai rikkoudu.

Myös telakalla on omia määräyksiä nostokorvakkeiden asennustarkastuksesta. Niistä on laadittu oma ohjeensa työnjohtajia ja suunnittelijoita varten.

Kaikkien nostolohkojen nostokorvakkeiden asennushitsisaumojen laatu on tarkastettava ja sen on oltava hyväksyttävä ennen kuin nostoja saa suorittaa. Jotta tarkastukset voidaan hoitaa luotettavasti, oikea-aikaisesti ja ilman viime hetken korjauksia, menetellään seuraavien sääntöjen mukaan.

- asennussuunnittelija merkitsee piirustukseen selvästi nostokorvakkeiden tarkastus- ja laatuvaatimukset
- työsuunnittelu tekee työvaihekortteihin merkinnät tarkastuksesta
- korvakkeet asentanut osasto pyytää tarkastusosastolta vaadittavat tarkastukset välittömästi työn valmistuttua
- tarkastusosasto esittää mahdolliset korjausvaatimukset heti tarkastuksen jälkeen asennusosastolle ja toimittaa ilmoituksen hyväksytyistä tarkastuksista siltanosturin nostotyönjohtajalle
- nostotyönjohtaja varmistaa ennen nostoa, että jokaisen siltanosturilla nostettavan lohkon nostokorvakkeilla on tarkastusosaston antama ilmoitus hyväksytyistä tarkastuksista. /9/.

## 5 YLEISTÄ KORVAKKEISTA

Nostokorvakkeiden on kestettävä monenlaisia rasituksia, mm. sakkelitapin ja silmäreiän välinen pintapaine, jännitys sekä poski- että uumalevyn hitseissä ja suora leikkaus sakkelitapin kohdalla. Suurin kuormaa kantava osa korvakkeessa on uumalevy, joka on vahvistettu poskilevyin ja tarvittaessa sivujäykkäjäin. Poskilevyt kiinnitetään uumalevyyn 10 millimetrin pienahitsiä käyttäen. Nostokorvien alareunaan tehdään 50°:en viiste ja korvat kiinnitetään täystunkeumahitsauksella. Alle 10 tonnin korvien kiinnitys tehdään pienahitsillä.

### 5.1 Käytössä olevat nostokorvat

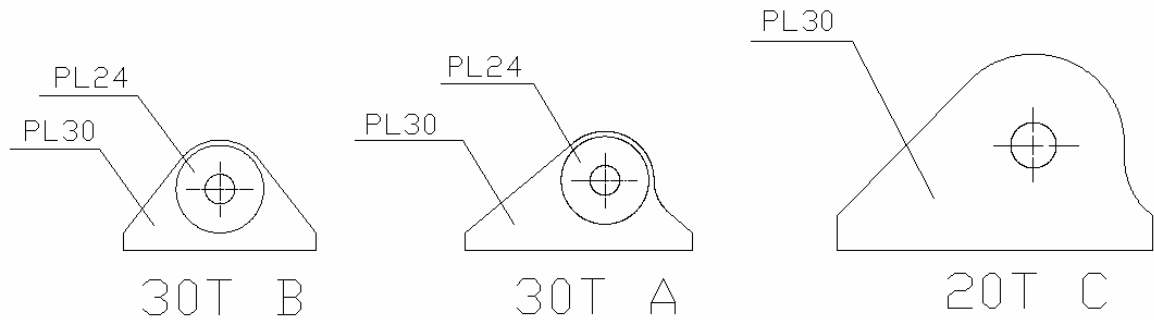
Tällä hetkellä Mäntyluodossa on käytössä kymmenen erilaista korvaketta nostoille, sekä näiden mahdolliset variaatiot massoille 2-100 tonnia. Mitat ja tyypit käyvät ilmi liitteestä 5.

### 5.2 Nostokorvatyypit

Nykyisestä standardista voidaan erottaa kolme erityyppistä nostokorvaa:

- suoravetokorvat massoille 30, 50, 75 ja 100 tonnia (B-malli)

- vinovetokorvat massoille 30 ja 50 tonnia (A-malli)
- molempiin soveltuva tyyppi massoille 2, 5, 10 ja 20 tonnia (C-malli)



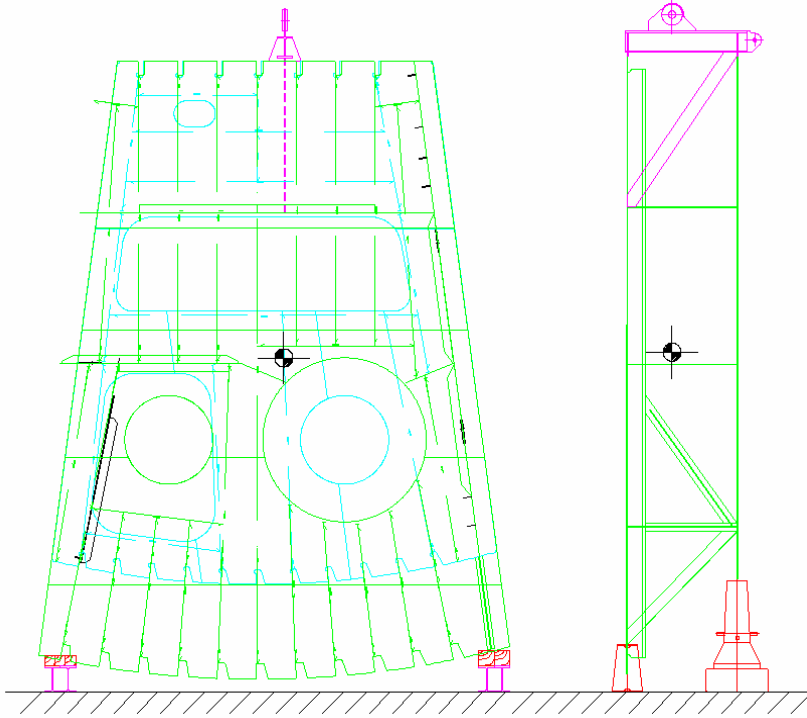
Kuva 4. Nostokorvat vedon suunnan mukaan.

### 5.3 Valmistaminen

AutoCadilla mallinnetuista kuvista tehdään Tribon-nimisellä ohjelmalla polttokartat polttoleikkausta varten. Korvakkeita poltetaan piirustusten mukaan niin, että varastossa on aina sovittu määrä kuhunkin painoluokkaan kuuluvia korvakkeita. Nostokorvien silmäreiät koneistetaan sileäksi. Tuotannon helpottamiseksi eri lujuusluokkaan kuuluvilla nostokorvilla silmäreikä voi olla samankokoinen. Käytön jälkeen korvakkeet leikataan uumalevyn juuresta, jolloin niihin seevataan viisteet uusintakäyttöä varten. Kun kiinnitysvara on käynyt liian pieneksi tai korvakkeessa havaitaan vaurioita, se hylätään. Suuria korvia varten telakalla on omavalmisteiset 100:n ja 165 tonnin raskarakenteiset sakkelit. Muut sakkelit valitaan ulkopuoliselta toimittajalta (liitteet 3 ja 4).

### 5.4 Taustarakenteen vahvistus

Suurilla nostovoimilla ongelmaksi saattaa tulla taustarakenteen kestävyys. Kiinnityskohdan lujuus on varmistettava tarkkaan varsinkin painavien kappaleiden nostoissa, jotta levyrakenne ei repeydy irti tai anna muuten periksi. Kiinnityskohtaan ei saa syntyä myötämisen aiheuttamia muodonmuutoksia. Jos korvia ei voida sijoittaa riittävän lujaan paikkaan, on tausta vahvistettava. Tavallisesti tämä tehdään pienahitsaamalla korvakkeen taustapuolelle levy, joka ottaa vastaan noston suuntaisia voimia. Vahvikkeen koko valitaan aina tilannekohtaisesti nostettavan kappaleen rakenteen mukaan.



Kuva 5. Esimerkki taustavahvistetun osalohkon nostosta.

Yleisimmät nostokorvien kiinnitystavat ovat T-liitos palkin päälle, päittäisliitos levyn jatkoksi ja kulmaliitos, joka on vahvistettu.



Kuva 6. Korvakkeen T-liitos.



Kuva 7. Korvakkeen Päittäisliitos.



Kuva 8. Tuettu kulmaliitos.

## 6.0 SUUNNITTELUOHJEET

Työn lähtökohtana käytettiin kansainvälisten luokituslaitosten tai merenkulkualan yhtiöiden julkaisuja, joiden antamia ohjeita, suosituksia ja standardeja tutkittiin haettaessa sopivia määritelmiä ja vaatimuksia nostokorvalaskennalle.

