

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Hannu Karppinen
MERIKONTIN VARASTOINTIJALKOJEN KUNNONVALVONTA

Opinnäytetyö
Elokuu 2021



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2021
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Hannu Karppinen

Nimeke

Merikontin varastointijalkojen kunnonvalvonta

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella rasituksia ja luoda kunnonvalvontasuunnitelma merikontin varastointijaloille. Työn teoriaosuudessa käsiteltiin erilaisten ainetta rikkomattomien tarkastusmenetelmien käyttö kunnonvalvonnassa ja laskettiin teoreettisia rasituksia jalkojen kiinnityspisteille.

Työn käytännön osuudessa jalasta luotiin 3D-malli Creo Parametric 6.0-ohjelmistolla, jonka jälkeen mallin avulla suoritettiin FEM-laskenta. Laskennan analyysin tuloksissa saatiin suurimmalle rasitukselle joutuvat kohdat rakenteessa, ja näiden tulosten perusteella luotiin erillinen tarkastuspöytäkirja kunnonvalvontasuunnitelman tueksi.

Työn tuloksena saatiin suuntaa antava määräaikaistarkastussuunnitelma, jota hyväksi käyttäen voidaan jalostaa lopullinen kunnonvalvontasuunnitelma hyväksyvän viranomaisen toimesta. Tarkastuspöytäkirja on tehty yleistä pohjaa hyödyntäen, joten se on käytökelpoinen sellaisenaan virallista tarkastussuunnitelmaa laadittaessa.

Kieli
Suomi

Sivuja 41
Liitteet 1
Liitesivumäärä 1

Asiasanat
kunnonvalvonta, FEM, NDT-menetelmät, merikontti



THESIS
August 2021
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Hannu Karppinen

Title

Maintenance Plan of Sea Container Storage Legs

The purpose of this thesis was to examine the stresses and create a preventive maintenance plan for the storage legs of the sea container. The theoretical part of the work has been reviewed in the use of various nondestructive testing methods for preventive maintenance plan and manual calculation has been made at leg anchorages.

In the practical part of the work, a 3D model of the foot has been created with Creo Parametric 6.0 software, and this model has been used to calculate FEM. The results of the calculation analysis revealed the maximum stress of the structure and on the basis of these results, a separate inspection protocol has been created to support the preventive maintenance plan.

As a result of the work, an indicative preventive maintenance plan was created, which can be used to refine the final condition monitoring plan by the approval authority. The inspection protocol has been created on the basis of a widely used format, and therefore it is useful when the official maintenance plan is to be planned.

Language
Finnish

Pages 41
Appendices 1
Pages of Appendices 1

Keywords
FEM, nondestructive testing, maintenance plan, sea container

Sisältö

Termit ja lyhenteet	5
1 Johdanto	6
2 Opinnäytetyön tietoperusta	6
2.1 Ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät (NDT)	6
2.1.1 Visuaalinen tarkastus VT	7
2.1.2 Tunkeumanestetarkastus PT	8
2.1.3 Ultraäänitarkastus UT	9
2.1.4 Radiografinen tarkastus RT	12
2.2 Lujuusoppi	13
2.2.1 Staattinen kuormitus	14
2.2.2 Dynaaminen kuormitus	14
2.2.3 Nurjahdus	15
2.2.4 Materiaalin lujuus	17
2.3 FEM-laskenta	18
2.3.1 Elementtiverkko	18
2.3.2 Von Mises -analyysi	19
3 Tukijalan rasitukset	20
3.1 Lujuuslaskenta	21
3.1.1 Staattinen kuormitus	22
3.1.2 Kierretangon nurjahdus	23
3.2 3D-malli	24
3.3 FEM-laskenta	24
3.4 Jalan analysointi kuormitusten mukaan	26
3.5 Tukijalka normaalissa käyttöasennossa	27
3.6 Normaalin käyttöasennon ja ääriasennon kuormitusvertailu	30
4 Tarkastussuunnitelma	34
4.1 Tarkastuspisteiden määrittäminen	34
4.2 Mittalaitteet ja tarvikkeet	35
4.3 Tarkastus	35
4.4 Määräaikaistarkastuspöytäkirja (Liite 1)	36
5 Tulokset	36
5.1 Pohdinta	36
5.2 Kunnonvalvontasuunnitelma	37
Lähteet	39

Liitteet

Liite 1 Määräaikaistarkastuspöytäkirja

Termit ja lyhenteet

Endoskooppi	Pieni tarkastuskamera, jolla voidaan tutkia ahtaita paikkoja
FEA	FEM-laskennan analyysimenetelmä (Finite Element Analysis)
FEM	Lujuuslaskennoissa käytettävä elementtilaskentamenetelmä (Finite Element Method)
lux	SI-järjestelmän yksikkö valaistusvoimakkuudelle
NDT	Rikkomaton aineenkoetus (Non Destructive Testing)
Neliömomentti	Kappaleen kyky vastustaa taipumaa poikkileikkaustason tietyn akselin suuntaan
PT	Tunkeumanestetarkastus (Penetrant Testing)
Pulssintoistoväli	Lähetettävien pulssien ajallinen ero (sekuntia)
R_{eH}	Ylempi myötöraja
R_m	Murtolujuus
RT	Radiografinen tarkastus (Radiographic Testing)
Röntgen	Lyhytaaltainen, ionisoiva säteily, jolla on suuri läpäisykyky, $\lambda=0,01-10$ nm
Tresca	Maksimileikkausjännitys
Ultraääni	Korkeataajuinen ääni, >20 kHz
UT	Ultraäänitarkastus (Ultrasonic Testing)
Von Mises -teoria	Teoria, jonka avulla ennustetaan kestääkö materiaali tietyn jännitystilän vauriotumatta.
VT	Visuaalinen tarkastus (Visual Testing)

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli määrittää merikontin tukijalkojen kriittisimmät rasisuspisteet 3D-mallinnusta sekä lujuuslaskennan perusteita hyväksi käyttäen ja tuottaa kyseisille jaloille määräaikaistarkastussuunnitelma. Kyseisille tukijaloille ei ole tällä hetkellä olemassa tarkastusproseduuria.

Kontti on standardimittainen 20-jalan merikontti, ja se on sijoitettu neljän teräs-rakenteisen tukijalan päälle. Jalat on ankkuroitu teräsbetonipilareihin. Teräsankkureiden kiinnityksen tarkastelu jätetään tässä työssä huomioimatta. Konttia ei ole mekaanisesti kiinnitetty jalkoihin, vaan se lepää kulmapalojensa varassa tukijalkojen päällysvyyn päällä. Päällysvyössä on uloke, joka estää mahdollisen luiskahtamisen kontin asennusvaiheessa. Merikontti on vaaitettu jalkojen rakenteeseen kuuluvien kierretankojen avulla, joten itse kontti ei aiheuta horisontaalista kuormitusta tukijaloille. Kontin aiheuttaman rasisus tukijalkoihin koostuu kontin painosta, joka vaihtelee välillä 10 400–12 000 kg.

2 Opinnäytetyön tietoperusta

2.1 Ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät (NDT)

Ainetta rikkomattomilla tarkastusmenetelmillä, jäljempänä NDT, tarkoitetaan menetelmiä, joilla pystytään tutkimaan erilaisia rakenteita tai kappaleita niiden rakennetta rikkomatta. NDT-menetelmiä käytetään laajalti teollisuuden laadunvalvonnassa sekä ne ovat myös merkittävä osa ehkäisevää kunnossapitoa. [1.]

Tarkastusta suunniteltaessa pitää olla tiedossa rakenteen merkitys kokonaisuudelle, jolloin voidaan päästä kiinni mahdollisiin heikkoihin kohtiin tarvittavan ajoissa. Jokaisen kohteen ylimitoitettua tarkastusta tulee välttää, koska se aiheuttaa turhia kustannuksia ja resurssimenetyksiä. Tarkastusmenetelmän valinnassa täytyy olla tiedossa rasisusten laatu, suuruus ja niiden paikka. Jos tiettyyn

osaan rakennetta kohdistuu vain pieni rasitus, voidaan kyseisen kohdan tarkistus suorittaa kevyemmällä menetelmällä, jolloin muiden menetelmien tarkastusresurssia jää käytettäväksi rakenteen vaativampiin osiin. Jaotus voidaan myös hoitaa siten, että kriittisemmät ja kovemmalle rasitukselle joutuvat osat tarkastetaan useammin. Kevyemmän rasituksen omaaville tehdään perusteellisempi tarkastus hieman harvemmin, mutta kuitenkin määräjain. [1.]

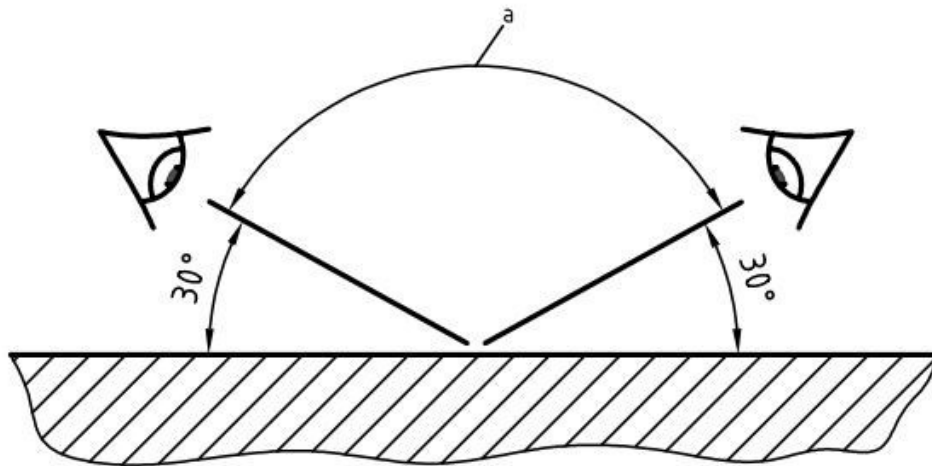
2.1.1 Visuaalinen tarkastus VT

Visuaalinen tarkastus on kiistatta helpoin, kustannustehokkain ja usein nopeimmin suoritettava menetelmä. Mikäli suoritettava kohde on riittävästi valaistu, tarkastuksen suorittamiseen ei välttämättä tarvita mitään apuvälineitä. Visuaalisella tarkastuksella voidaan havaita murtumat, kohtalaiset muodonmuutokset, vääntymät sekä muut kyllin isot muutokset, jotka voidaan silmin havaita. Monesti myös tarkastettavassa kohteessa olevan pinnan muodonmuutokset, naarmut, kolhut tai vastaavat voivat kertoa rakenteeseen kohdistuneesta rasituksesta ja että tarkempi tarkastelu on syytä aloittaa. Tarkka visuaalinen tarkastus edellyttää, että tarkastettava kohde on puhdistettu erityisen hyvin. [2.]

Visuaalisella tarkastuksella voidaan myös hyvin havaita suuret kokonaisuudet ja eri mekanismien vaikutukset toisiinsa, koska ihmisen näkökenttä on laaja, ja aistit pystyvät käsittelemään hyvin suuria kokonaisuuksia sekä eri toimintojen yhteenliittymiä. Esimerkiksi tämä opinnäytetyön jalkojen tarkastuksessa ensimmäinen silmämääräinen tarkastus tapahtuu jo paikalle saapuessa. Visuaalisesti voidaan heti todeta, onko kontti enää suorassa, ja jos rakenteen väsymistä on tapahtunut, voidaan välittömästi todeta myös notkahduksen sijainti. [2.]

Tarvittaessa silmämääräisen tarkastuksen apuvälineinä voidaan käyttää:

- suurennuslasia
- mikroskooppia
- tehokasta valoa
- peiliä
- endoskooppia. [3.]