Levymateriaali on vaihtunut vahvempaan (nykyisin S355), mutta korvakkeiden mitat ovat pysyneet samoina, joten sallittu jännitys on 1,4 kertaa korkeampi. Varmuus huomioiden yleisesti käytetty kerroin on kuitenkin 1,3. Nostoapuvälineistä on olemassa SFS-käsikirja vuodelta 1987 (SFS 4646), mutta se käsittelee vain köysiä, kettinkejä, rakseja ja näiden liitoksia. Lisäksi turvallisuussäädökset ovat tässä teoksessa vanhentuneet. Seuraavassa käsitellään ja verrataan kolmen eri laitoksen suunnitteluohjeita.

London Offshore Consultants (LOC) on eräs johtavista offshore ja merenkulkualan konsultointia tarjoava sekä takuuehtoja arvioiva yritys. Alan suunnitteluinsinöörien toivomuksesta se on julkaissut ”Guidelines for Marine Operations” –teoksen, joka antaa ohjeita merenkulun toiminnalle, mm. nostokorvien suunnittelulle. Tärkeimmät ja samalla Technipillä noudatettavat kohdat tästä on mainittu seuraavassa. /7, s. 52/.

1. Nostokorvat kohdistetaan teoreettisen keskilinjan mukaan, mutta nostoissa on otettava huomioon poikkeama  $\pm 5^\circ$ .

2. Kun on mahdollista, nostokorvan uumalevyn tulee olla jatkuvaa rakennetta nostettavan rakenteen kanssa.
3. Nostokorvilla ei tule olla enempää kuin yksi poskilevy kummallakin puolella uumalevyä, eivätkä ne saa olla paksuudeltaan uumalevyä suurempia.
4. Sakkelin reiät pitäisi olla koneistettuja poskilevyjen hitsauksen jälkeen riittävän pinnanlaadun aikaansaamiseksi.
5. Terävät reunat, jotka saattavat olla vahingollisia nostoapuvälineille käsittelyn ja nostojen aikana, on pyöristettävä.

Heerema Marine Contractor (HMC) on yksi osa alunperin hollantilaista perheyhtiötä, joka on kasvanut kansainväliseksi neljään erikoisalaan jakautuneeksi yhtiöksi. HMC kuljettaa meriteitse kaiken tyyppisiä offshore-laitteistoja. Tyypillisiä toimeksiantoja ovat mm. tuotantotasojen nosto ja asennus valmiiden öljynporauslauttojen päälle. Sisaryritys Dockwise hoitaa Spar-lauttojen kuljetuksen porauspaikalle. HMC määrittelee omat kaavansa nostokorvakkeiden geometrialle ja lujuuslaskennalle, joita on tarkasteltu luvuissa 7.1 ja 7.2. Se antaa myös ohjeita, jotka kannattaa ottaa huomioon nostopisteen suunnittelussa. /1, s. 29/.

1. Taivutusmomentin välttämiseksi nostettavan kappaleen rakenteessa nostolinjan on kuljettavan painopisteen kautta.
2. Helppo pääsy ja riittävä työskentelyalue nostopisteen läheisyyteen on varmistettava koukkujen asentamisen ja poistamisen takia. Tilantarve on huomioitava erityisesti sakkelitapin ympärillä.
3. Nostopisteen kautta kulkevat voimat on syytä suunnitella kulkemaan jouhevasti, turvallisesti ja esteettömästi.
4. Pääasialliset liitokset tulee olla hyväksytyjen menetelmien mukaisia ja hitsien täystunkeumalla tehtyjä. Paksuussuuntaisia jännityksiä on vältettävä.

Det Norske Veritas (DNV) on monikansallinen yritys ja asiantuntijaorganisaatio, jonka myöntämät sertifikaatit ovat maailmanlaajuisesti tunnettuja ja arvostettuja. DNV:n pääkonttori sijaitsee Osllossa. Sen harjoittamat vahvimmat alat teollisuudessa ovat merenkulku, öljy ja kaasu. DNV:n julkaisussa ”Rules For Planning And Execution of Marine Operations” on ohjeita merikuljetusten suunnittelua ja toteutusta varten. Menetelmässä varmuus saadaan kertomalla mm. materiaalista, nostettavasta kuormasta, nostomenetelmästä ja olosuhteista johtuvat osavarmuuskertoimet keskenään. DNV:n osavarmuuskertoimet on lueteltu seuraavaksi.

Materiaalikerroin (material factor) huomioi materiaalin laadun vaihtelut ilmoitetusta. Teräksen elastisen alueen suunnittelussa käytetty arvo  $\gamma_m = 1,15$ .

Kuormakerroin (load factor) huomioi nostettavan kuorman ja voimien epätasasaista jakaantumista. Rakenteellisten komponenttien suunnittelussa käytetty arvo  $\gamma_f = 1,30$ .

Seurauskerroin (consequence factor) huomioi rakenteen pettämisestä tai murtumisesta syntyvät vauriot (mm. henkilövahingot ja laitteiston rikkoutumiset). Jos tapaus ei ole kriittinen, voidaan käyttää matalampaa kerrointa. Tyypillinen kerroin  $\gamma_c = 1,30$ .

Kiero-/vinoveto kerroin (skew load factor) ilmoittaa laitteiston epätarkkuuksista ja valmistustoleransseista johtuvan ylimääräisen kuorman, joka johtaa voimien epätasaiseen jakaantumiseen nostolaitteiden välillä. Jos nostot suoritetaan useamman kuin yhden köyden/vaijerin järjestelyillä, käytetään kerrointa  $SKL_{sl} = 1,25$ .

Painon epävarmuus (weight inaccuracy) on massan ja painopisteen sijainnin virheellisyyksistä tai epätarkkuuksista johtuva kerroin,  $\gamma_{wi} = 1,10$ .

Dynaamisen kuorman kerroin (dynamic amplification factor) sisältää noston dynaamiset vaikutukset, jotka johtuvat nostonopeuden muutoksista, nosturin ja laivan liikkeistä sekä ponttonien ja muiden kappaleiden liikkeistä kuten nykäyksistä. Dynaamisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat ympäristöolosuhteet, nostojärjestely, nostoaluksen tyyppi, järjestelmän jäykkyys, konttilaivan tyyppi, nostettavan kappaleen paino sekä nostomenetelmä.

Taulukko 1. Dynaaminen vahvistukerroin (Dynamic amplification factor, DAF):

<b>Staattinen kuorma</b>	<b>rannalla</b>	<b>rannikolla</b>	<b>merellä</b>
50-100t	1,10	1,15	1,30
100-1000t	1,05	1,10	1,20
1000-2500t	1,05	1,05	1,15
>2500t	1,05	1,05	1,10

Technipillä hallissa suoritettavat nostot eivät vaadi dynaamisen vaikutuksen huomioimista, jolloin korkein mahdollinen kerroin  $DAF = 1,10$ .

Kokonaisvarmuuskertoimeksi myötöön nähden kaikki edellä mainitut tekijät yhdistäen saadaan  $\gamma_{design} = 1,15 \cdot 1,3 \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \approx 2,9395 \approx 2,94$ . Varmuus murtolujuuteen saadaan kertomalla myötön varmuusluku 1,4:llä, jolloin varmuudeksi murtoon nähden tulee 4,1. Täten ollaan päädytty samaan arvoon mitä edellytetään telakoiden nostoapuvälineisiin liittyvässä säädöksessä. Asiaa selventää taulukko 2.

## 7.0 LASKENTA

### 7.1. Varmuusluvut

Nostoapuvälineistä on laadittava lujuuslaskelmat sekä täydelliset valmistuspiirustukset ja ne on arkistoitava. Nostoapuvälineiden varmuusluvut murtolujuuden suhteen eivät saa alittaa alla mainittuja vähimmäisarvoja /4, s. 3/:

Taulukko 2. Varmuusluvut murtolujuuden suhteen.

<b>Metalliset rakenneosat</b>	
Kuorma enintään 10 tonnia	5
Kuorma suurempi kuin 10 tonnia	4
Kettingit ja niihin kuuluvat kiinteät laitteet	4,5
<b>Teräsköydet nostovälineenä tai sen osana määrättynä köyden todellisesta murtolujuudesta</b>	
Kuorma enintään 10 tonnia	5
Kuorma suurempi kuin 10 tonnia	4
Luonnokuituköydet	7
Tekokuituköydet ja -vyöt (raaka-aine esim. polyamidi, polyesteri, polyeteeni tai polypropyleeni)	6

### 7.2. Koekuormitus

Uusi nostoapuväline on ennen käyttöönottoa koekuormitettava, merkittävä ja rekisteröitävä. Koekuormitus suoritetaan joko painoilla tai koevetopenkeissä. Voiman mittausta varten tulee vetopenkissä olla luotettava voimamittari (dynamometri). Koekuormituksen kestoaika on viisi minuuttia ja sen aikana tarkkaillaan muodonmuutoksia. Koekuormituksen jälkeen on nostoapuväline huolellisesti tarkastettava mm. pysyvien muodonmuutosten toteamiseksi. Koekuormien tulee olla taulukko 3:n mukaisia. /4, s. 18/



Taulukko 3. Määrätty koekuorma.

SWL (tonnia)	Koekuorma (tonnia)
alle 25	2*SWL
25...150	1,2*SWL+20
yli 150	1,33*SWL

SWL = Suurin sallittu kuorma (Safe Working Load)

Technipillä käytettävien apuvälineiden valmistajat (Crosby, Eltex), ilmoittavat omat menettelynsä koekuormituksen suorittamisesta, mikä vastaa yllä mainittua. Käytetyt köysiliitokset ja nostoapuvälineet löytyvät liitteestä 2, sakkelitapit liitteestä 3 ja 4.

### 7.3. Korvakkeen geometria

Heereman määrittelemät korvan päämitat on esitetty suhteessa sakkelitapin halkaisijalle  $d_p$ .

1) Korvakkeen reiän halkaisija  $d_h \leq 1,04 \cdot d_p$ , minimi  $d_p + 2mm$ , jos sakkelitapin  $D \leq 50mm$  ja min.  $d_p + 4mm$ , jos tapin  $D > 50mm$ .

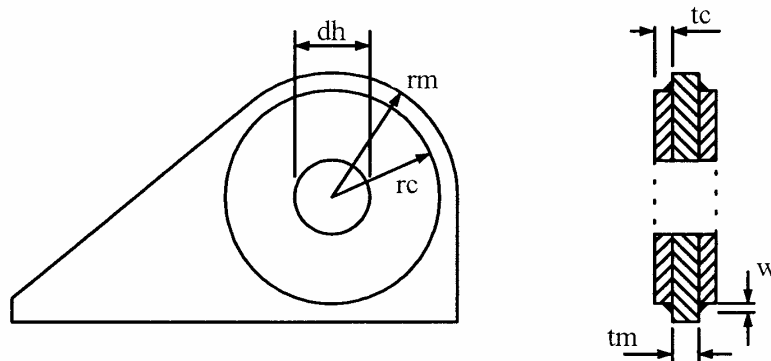
2) Päälevyn säde  $r_m = 1,75 \cdot d_p$

3) Poskilevyn säde  $r_c = 1,50 \cdot d_p$

4) Päälevyn paksuus  $t_m = 0,25 - 0,40 \cdot d_p$

5) Poskilevyn paksuus  $t_c = 0,15 - 0,30 \cdot d_p$  ja  $\leq t_m$

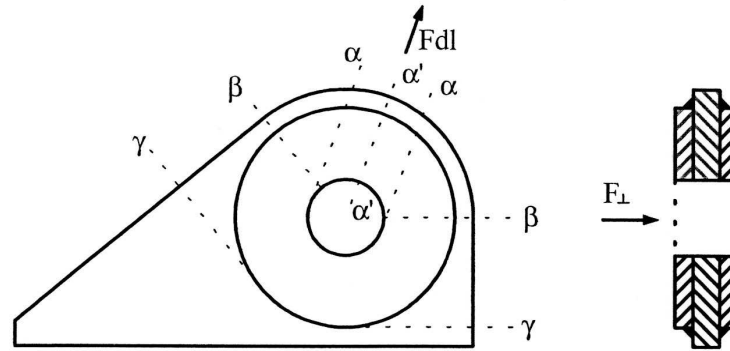
6) Hitsin koko  $w = 0,10 - 0,15 \cdot d_p$



Kuva 9. Nostokorvan mitoitussuureet.

#### 7.4. Korvakkeen jännitystarkastelu

Tärkeimmät tarkasteltavat kohteet ovat sakkelitapin ja korvakkeen reiän pintapaine, leikkautuminen leikkauksessa  $\alpha$ - $\alpha$  sekä rakenteen repeäminen leikkauksissa  $\beta$ - $\beta$  ja  $\gamma$ - $\gamma$ . Tämän lisäksi tarkastellaan leikkausjännitystä hitsauskohdissa uuma- ja poskilevyn sekä nostettavan rakenteen välillä.



Kuva 10. Nostokorvan suuret jännitystarkastelussa.

Reiän reunapuristusjännitys eli pintapaine Heereman mukaan:

$$\sigma_{br} = \frac{F_{dl}}{d_p(t_m + 2t_c)} \leq 0,90\sigma_y$$

jossa:  $\sigma_{br}$  = pintapaine kontaktialueella (kun  $d_h \leq 1,04 \cdot d_p$ )

$\sigma_y$  = teräksen myötölujuus (y=yield)

Pienille tapinrei'ille, kun suhde  $d_h/d_p$  ylittää arvon 1,04, on tapinreiän pintapaineen tarkastelu tehtävä Hertz'n kaavan mukaan.

Maksimi vaikuttava pintapaine Hertz'n kaavan mukaan (pinnat sylinterimuotoisia):

$$\sigma_p = 0,591 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot E}{K_D}} \leq \sigma_{p \max}$$

jossa:  $p$  = kuorma pituusyksikköä kohti ( $F_{dl}/(t_m + 2 \cdot t_c)$ )

$E$  = teräksen kimmokerroin ( $2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ )

$$K_D = \frac{d_h \cdot d_p}{d_h - d_p}$$

jossa:  $d_h$  = nostokorvakkeen sakkelitapin reiän halkaisija

$d_p$  = sakkelitapin halkaisija

$$\text{DNV:n käyttämä kaava pintapaineelle: } \sigma_{HE} = 0,59 \cdot \sqrt{\frac{F \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}{l \left( \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)}} \quad (\text{kaava 1})$$

jossa:  $F$  = kuorma (N)

$r_1$  = pienemmän sylinteripinnan säde

$r_2$  = suuremman sylinteripinnan säde

$l$  = kontaktipinnan pituus

$$\text{Raja-arvo pintapaineelle saadaan DNV:n kaavasta: } \sigma_{HE} \leq 3,3 \cdot \frac{\sigma_y}{\gamma_m}$$

jossa:  $\sigma_y$  = materiaalin myötöraja  $355 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_m$  = materiaalikerroin 1,15

DNV:n menetelmä soveltuu tähän käyttötarkoitukseen paremmin tarkempien lopputulosten takia, joten jatkossa kaavaa 1 käytetään pintapaineen määrittämisessä.

2) Leikkausjännitys leikkauksessa  $\alpha - \alpha$ , kun  $r_m \geq 1,75 \cdot d_p$  ja  $r_c \geq 1,5 \cdot d_p$ :

$$\tau_s = \frac{1,1 \cdot 0,5 \cdot F_{dl}}{A_\alpha} \leq 0,40 \cdot \sigma_y \quad (\text{kaava 2})$$

jossa: 1,1 = korjauskerroin

$F_{dl}$  = vaikuttava todellinen kuorma (design load)

$A_\alpha$  = leikkautuva pinta-ala

DNV käyttää laskennassa menetelmää, jossa varmuus saavutetaan osakertoimien käytöllä (selitetty kohdassa 6.3). Vaatimuksena on, että rakenne voi saavuttaa mutta ei ylittää määritettyä raja-arvoa. Kokonaisvarmuus otetaan huomioon laskuissa. DNV:n

$$\text{laskentamenetelmä leikkausjännitykselle: } \tau_s = \frac{\gamma_{design} \cdot F_{dl}}{2 \cdot A} \leq \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}}$$

3) Vetojännitys leikkauksessa  $\beta - \beta$ .

$$\sigma_t = \frac{F_{dl}}{A_\beta} \leq 0,45 \cdot \sigma_y \quad (\text{kaava 3})$$

jossa:  $A_\beta$  = pienin mahdollinen poikkileikkautuva pinta-ala

4) Leikkausjännitys leikkauksessa  $\gamma$ - $\gamma$ .

$$\tau = \frac{F_{dl}}{A_\gamma} \leq 0,40 \cdot \sigma_y \quad (\text{kaava 4})$$

jossa:  $A_\gamma$  = pienin mahdollinen poikkileikkautuva pinta-ala

5) Leikkausjännitys uuma- ja poskilevyn välisessä hitsissä.

$$\tau = \frac{2 \cdot F'}{A_w} \leq 0,40 \cdot \sigma_y \quad (\text{kaava 5})$$

jossa: 2 = muotokerroin

$$F' = \frac{t_c}{t_m + 2t_c} \cdot F_{dl} \quad (\text{kuorma poskilevyä kohden})$$

$$A_w = 2 \cdot \pi \cdot r_c \cdot w \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \quad (\text{hitsin pinta-ala poskilevyä kohden})$$

6) Vetojännitystä laskettaessa määrävänä tapauksena on hitsi päälevyn juuren ja nostettavan kohteen välillä.