Kuva 1. Visuaalisen tarkastuksen kulma (Kuva: [4]).

Standardi SFS-EN 13018–3:2016 määrittää, että visuaalinen tarkastus on suoritettava riittävässä valaistuksessa, min. 500 lux. Tarkastelukulman tulee olla minimissään 30° (kuva 1).[3.]

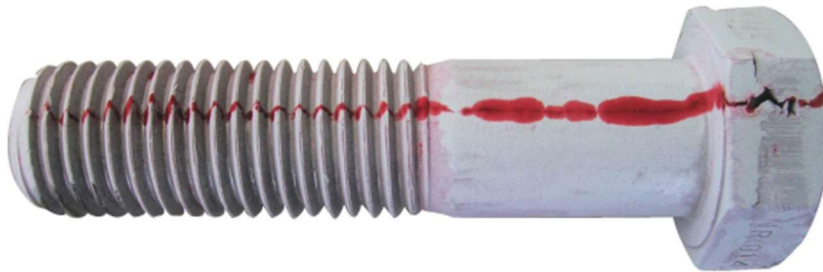
2.1.2 Tunkeumanestetarkastus PT

Tunkeumanestetarkastus on pintatarkastusmenetelmä, jolla voidaan ilmaista suhteellisen helposti halkeamia, railoja, murtumia ja reikiä. Tunkeumanestetarkastuksen suorittaa yleensä ammattitaitoinen, koulutettu ja pätevytetty henkilö, joka tietää kyseisen menetelmän erikoispiirteet ja saavuttaa sillä luotettavat tulokset. [5.]

Standardissa SFS EN ISO 3452-1:2013 mainittu suorittamisjärjestys on seuraava:

1. Esivalmistelu- ja esipuhdistus: tarkastettava pinta tulee kuivata ja puhdistaa hilseestä, ruosteesta, maalista ja öljystä.
2. Tunkeumanesteen levitys ruiskuttamalla, huuhtomalla, sivelemällä, kastamalla, tai upottamalla. Tunkeumanesteen on pysyttävä tarkastettavalla pinnalla koko tunkeuma-ajan.
3. Ylimääräisen tunkeumanesteen poisto vedellä tai sopivalla liuottimella. Pinta on sen jälkeen kuivattava huolellisesti.

4. Tarkastettavalle pinnalle levitetään kehite, joka korostaa tunkeutuneen nesteen näyttämää.
5. Näyttämät tarkastellaan yleensä suurennuslasin avulla.
6. Tulokset tallennetaan ja dokumentoidaan piirtämällä, kirjoittamalla tai valokuvaamalla.
7. Jälkipuhdistus tehdään, mikäli kohteen käyttötarkoitus tai ominaisuudet niin vaativat, tai jos kohteelle tehdään uusi tunkeumanestetarkastus. [5.]



Kuva 2. Tunkeumanesteen vaikutus halkeamassa. (Kuva: [6]).

Tunkeumanesteen avulla saadut tulokset erottuvat puhdistetulta pinnalta selvästi. Nämä tulokset dokumentoidaan, jonka jälkeen suunnitellaan kyseisen kohteen korjaustoimet tai kohteen hylkääminen (kuva 2).

2.1.3 Ultraäänitarkastus UT

Ultraäänitarkastuksen periaatteena on lähettää tutkittavan kohteen läpi korkeataajuisia ultraääniaaltoja. Ultraääntä käytetään myös laajalti lääketieteen tutkimuksissa, koska se on turvallinen ja nopea menetelmä, eikä se aiheuta vaaraa elävälle kudokselle. Tämän vuoksi NDT-tarkastuksia suorittava henkilökään ei

tarvitse erillisiä suojavarusteita. Tarkastuksessa tarvittava laitteisto on kevyt, jolloin tarkastukset on helppo suorittaa paikan päällä (kuva 3). Standardi SFS-EN ISO 3452–1:2014 määrittää ultraäänitarkastuksen peruseräatteen ja reunaehdot. [8.]



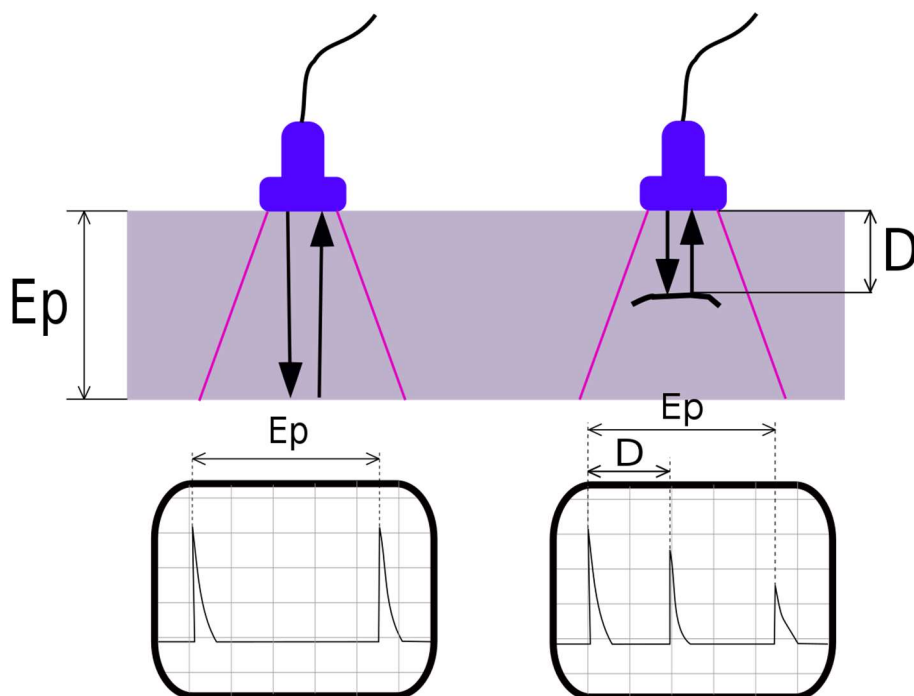
Kuva 3. Ultraäänitarkastuslaitteisto (Kuva: [7]).