$$\sigma = \frac{F}{2 \cdot w \cdot a} \leq \frac{F_\gamma}{\gamma_m} \quad (\text{kaava 6})$$

jossa:  $w$  = hitsin eli korvakkeen alaosan pituus

$a$  = hitsin leveys

7) Taivutusjännitys nostokorvassa, kun veto ei ole kohtisuora (vinoveto ja pystyynnoston tilanteet) määritetään kaavan 7 mukaisesti. Nostokorva ajatellaan palkiksi, jonka poikkileikkaus on sen alareunan mukainen. Tällöin taivutusjännitys on taivutusmomentti  $M_t$  jaettuna taivutusvastuksella  $W_z$ . Kyseessä on yhdistetty jännitys, johon lasketaan lisäksi korvakkeen keskilinjasta sivulle vetävän voiman aiheuttama rasisus. Tämä voima saa määritelmän mukaan olla enimmillään kolme prosenttia kokonaisvoimasta. Myös taivutusjännityksen kohtisuora komponentti otetaan laskuissa huomioon.

$$\sigma = \frac{M_t}{W_z} = \frac{F \cdot l}{\frac{b \cdot h^2}{6}} \quad (\text{kaava 7})$$

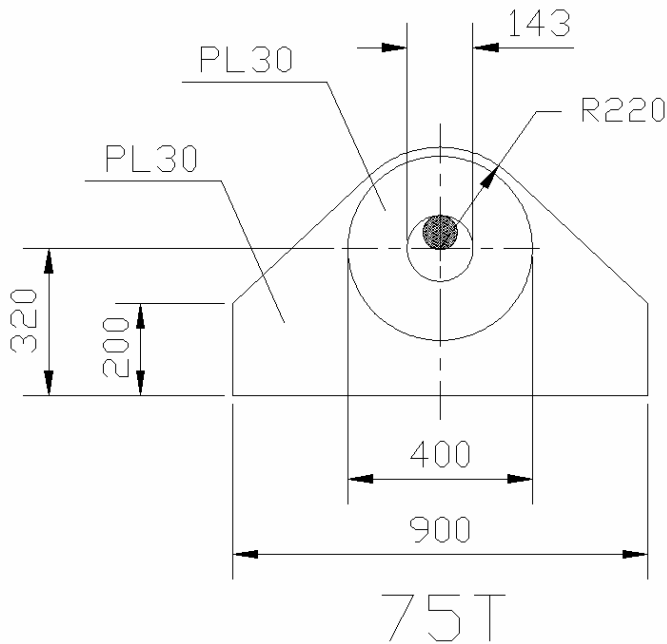
jossa:  $l$  = momenttivarren pituus (etäisyys nostokorvan pohjasta reiän keskipisteeseen).

$b$  = poikkileikkauksen leveys

$h$  = poikkileikkauksen pituus

## 8.0 ESIMERKKILASKELMAT

Seuraavassa on esitetty edellisen kappaleen kaavojen mukaiset laskelmat, käyttäen esimerkkinä 75 tonnin nostokorvaa. Tulosten jälkeen on vielä verrattu suurinta sallittua ja laskettua kuormaa. Mitä enemmän suhdeluku on yli yhden, sitä varmempi kestävyys on. Laskennan tavoitteena oli myös määrittää, voidaanko korotettua kuormaa käyttää, siksi voimana on käytetty 105 tonnia.



Kuva 11. 75 tonnin nostokorvan mitat sakkelitapilla.

1) Pintapaine:

$$\sigma_{HE} = 0,59 \cdot \sqrt{\frac{F \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}{l \left( \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)}} = 0,59 \cdot \sqrt{\frac{(105000 \cdot 9,81) N \left( \frac{1}{40 \text{ mm}} - \frac{1}{71,5 \text{ mm}} \right)}{\left( \frac{180 \text{ mm}}{210000 \text{ N/mm}^2} \right)}} = 2146,48 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{HEsall} \leq 3,3 \cdot \frac{f_y}{\gamma_m} \leq 3,3 \cdot \frac{355 \text{ N/mm}^2}{1,15} \leq 1018,7 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 1})$$

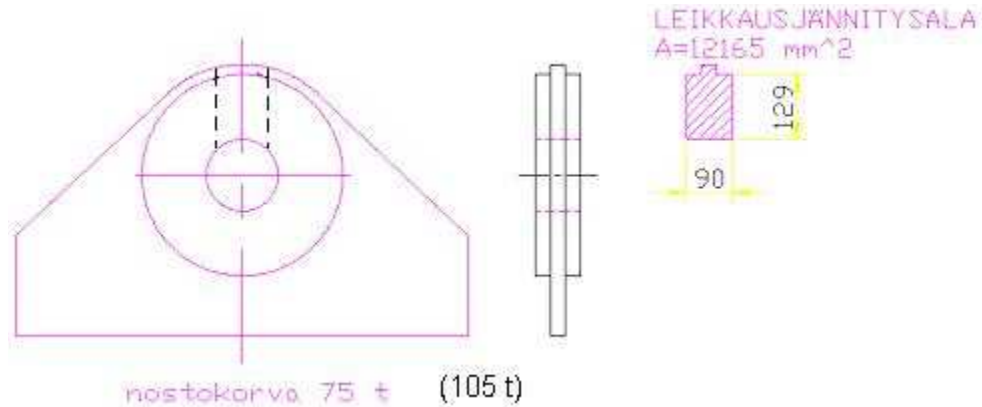
Pinta myötää hieman pienelle alueelle kohdistuvan paineen vuoksi. Ratkaisemalla ylemmästä yhtälöstä  $r_1$ , saadaan selville, mikä on täydellä kuormalla pienin sallittu sakkelitapin säde, jotta pinta ei myötäisi.

$$r_1 = \frac{F}{\left( \frac{3,3 \cdot f_y}{\gamma_m} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot l}{E \cdot 0,59^2} + \frac{F}{r_2}} = \frac{105000 \cdot 9,81}{\left( \frac{3,3 \cdot 355}{1,15} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot 90}{210000 \cdot 0,59^2} + \frac{105000 \cdot 9,81}{71,5}} = 61 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow d = 2 \cdot r_1 = 2 \cdot 61 \text{ mm} = 122 \text{ mm}$$

Suhde  $122\text{mm}/143\text{mm}=0,85$ . Tämä suhde ilmoittaa, kuinka paljon pienempi sakkelin halkaisija saa olla verrattuna nostokorvan reiän halkaisijaan.

## 2) Suora leikkausjännitys:



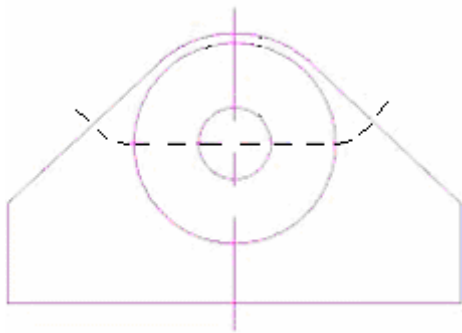
Kuva 12. Leikkausjännitysalan määrittäminen.

$$\tau_s = \frac{\gamma_f \cdot F_{dl}}{2 \cdot A} = \frac{(2,94 \cdot 105000 \cdot 9,81) \text{ N}}{2 \cdot 12165 \text{ mm}^2} = 124,47 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 2})$$

$$\tau_{sall} = F_y / \sqrt{3} = 355 \text{ N/mm}^2 / \sqrt{3} = 205 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{vertailu sallittu/laskettu: } n = \frac{205 \text{ N/mm}^2}{124,47 \text{ N/mm}^2} \approx 1,65$$

## 3) Vedosta aiheutuva jännitys uuma- ja poskilevyssä:



Kuva 13. Murtuminen katkoviivan esittämästä kohdasta.

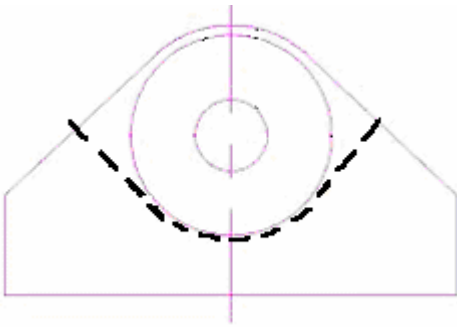
$$\sigma_t = \frac{F}{A_\beta} \leq 0,45 \sigma_y$$

$$A = 28110 \text{ mm}^2 \Rightarrow \sigma = \frac{(105000 \cdot 9,81) \text{ N}}{28110 \text{ mm}^2} = 36,6 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 3})$$

$$\sigma_{sall} = 0,45 \cdot 355 \text{ N/mm}^2 = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{vertailu sallittu/laskettu } n = \frac{160 \text{ N/mm}^2}{36,6 \text{ N/mm}^2} \approx 4,36$$

4) Leikkausjännitys uumalevyssä:



Kuva 14. Murtuminen katkoviivan esittämästä kohdasta.

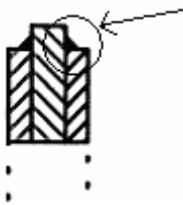
$$\tau = \frac{F}{A_y} \leq 0,40\sigma_y$$

$$A = 22740\text{mm}^2 \Rightarrow \tau = \frac{(105000 \cdot 9,81)\text{N}}{22740\text{mm}^2} = 45,3\text{N} / \text{mm}^2 \quad (\text{kaava 4})$$

$$\sigma_{sall} = 0,40 \cdot 355\text{N} / \text{mm}^2 = 142\text{N} / \text{mm}^2$$

$$\text{vertailu sallittu/laskettu } n = \frac{142\text{N} / \text{mm}^2}{45,3\text{N} / \text{mm}^2} \approx 3,13$$

5) Leikkausjännitys hitsissä:



Kuva 15. Leikkausjännitys uuma- ja poskilevyn välisessä pienahitsissä (hitsin koko 10 mm):

$$\tau = \frac{2 \cdot F'}{A_w} \leq 0,40 \cdot \sigma_y, \text{ missä}$$

$$F' = \frac{t_c}{t_m + 2t_c} \cdot F_{dl} = \frac{30\text{mm}}{30\text{mm} + 2 \cdot 30\text{mm}} \cdot 105000\text{kg} \cdot 9,81\text{m} / \text{s}^2 = 343350\text{N}$$

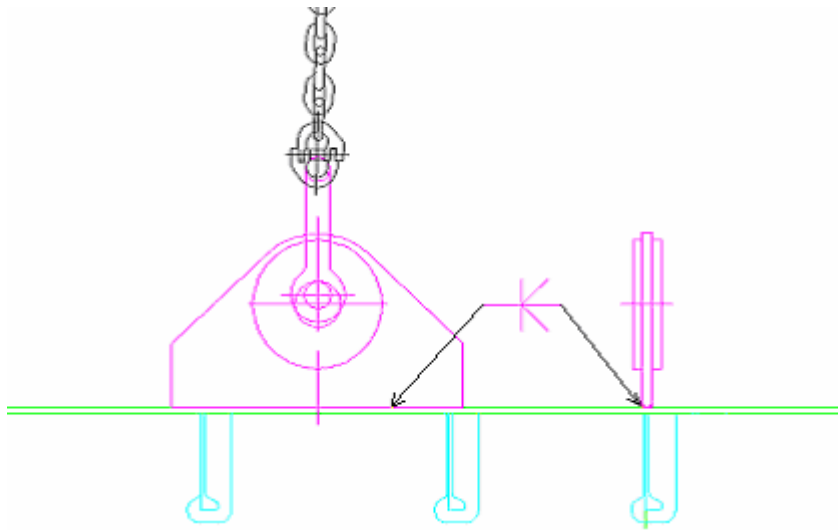
$$A_w = 2 \cdot \pi \cdot r_c \cdot w \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot \pi \cdot 200\text{mm} \cdot 14,142\text{mm} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} = 12566\text{mm}^2$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{2 \cdot 343350\text{N}}{12566\text{mm}^2} = 54,6\text{N} / \text{mm}^2 \quad (\text{kaava 5})$$

$$\tau_{sall} \leq 0,40 \cdot 355\text{N} / \text{mm}^2 = 142\text{N} / \text{mm}^2$$

$$\text{vertailu sallittu/laskettu } n = \frac{142\text{N} / \text{mm}^2}{54,6\text{N} / \text{mm}^2} \approx 2,6$$

6) Leikkausjännitys rakenteiden välillä (veto kohtisuorassa pintaa vastaan):



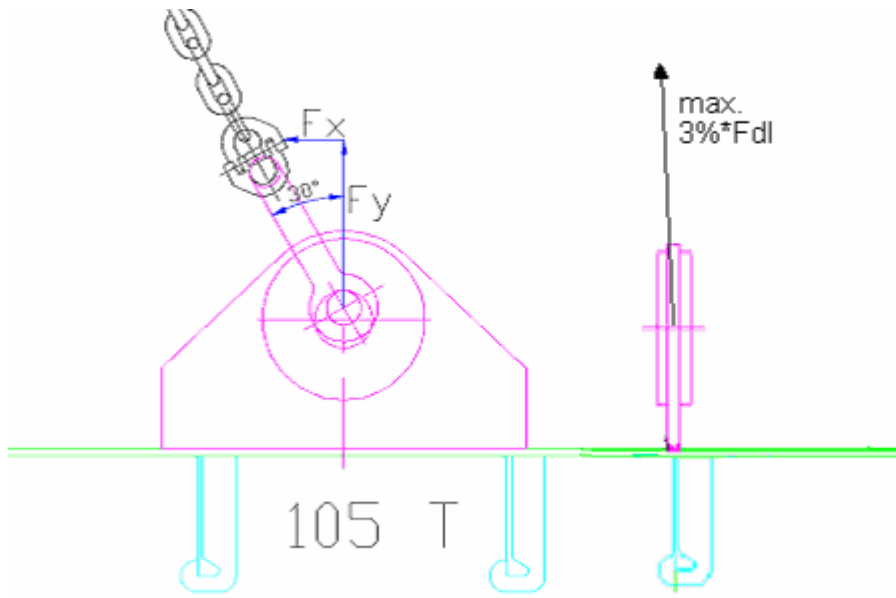
Kuva 16. Jännitys uumalevyn ja nostettavan rakenteen välisessä hitsissä.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{\gamma_{design} \cdot F}{2 \cdot w \cdot a} = \frac{2,94 \cdot (105000 \cdot 9,81) N}{(2 \cdot 900 \cdot 14) mm^2} = 120,17 N / mm^2 \quad (\text{kaava 6})$$

$$\sigma_{sall} = \sigma_y = 355 N / mm^2$$

$$\text{vertailu sallittu/laskettu } n = \frac{355 N / mm^2}{120,17 N / mm^2} \approx 2,95$$

7) Taivutusjännitys:



Kuva 17. Yhdistetty jännitys.

Yhdistetyn jännityksen laskennassa määritettiin taivutusjännitys alareunan poikkipinnan mukaan ( $t$  = levyn paksuus,  $l$  = levyn pituus ja  $h$  = momenttivarren pituus). Taivuttava



voima  $F$  koostuu kolmesta komponentista  $F_x$ ,  $F_y$  ja  $F_z$ . Jännityshuippu kohdistuu nostokorvan vedonsuuntaiseen alanurkkaan.

$$F_x = \sin 30^\circ \cdot (105000 \cdot 9,81)N = 515000 N, F_y = \cos 30^\circ \cdot (105000 \cdot 9,81)N = 892000 N$$

$$\sigma_{F_x} = \frac{M_t}{W_z} = \frac{\gamma_{design} \cdot F_x \cdot h}{t \cdot L^2} = \frac{2,94 \cdot 515000N \cdot 320mm}{30mm \cdot (900mm)^2} = 119,6N/mm^2 \quad (\text{kaava 7})$$

$$\sigma_{F_z} = \frac{M_t}{W_z} = \frac{\gamma_{design} \cdot F_z \cdot h}{L \cdot t^2} = \frac{2,94 \cdot (105000 \cdot 9,81)N \cdot 0,03 \cdot 320mm}{900mm \cdot (30mm)^2} = 215,3N/mm^2 \quad (\text{kaava 7})$$