Ultraääniaallon läpäisykyky on hyvä kiinteässä sekä nestemäisessä aineessa, mutta se tarvitsee aina väliaineen liikkuaakseen. Ultraäänien eteneminen on atomien ja molekyylien mekaanista liikettä, joten tyhjiössä se ei pääse etenemään ja kaasussa aallon vaimeneminen on nopeaa. Menetelmän käyttö NDT-tarkastuksissa perustuu nimenomaan tämän ilmiön hyödyntämiseen. Aalto etenee jokseenkin häiriöttä kiinteässä aineessa, mutta kohdatessaan särön, halkeaman, ilmakuplan, tai muun aineessa olevan virheen, sen eteneminen häiriintyy. Tämä voidaan todeta ilmaisimilla, kun tiedetään, milloin aalto on lähetetty, ja verrataan sitä palaavan aallon aikaleimaan. Lisäksi tutkittavan kohteen materiaali on tunnettava, koska ultraääniaalto etenee eri nopeudella riippuen materiaalista (taulukko 1). [8.]

Aine +20 °C	nopeus (m/s)
ilma	344
vesi	1483
lasi	≈ 4000
teräs	5100
alumiini	5110

Taulukko 1. Äänen nopeus eri väliaineissa.

Ultraäänitarkastustekniikoita on kaksi: läpäisytekniikka ja pulssikaikutekniikka. Läpäisytekniikassa ultraääniaallot lähetetään kohteen läpi, jonka jälkeen läpäisevän signaalin muutokset analysoidaan ja dokumentoidaan. Pulssikaikutekniikassa lähetetty signaali heijastuu tai siroaa jostakin rakenteen sisällä tai takana olevasta pinnasta tai rakenteen sisällä piilevästä epäjatkuvuuskohdasta. Yleensä tarkastuksissa käytetään joko pitkittäis- tai poikittaisaaltoja, mutta erityiskohteissa aaltomuodot voivat olla myös levy- tai pinta-aaltoja. Laitteistossa voidaan käyttää erillistä lähetintä ja vastaanotinta, mutta usein lähetys ja vastaanotto tapahtuvat saman anturin välityksellä. [8.]

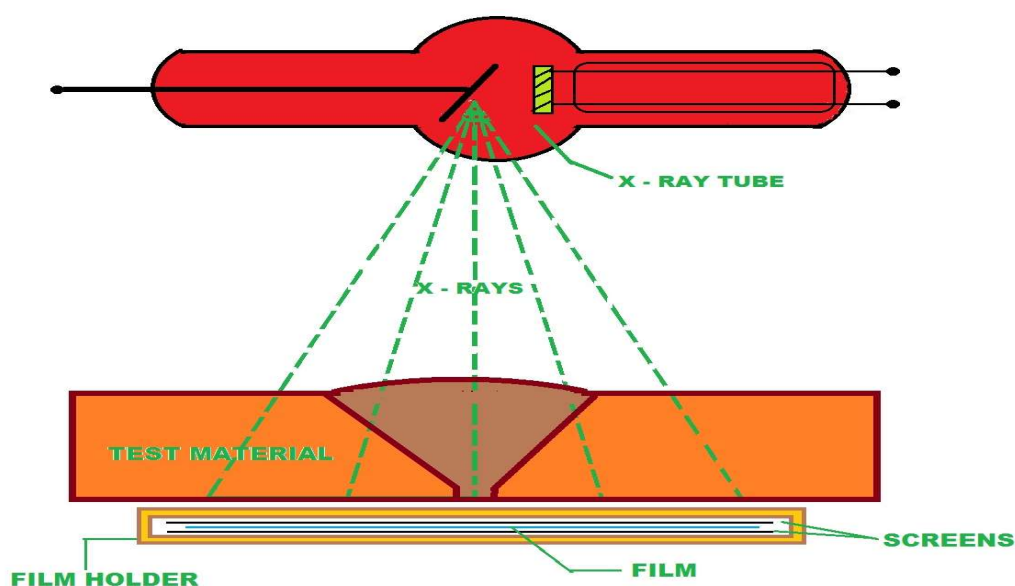


Kuva 4. Principle of ultrasonic testing. (Kuva: [10]).

Ultraäänitarkastuksen mittaus perustuu lähtevän ja palaavan signaalin aikaeron tarkasteluun (kuva 4). Käytettävä ultraäänen taajuus ja pulssitoistoväli pitää valita materiaalin paksuuden mukaan. Kun tiedossa on tarkasteltavan kohteen materiaali, ja sen paksuus, tiedetään myös signaalin etenemisaika. Mikäli signaali palaakin tiedettyä aiemmin, voidaan olettaa, että se on kimmonnut jostain epäjatkuvuudesta takaisin. Tämän kohdan rajaamisen ansiosta voidaan saada selville epäjatkuvuuskohdan koko ja muoto. [8.]

2.1.4 Radiografinen tarkastus RT

Radiografisessa tarkastuksessa käytetään ionisoivaa säteilyä ilmaisemaan tarkasteltavan kohteen murtumia, materiaali-poikkeamia tai muita kestävyysvaikuttavia tekijöitä. Radiografinen tarkastus perustuu säteilyn läpäisykyvyn muutokseen eri aineissa, jonka avulla kiinteän aineen poikkeamat saadaan näkyviin kappaleen taakse asetettuun filmiin tai ilmaisimeen. Tällä menetelmällä saadaan hyvin näkyviin materiaalin poikkeamat kolmiulotteisesti, mutta tasomaiset virheet voivat jäädä havaitsematta. Radiografisessa tutkimuksessa käytettävä ionisoiva säteily tuotetaan röntgenputkella tai radioaktiivisen aineen isotoopin avulla. Röntgen- ja gammasäteily on elävälle kudokselle vaarallista, ja se voi aiheuttaa vakavia solumuutoksia suurina määrinä. [1.]