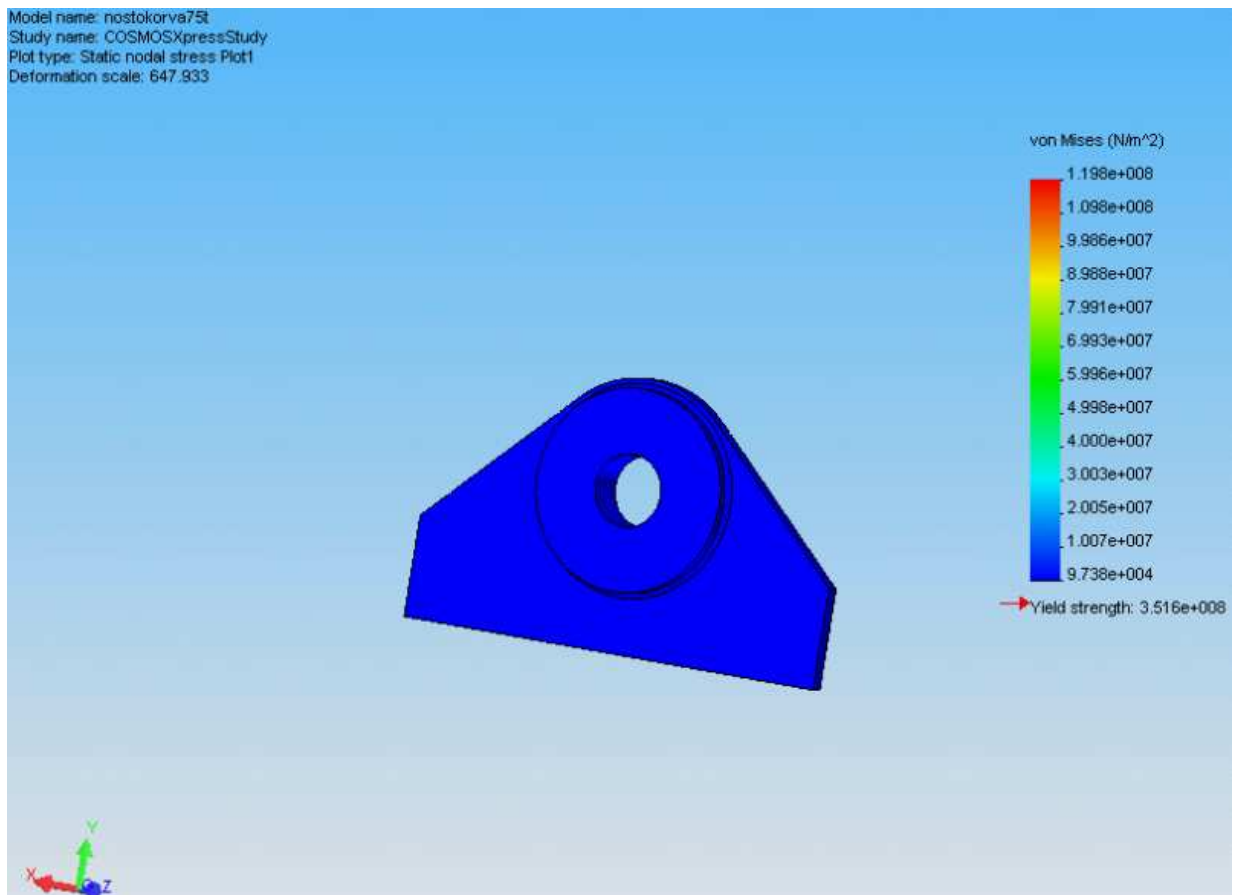
$$\sigma_{F_y} = \frac{F_y}{A} = \frac{892000N}{30mm \cdot 900mm} = 33,0N/mm^2$$

$$\sigma_{tot} = \sigma_{F_x} + \sigma_{F_z} + \sigma_{F_y} = 119,6N/mm^2 + 215,3N/mm^2 + 33,3N/mm^2 = 367,9N/mm^2$$

$$\sigma_{sall} = \sigma_y = 355N/mm^2$$

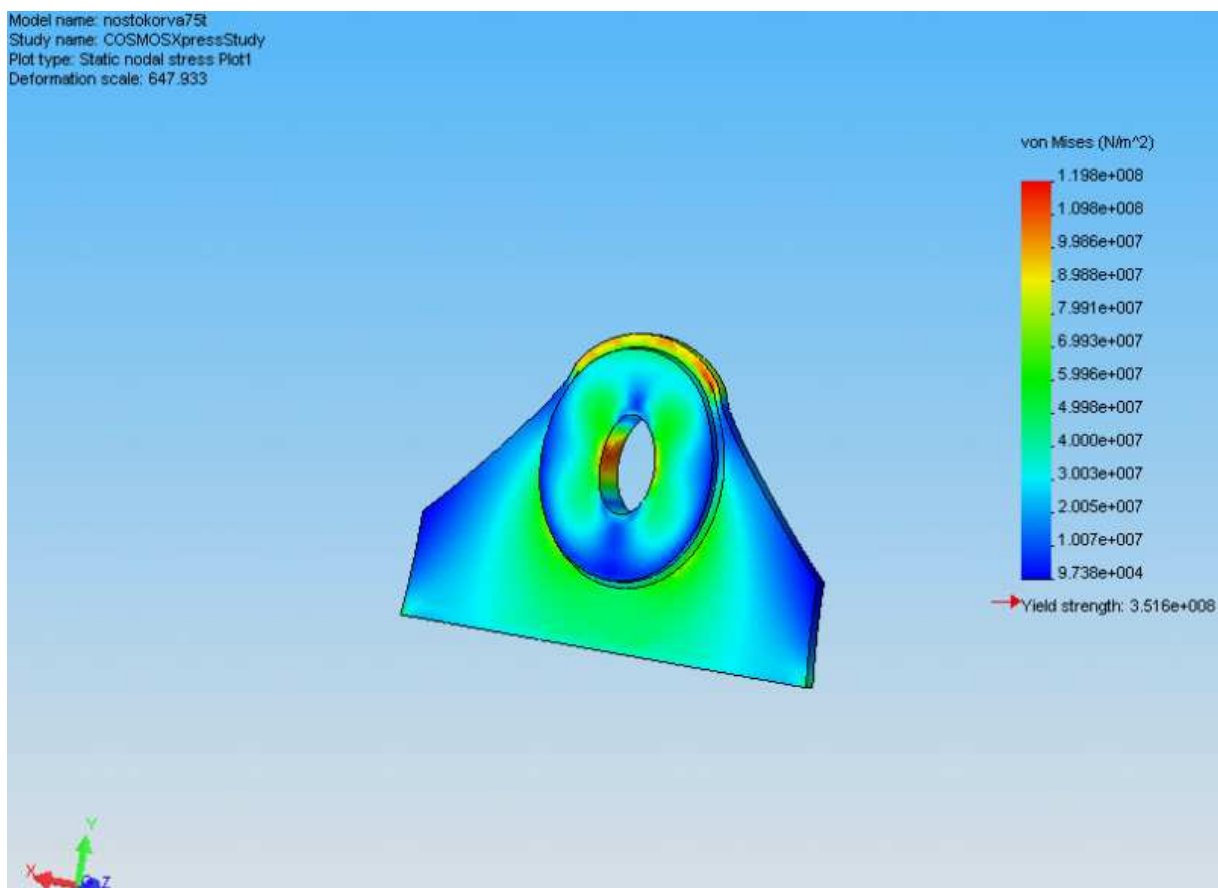
$$\text{vertailu sallittu/laskettu } n = \frac{355N/mm^2}{367,9N/mm^2} \approx 0,96 \quad (\text{varmuus tässä tapauksessa riittävä})$$

Solid Worksillä mallinnetun 75 tonnin 3D-nostokorvan lujuusmääritykseen käytettiin samaan ohjelmistoon kuuluvaa Cosmos Worksiä. Tulokset olivat samankaltaisia käsinlaskennan kanssa. Ensin valittiin taulukosta sopiva teräslaatu, jolla on sama murtolujuus.



Kuva 18. Nostokorvan 3D-malli.

Seuraavaksi annettiin nostokorvalle 75 tonnin rasiudesta vastaava kuorma sopivalla kiinnityskohdalla, ja suoritettiin laskenta tietokoneella. Varmuusluku murrolle oli 3.1, ja suurimmat rasitukset kohdistuivat ennalta arvioituihin kohtiin, mikä tukee käsinlaskentaa.



Kuva 19. Deformoitunut nostokorva. Punaisissa kohdissa suurin jännitys.

## 9.0 LASKENTATULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Esimerkkilaskelmissa tarkastellut kohdat ovat sallituissa varmuusrajoissa, joten vanhan standardin mukaista nostokorvan suurinta sallittua kuormaa voidaan korkeintaan 1,4-kertaistaa. Kaavan antama tulos suurista pintapaineista oli odotettu, sillä käytettävyyden kannalta korvakkeen silmäreikään on helppo pistää suhteellisen pieni sakkelitappi. Laskennan perusteella päädytään suositukseen, jossa sakkelitapin ja silmäreikien halkaisijoiden suhde ei saa alittaa 0,85:ttä. Sakkeleissa käytettävä materiaali aiheuttaa sen, että niiden koko verrattuna vastaavan tonnimäärän korvakkeisiin on melko pieni. Nostokorvien tarkastuksessa on huomattu teräksen paikallisen myötämisen aiheuttama

sakkelitapin sisäänpainuminen. Alussa pintapaine vaikuttaa hyvin pienelle pinta-alalle. Kosketusalue laajenee juuri pienen sisäänpainumisen aikana. Tämän jälkeen Hertzin kaavaa ei voi enää käyttää, sillä tilanne ei ole enää eri- vaan samansäteisten sylinteripintojen mukainen.

yhtenä osana lopputyön suorittamisessa oli lujuusopin kaavojen arviointi, ja niiden käyttökelpoisuutta pohdittiin laskentaosaston kanssa. Vaikka luokituslaitosten kaavoissa oli pieniä eroja, lopputulokset olivat samankaltaisia. Laskelmat osoittavat, että nostokorvien mitoituksessa ollaan nykyisilläkin kuormilla ja materiaaleilla pääsääntöisesti varmallalla puolella. Ainoastaan Hertzin pintapaineen laskennassa tulokset olivat arveluttavia. Kokemus kuitenkin osoittaa, että pintapaine ei ole ratkaiseva nostokorvien suunnittelussa. Suurin merkitys on voiman suunnalla, sillä pienetkin astemuutokset vaikuttavat suuresti taiputusjännitykseen. Tämä seikka korostaa lohkon painopisteen määrittämisen tärkeyttä. Epävarmoissa ja riskialttiissa tapauksissa nostokorvat on syytä vahvistaa ylimääräisellä levyllä sivuttaissuuntaisten voimien varalta.

Opinnäytetyön edetessä heräsi mielenkiinto laajentaa sen sisältöä kokeellisen tutkimuksen suuntaan, mutta se ei kuitenkaan tässä yhteydessä ollut mahdollista. Aiheesta riittäisi aineistoa todennäköisesti toisen opinnäytetyön verran, sillä mittausten järjestämisessä riittäisi puuhaa kalliiden laitteiden ja suurten voimien vuoksi. Tutkittavia kohteita voisivat olla mm. todelliset venymät tietyllä voimalla ja voiman suunnalla, jopa kappaleiden murtumiseen saakka ylisuurilla rasituksilla. Mielenkiintoista olisi nähdä, miten todellisuudessa nostokorva reagoi. Tällä hetkellä Mäntyluodon telakalla ei ole tarvittavia laitteita mittausten suorittamiseen.

Lopputyön teossa tarvittiin paljon insinöörikoulutuksessa läpikäytyjä työkaluja, hyödyllisiksi osoittautuivat mm. mallinnusohjelmat AutoCad ja Solid Works. Jälkimmäisen FEM-ominaisuuksien avulla saatiin tukea käsinlaskennalle rasitusten määrittämisessä. Laskelmien suorittamista nopeutti merkittävästi MathCad, sillä kaavoissa vain tiettyjä vakioita muutettiin.

Kokonaisuutena voidaan todeta, että asetetut tavoitteet täyttyivät ja ne olivat odotusten mukaisia. Tulokset tukevat yleistä käytäntöä sallia nostokorville 1,4-kertaa suurempi kuorma aiemmin käytetyyn materiaaliin verrattuna. Lisäksi laskelmat johtivat parannusehdotukseen oikeankokoisen sakkelitapin valinnalle.

## TERMINOLOGIA

Nostokorva	lohkon eri kohtiin sijoitettu noston mahdollistava teräksinen rakenne
Uumalevy	nostokorvan runko, suurinta kuormaa kannattava teräslevy
Poskilevy	suuremmilla nostokorvilla uumalevyä tukeva rakenneos
Sakkeli	nostokorvan reikään tuleva luja teräksinen tappi
SWL	suurin sallittu kuorma (Safe Working Load)
DAF	dynaaminen vahvistuskerroin (Dynamic Amplification Factor)
ULS	murtorajatila (Ultimate Limit State)

## LÄHDELUETTELO

1. Heerema Marine Contractors, Standard Criteria, Criteria for lift point design, 2006.
2. Norwegian Standard, NS 3472 E, Steel Structure Design rules, 1984, s.118-119.
3. Nostoihin liittyviä säädöksiä, n:o 856/1998, kuormien nostamiseen käytettäviä työvälineitä koskevat säännökset
4. Telakoiden nostoapuvälineet, Metallialan turvallisuustyön työalatoimikunta, Työturvallisuuskeskus.
5. Technip Doc. No. 66-CH-1731-660 rev. B 30.12.2005, CVX Doc. No. TAH-TOF-MRN-CA-2062: FPF Hull, Mooring and Subsea Facilities. Strength Calculations of Side Buoyancy Tanks.
6. Det Norske Veritas – Rules for Planning and Execution of Marine Operations, tammikuu 1996
7. Guidelines for Marine Operations, London Offshore Consultants, Oilfield Publications Limited, huhtikuu 1997.
8. Nostoapuvälineet, SFS-käsikirja 79, Suomen standardisoimisliitto 1987.
9. Matti Mattila, toimitusjohtaja, PI-Rauma Oy, henkilökohtainen tiedonanto.

## LIITELUETTELO

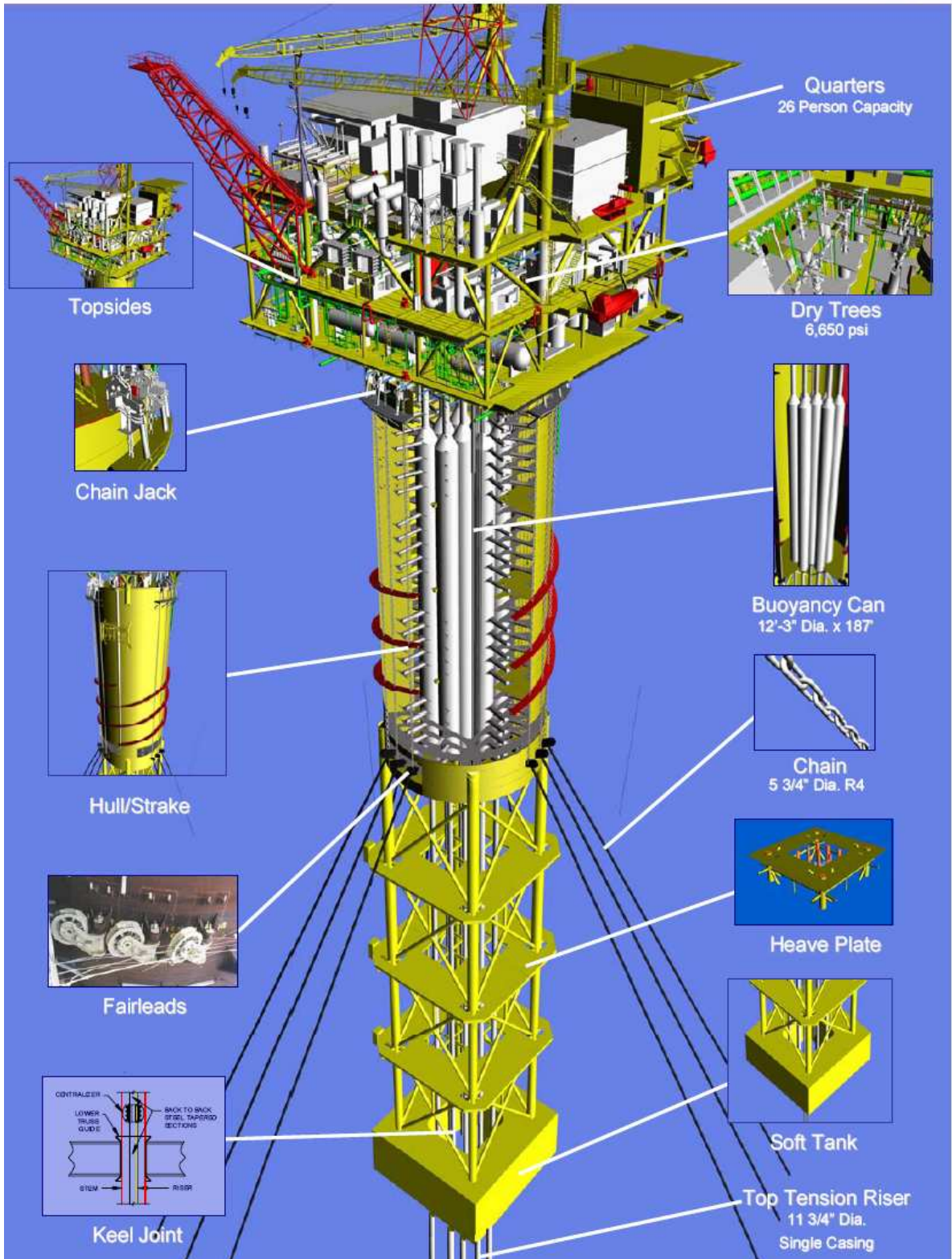
1. Havainnekuva Truss-Spar lauttatyypistä.
2. Nostotyökalut
3. Käytetyt sakkeliitypit. (Varmuussakkelit Crosby)
4. Käytetyt sakkeliitypit. (Crosby Alloy Shackles 75-200t)
5. Nostokorvamallit, kuva.

Liite 1

Oil Production 60,000 bpd  
 Gas Production 60 MMscfd  
 Produced Water 40,000 bpd  
 Dry-Tree Production Well Risers 8 (8 predrilled)  
 Export Pipeline Riser (SCR's) (1) 14" Oil, (1) 4" Gas  
 Future Subsea (SCR's) (2) 6", (2) 10", (4) umbilicals  
 Total Facility Payload (Max. Operating) 9,470 short tons



Hull Form Truss  
 Hull Diameter 94 feet  
 Normal Operating Freeboard 50 feet  
 Centerwell 42'x42'  
 Overall Draft 536 feet  
 Total Length 586 feet  
 Number of Taut Catenary Lines 9  
 Water Depth 5,610 ft.  
 Piles Suction



**Köysiliitokset**

Teräsköysien liittämismenetelmät ovat pleissaus, kiilalukkoliitos, puristusholkki-liitos, valuliitos ja tilapäiskäytössä, köysilukkoliitos.