Kuva 5. Röntgenkuvauksen periaate. (Kuva: [11]).

Radiografisessa tutkimuksessa ionisoiva säteily lähetetään tutkittavan materiaalin läpi, jolloin kohteen takana olevalle filmille piirtyy kohteen varjostuma (kuva 5). Mitä enemmän säteily läpäisee kohdetta, sitä vaaleampi kehitetty kuva on. Kehityksen jälkeen kuvasta voidaan tulkita kohteen 3D-projektio tummuuserojen perusteella. Digitaalisessa radiografiassa puolestaan käytetään filmin sijasta ilmaisilevyä, jonka herkkyys on filmiä parempi, jolloin kuvan sävyerot saadaan paremmin näkyviin, ja kuva on tarkempi. Lisäksi digitaalisessa muodossa olevat kuvat on helpompi taltioida, sekä kuvien käsitteleminen ja arkistointi on monin verroin sujuvampaa. [1.]

Radiografisen tarkastuksen standardit ovat:

- SFS-EN ISO 17636-1 *Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 1: Röntgen- ja gammakuvaus filmitekniikalla*
- SFS-EN ISO 17636-2 *Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 2: Röntgen- ja gammakuvaus digitaalteknikalla*

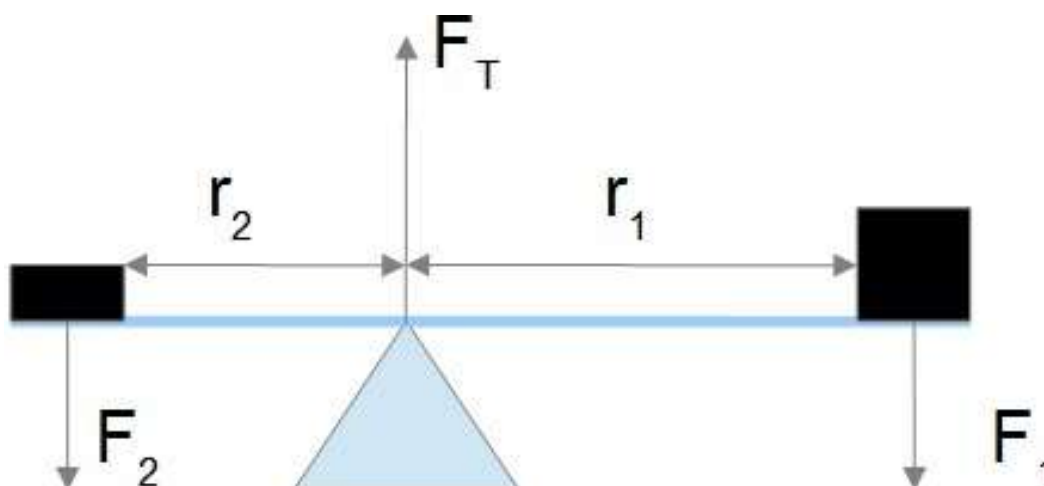
Nämä standardit määrittävät radiografisen tarkastuksen suoritusvaiheet, sekä muut huomioon otettavat asiat.

2.2 Lujuusoppi

Lujuusopin teoriassa tutkitaan kappaleiden käyttäytymistä ulkoisissa kuormituksissa. Se avulla voidaan selvittää kappaleen rasitukset ja niistä aiheutuvat jännitykset, muodonmuutokset ja kuormitukset. Lujuusopin teorian avulla voidaan määrittää kappaleen eri komponentteihin kohdistuvat rasitukset, kun tiedetään materiaali, olosuhteet ja kappaleeseen kohdistuva kuormitus. Lujuuslaskennan pohjalta voidaan rakenteelle määrittää maksimikuormitukset tai mitoittaa kuorman mukaan materiaalit ja niiden vahvuudet. Lujuuslaskennan avulla tehtävässä mitoituksessa käytetään aina turvakerroin, jottei jouduta sellaiseen tilanteeseen, missä rakenteen kantokyky olisi äärirajoilla. Lujuuslaskennassa rakenteita joudutaan usein yksinkertaistamaan laskujen helpottamiseksi, mutta kuitenkin siten, että malli vastaa tarpeellisissa määrin todellista tilannetta. [12.]

2.2.1 Staattinen kuormitus

Staattinen kuormitus on tyypiltään siten muuttumatonta, että siihen vaikuttavat kyseisellä hetkellä kuormittavat tekijät. Staattinen kuormitus on olemassa olevan rakenteen ja rakenteeseen sillä hetkellä vaikuttavan voiman resultantti. [12.]



Kuva 6. Tasapainotila (Kuva: Peda).

Kuvan 6 mukaiset tasapainoyhtälöt ovat:

Voimaehto: $F_1 + F_2 = F_T$ (1)

Momenttiehto: $F_2 * r_2 = F_1 * r_1$ (2)

Kappale on tasapainotilassa, kun siihen vaikuttavat eri suuntaiset voimat kumoavat toisensa (kuva 6). Staattinen kuormitus voidaan laskea, kun tunnetaan materiaalivahvuudet, rakenteeseen vaikuttava kuorma sekä tukevan rakenteen geometrinen muoto. [12.]

2.2.2 Dynaaminen kuormitus

Dynaamisen kuormituksen tarkastelu tapahtuu ajan suhteen. Dynaamisessa kuormituksessa on aina kiihtyvyyssuunnan komponentti, tärähdys, huojunta,

isku, tai joku muu ulkopuolisen lähteen aiheuttama kiihtyvyys. Dynaaminen kuormitus voi olla säännöllistä, tai sitten kertaluontoista. Säännöllisen kuormituksen tapauksessa pitää ottaa huomioon kuormituksen toistuvuus, eli taajuus, joka vaikuttaa koko rakenteen elinkaaren mitoittamiseen ottaen huomioon materiaalin mahdollisen väsymisen. [12.]

Kertaluonteisia, iskeviä kuormituksia vastaan mitoitus täytyy taasen tehdä ns. pahimman vaihtoehdon mukaan, jotta voidaan olla varmoja siitä, että rakenne kestää pahimmatkin kuormitukset. Näissä tapauksissa rakenteen mitoitus voi tuntua pahasti ylimitoitetulta. Molemmissa tapauksissa tulee selvittää kiihtyvyyden suunta mahdollisimman tarkasti, jottei yllättäviä kuormitustilanteita pääse syntymään, tosin kertaluontoisia kuormituksia vastaan tämä voi olla hankalaa. [12.]

2.2.3 Nurjahdus

Nurjahduksessa pystysuuntainen kuormitus kääntyy kohtisuoraan alkuperäistä voimaa vastaan, ja saa tangon nurjahtamaan. Tämä nurjahdusvoima voidaan laskea, kun tiedetään materiaalin ominaisuudet, sauvan muoto ja pituus (kaava 3). [12.] Lyhyillä tangoilla nurjahduksen aiheuttama vaara on vähäinen, mutta sauvan pituuden kasvaminen suhteessa paksuuteen lisää tätä riskiä huomattavasti.

$$P_n = \mu * \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} \quad (3)$$

missä,

P_n = nurjahdusvoima

μ = jäykistyskerroin

E = materiaalin kimmomoduuli

I = sauvan neliömomentti

L = sauvan pituus





Nurjahduksen laskemisessa tarvittava kierretangon neliömomentti:

$$I_z = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (4)$$

missä,

I_z = kierretangon neliömomentti

d = tangon halkaisija

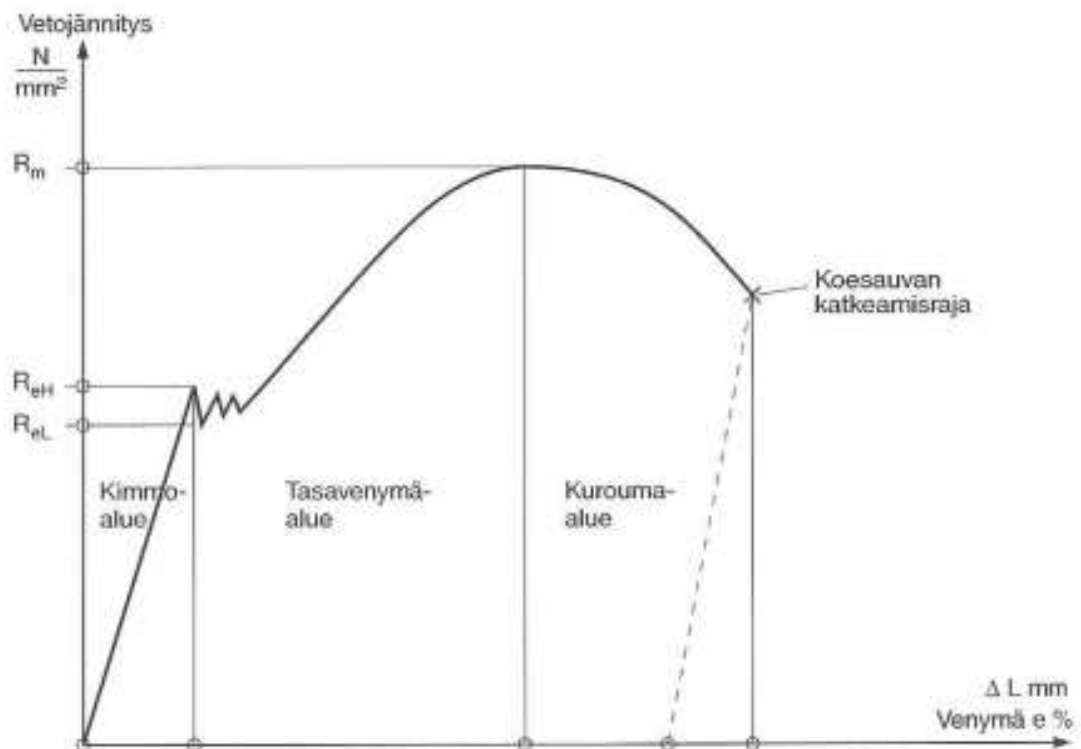
N:o	I	II	III	IV
				
Tuenta	jäykkä - vapaa	nivel - nivel	jäykkä - nivel	jäykkä - jäykkä
L_n	$2L$	L	$0,699L$	$0,5L$
μ	$0,25$	1	$2,05$	4

Kuva 7. Eulerin nurjahdustapaukset (Kuva: [12]).

Eulerin nurjahdustapauksia on yhteensä neljä kappaletta (kuva 7). Tapaukset jaotellaan eri kategorioihin riippuen siitä, onko nurjahtavan tangon päät kiinteät, vapaat, tai nivelletysti kiinnitetty. [12.]

2.2.4 Materiaalin lujuus

Metallin lujuus on ominaisuus, joka kertoo kyvystä kestää kuormitusten aiheuttamia veto- ja puristusjännityksiä. Yleensä materiaalien lujuutta pystytään koestamaan standardisoidulla vetokokeella, jonka tuloksena saadaan materiaalin ylempi ja alempi myötöraja, murtolujuus, murtovenymä, kimmomoduuli, sekä murtokurouma (kuva 8).



Kuva 8. Venymäpiirros (Kuva: [14]).