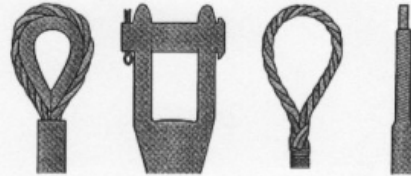
Rakseissa käytetään nykyään lähes aina puristusholkki-liitosta. Teräsköyden liittäminen muodostaa turvallisuuden kannalta tärkeän toimenpiteen, ja liitoksen tekijän tulee tuntea sekä liittämismenetelmä että teräsköydet.

**Koussit**

Silmukkaliitoksen muodostamisessa voidaan käyttää koussia, jossa on teräsköyteen sopiva ura. Koussi takaa kuormituksen aiheuttaman jännityksen koko silmukan alueelle ja estää siten jännityshuippujen syntymisen köyteen. Estäessään muun nostovälineen ja köyden suoran kontaktin, koussi suojaa tätä köyden osaa kulumiselta ja pidentää raksin ikää.

**Renkaat, koukut, sakkelit ym.**

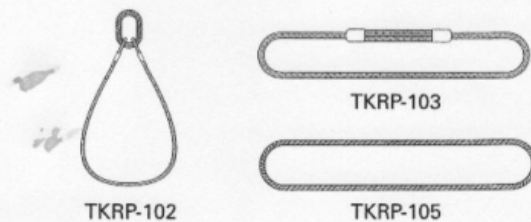
Jotta raksi voitaisiin helposti kiinnittää nostolaitteen koukkuun, sen toiseen päähän kiinnitetään usein rengas tai liitoslenkki. Renkaita ja lenkkejä käytetään myös monihaaraisten raksin valmistukseen. Taakan puoleiseen päähän voidaan valita erilaisia koukkuja, sakkeleita, sen mukaisesti, mikä kiinnitystapa parhaiten soveltuu k.o. taakkaan. Päätekappaleet valitaan aina siten, että niiden suurin sallittu kuormitus vastaa raksin suurinta sallittua kuormitusta.

**Päätetyypit****Raksityypit****1-haarainen teräsköysiraksi**

TKR-101 TKR-102 TKR-113 TKR-107 TKR-175 TKR-105 TKR-176

**Raksityypit****1-4 haarainen teräsköysiraksi**

TKR-275 TKR-276 TKR-475 TKR-476

**Päätön teräsköysiraksi**

TKRP-102

TKRP-103

TKRP-105



## Liite 3

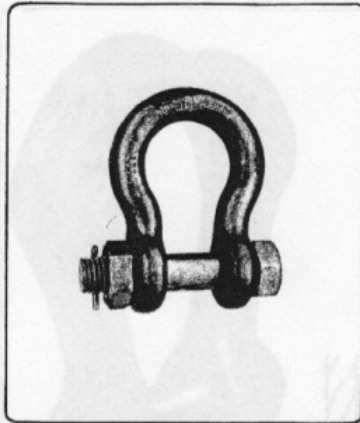
# SAKKELIT

## VARMUUSSAKKELIT

20.19



### CROSBY MALLI 2130 G



- Tehot 2 – 150 t
- Mutterilla ja lukitussokalla
- Aine: kaari hiiliteräs C1035  
tappi seosteräs A4130
- Jokaisessa sakkellisä merkintä sallitusta kuormasta (SSK)
- Testattu 2-kertaisella kuormalla
- 5-kertainen varmuus
- Galvanoituja
- Erittäin pienikokoisia ja kevyitä johtuen hyvästä raaka-aineesta
- 2 – 55 t heti varastosta
- 85 – 150 t tehdastoimitus

SSK t	Koko	Sisä- pituus mm	Sisä- leveys aukossa mm	Tappi ø mm	Kaaren silmukan ulkomitta mm	Toleranssi + tai -		Paino kg
						pituus mm	leveys mm	
2	1/2"	47	20	16	30	3,1	1,5	0,34
3,25	5/8"	60	27	19	39	3,1	1,5	0,6
4,75	3/4"	71	31	22	47	6,3	1,5	1,2
6,5	7/8"	84	36	25	54	6,3	1,5	1,7
8,5	1"	95	43	28	60	6,3	1,5	2,5
9,5	1 1/8"	108	46	31	66	6,3	1,5	3,7
12	1 1/4"	119	51	35	76	6,3	1,5	5,2
13,5	1 3/8"	131	57	38	84	6,3	3,1	6,9
17	1 1/2"	146	60	41	92	6,3	3,1	9,0
25	1 3/4"	178	73	51	105	19,0	3,1	15,3
35	2"	197	82	57	127	19,0	3,1	23,0
55	2 1/2"	266	105	65	152	19,0	6,3	44,0
85	3"	330	127	82	165	6,3	6,3	70,0
120	3 1/2"	371	133	95	203	6,3	6,3	120,0
150	4"	368	140	108	228	6,3	6,3	153,0

Mikäli sakkelit halutaan toimitettavaksi virallisin aine- ja koivetodistuksin, on siitä tilattaessa erikseen mainittava. (Huom! Lisäveloitus)

OY MACHINE TOOL CO

As.palvelu 90-351 95333 • Fax 90-351 95200

# Crosby® Alloy Shackles

**“WIDE BODY” SLING SAVER SHACKLES INCREASE SLING LIFE**

NOTICE: All shackles are magnetic particle inspected.

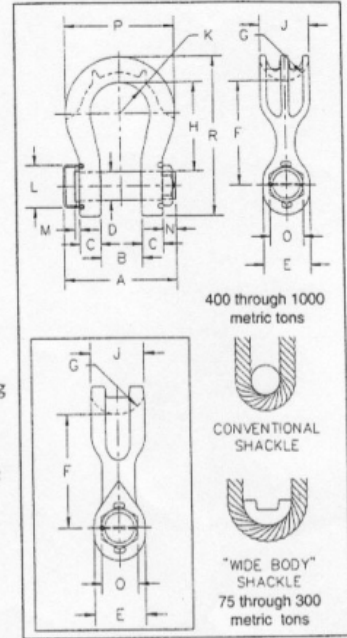
**Load Rated**



**G-2160**

Patented

- Greatly improves wearability of wire rope slings.
- Increase in shackle bow radius provides minimum 58% gain in sling bearing surface and eliminates need for a thimble.
- Increases usable sling strength minimum of 15%.
- Pin is non-rotating, with weld on handles for easier use.
- All ratings are in metric tons, embossed on side of bow.
- Forged alloy steel from 75 through 300 metric tons.
- Cast alloy steel from 400 through 1000 metric tons.
- Sizes 400 tons and larger are tested to 1.33 times Working Load Limit.
- Sizes 300 tons and smaller are proof tested to 2 times the Working Load Limit.
- All 2160 shackles are individually proof tested, Crosby certification available at time of order. Shackles requiring ABS, DNV, Lloyds and other certifications are available upon special request and must be specified at time of order.
- Shackles are produced in accordance with certified lifting appliance requirements.
  - Non Destructive Testing
  - Serialization / Identification
  - Material Testing (Physical / Chemical / Charpy)
  - Proof Testing
- All sizes Quenched and Tempered for maximum strength.
- Bows and pins are furnished Dimetcoated. All Pins are Dimetcoated then painted red.



Working Load Limit * t	G-2160 Stock No.	Weight Each (kg)	Dimensions (mm)															
			A	B +/- 6.35	C	D +/- .5	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	R
†75	1021290	45	346	105	54.0	70.0	121	325	64.0	290	120	92.5	111	25.5	76.0	98.5	313	465
†125	1021307	73	400	130	65.0	80.0	145	405	80.0	365	150	110	130	27.0	75.0	118	380	576
†200	1021316	227	508	150	85.0	105	185	533	110	480	205	138	170	32.0	110	146	495	758
†300	1021325	368	591	185	102	133	235	667	140	600	265	160	205	38.0	112	175	601	950
††400	1021334	477	715	220	131	160	280	655	160	575	320	185	240	38.0	120	197	690	985
††500	1021343	614	789	250	142	180	318	720	170	630	340	225	265	41.0	125	222	790	1085
††600	1021352	831	846	275	154	200	350	800	185	700	370	248	303	44.5	138	248	865	1200
††700	1021361	1110	917	300	168	215	376	843	200	735	400	270	320	48.0	151	273	940	1275
††800	1021254	1358	991	325	183	230	400	865	210	750	420	278	334	48.0	156	286	975	1323
††900	1021389	1550	1055	350	198	250	430	883	220	757	440	293	385	51.0	154	318	1025	1373
††1000	1021370	1824	1115	380	212	270	450	895	230	760	460	308	407	51.0	152	330	1075	1405

\* Ultimate Load is 5 times the Working Load Limit.  
 † Forged Alloy Steel. Proof Load is 2 times the Working Load Limit.  
 †† Cast Alloy Steel. Proof Load is 1.33 times the Working Load Limit.

Liite 5