Venymäpiirroksessa näkyy metallin venymisen kolme eri aluetta:

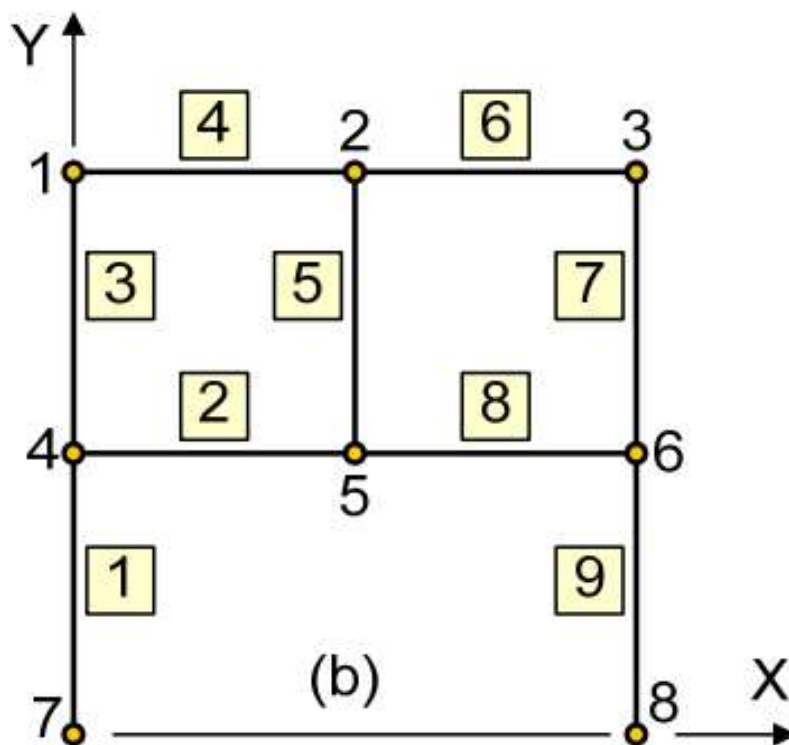
- Kimmoalueella, voimassa on Hooken laki, jolloin rakenne palautuu entiseen muotoonsa kuormituksen poistuessa.
- Tasavenymäalueella materiaali venyy tasaisesti ja muokkauslujittuu, jolloin sen sisäinen rakenne muuttuu.
- Kurouma-alueella, eli murtolujuuden (R_m) jälkeen, materiaali alkaa venymään paikallisesti, jolloin se alkaa ohenemaan ennen lopullista murtumistaan.

Näiden alueiden avulla voidaan tarkastella rakenteen kestävyyttä eri rasi-
lanteissa. Tämän opinnäytetyön pääpaino kohdistuu kimmoalueen tarkasteluun,
koska rakenteeseen ei sallita pysyviä muodonmuutoksia.

2.3 FEM-laskenta

2.3.1 Elementtiverkko

Finite Element Method (FEM), on lujuuslaskennassa laajalti käytetty mene-
telmä, jossa tarkasteltava geometrinen kohde jaetaan pienempiin elementteihin.
Monimutkaisessa kappaleessa pienemmät elementit ovat geometrialtaan yksin-
kertaisempia, jolloin niitä on helpompi laskea. Elementit voivat olla neli-, viisi-,
tai kuusitahokkaita, ja niiden pinnat voivat olla tasomaisia tai kaarevia. Näiden
elementtien solmukohtien suureiden avulla voidaan laskea numeerisesti rasi-
tusten voimakkuus kappaleen eri osissa (kuva 9). [13.]

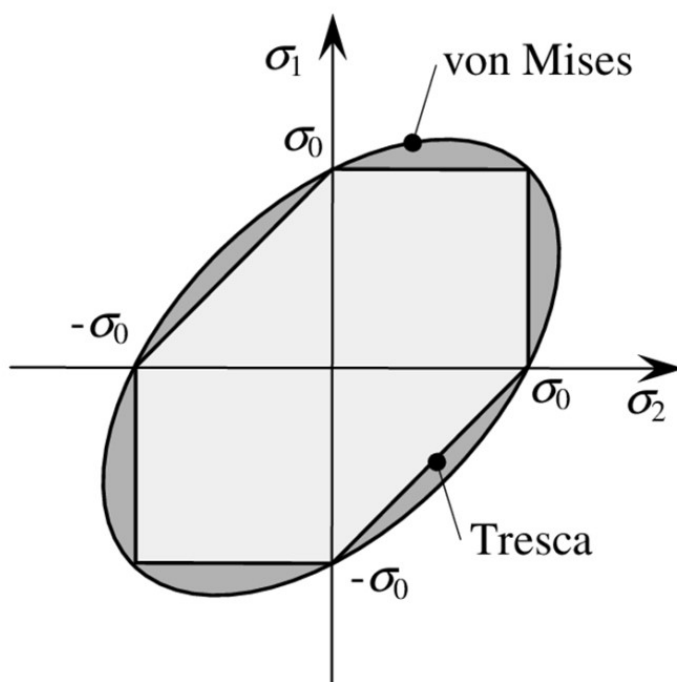


Kuva 9. Elementtiverkko (Kuva: [13]).

Alkuaikoina menetelmää käytettiin Yhdysvalloissa lentokoneiteollisuudessa, josta se levisi äkkiä konetekniikan, sekä rakennustekniikan aloille dynaamiikan ja statiikan laskentaan. FEM-laskenta on noussut tietotekniikan kehityksen myötä johtavaksi menetelmäksi lujuuslaskennassa, koska nykyajan työasemissakin riittää laskentateho monimutkaisten laskentaprosessien sekä yhtäaikaisten säikeiden suorittamiseen. [13.]

2.3.2 Von Mises -analyysi

Ennustava teoria, jolla voidaan ennustaa rakenteen kestävyys jännitystilassa. Laskennassa käytettävä vertailujännitys lasketaan normaali- ja leikkausjännityskomponenteista, jota voidaan verrata rakenteen mitoituksessa käytettävään sallittuun maksimijännitykseen. Mikäli laskennassa saatava vertailujännitys ylittää materiaalien maksimijännitysarvot, voidaan olettaa rakenteen pettävän. [17.]

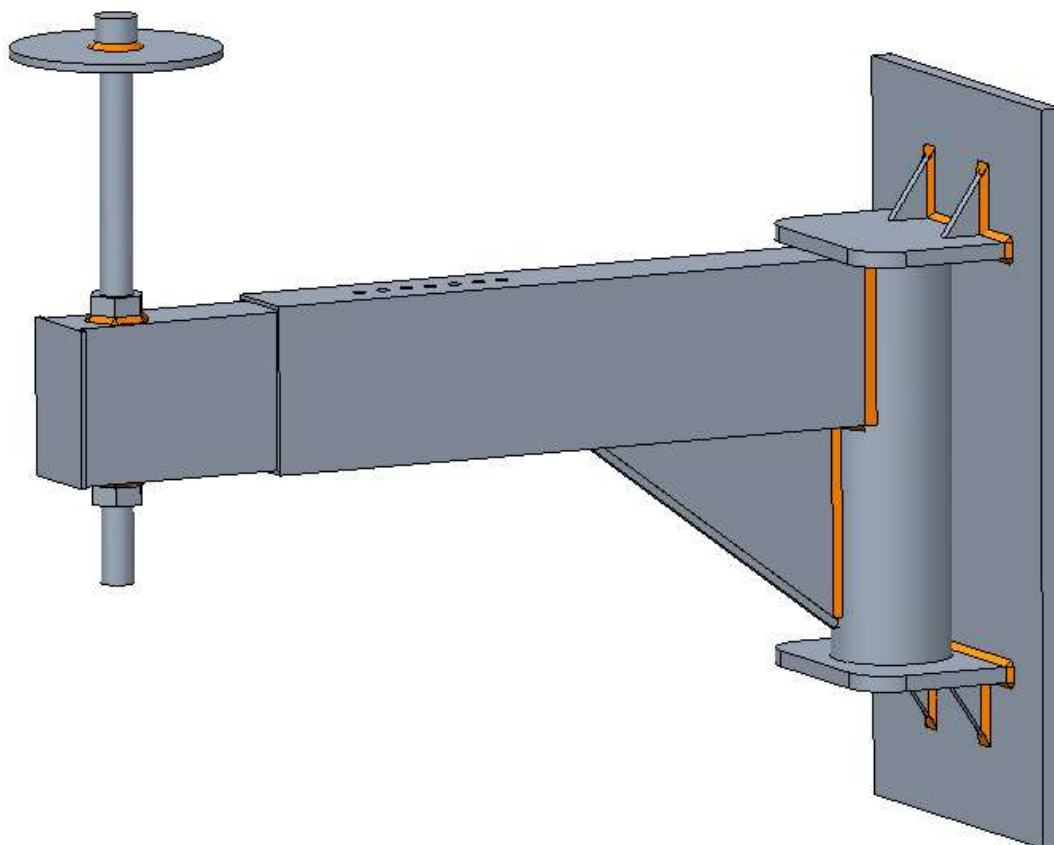


Kuva 10. Von Mises -teoria (Kuva: [19]).

Kuvassa 10 nähdään maksimileikkausjännityksen (Tresca) ja vertailujännityksen (von Mises) suhde toisiinsa tasomaisessa kuormitustilanteessa. [17.]

3 Tukijalan rasitukset

Merikontti, tukijalat, sekä muut niihin liittyvät rakenteet sijaitsevat säältä suojassa, ja auringon aiheuttaman ultraviolettisäteilyn vaikutuksilta suojatussa tilassa. Tila on kuiva, lämpötila vaihtelee muutamia asteita riippuen vuodenajasta johtuvasta lämpötilavaihteluista, joten merkittäviä muodonmuutoksia lämpölaajenemisen vuoksi ei ole oletettavissa. Tässä työssä keskityttiin yhden jalan rasitusten määrittämiseen (kuva 11) ja oletettiin, että kiinnitys betoniin säilyy muuttumattomana. Yhden jalan maksimikuorma voi vaihdella kontin painosta riippuen välillä 2600–3000 kg, joten laskelmissa on käytetty maksimikuormaa 3000 kg. Kontti aiheuttaa myös jalalle pientä dynaamista kuormitusta olosuhteista riippuen, mutta on todettu, että tämä erittäin vähäinen kuormitus ei vaikuta rakenteen kestävyYTEEN. Tämän työn osalta keskityttiin ehkäisevän kunnossapidon vaativiin tarkastuksiin jalkojen mekanismien, hitsausten, materiaalin kestävyYDEN sekä kierretangon muodonmuutosten osalta.



Kuva 11. Tukijalka.

Tukijalka on tehty S355-rakenneteräksestä, ja jalan koko rakenne on samaa materiaalia. S355-rakenneteräksen ylempi myötöraja (R_{eH}) on 350 MPa, ja murtolujuus (R_m) on välillä 430–550 MPa. [16.] Tukijalan rakenteen FEM-laskentojen tuloksia on verrattu ylempään myötörajaan, sillä rasiutusten pysyessä tämä myötörajan alapuolella, materiaali kestää tähän rajaan asti rasiutukset, ja palaa niiden jälkeen entiseen muotoonsa. Mikäli ylempi myötöraja ylittyy, materiaali ei palaudu entiseen muotoonsa, jolloin siihen syntyy pysyvä muodonmuutos. Tässä tilanteessa kyseisen jalan materiaalia ei voida pitää enää ehjänä, jolloin rakenne on näiltä osin uusittava.

Kierretangon lujuusluokka on 6.8. Merkinnän perusteella kierretangon murtolujuus on $6 * 100 \text{ MPa} = 600 \text{ MPa}$, ja myötöraja on $0,8 * 600 \text{ MPa} = 480 \text{ MPa}$.

Tukijalan rasiutusten määrittämisessä ei ole otettu kantaa kontin asennusvaiheessa aiheutuvista ylimääräisistä voimista, kuten törmäyksistä tai vastoin ohjeistusta tehdystä asennuksesta. Normaaliasennuksessa, joka tehdään ohjeistuksen mukaan, mekaanisia törmäysrasiutuksia ei synny. Koska edellä mainittuja vaurio-tilanteita on mahdotonta ennakoita, näihin virhetilanteisiin otetaan kantaa opinnäytetyön osassa 5.

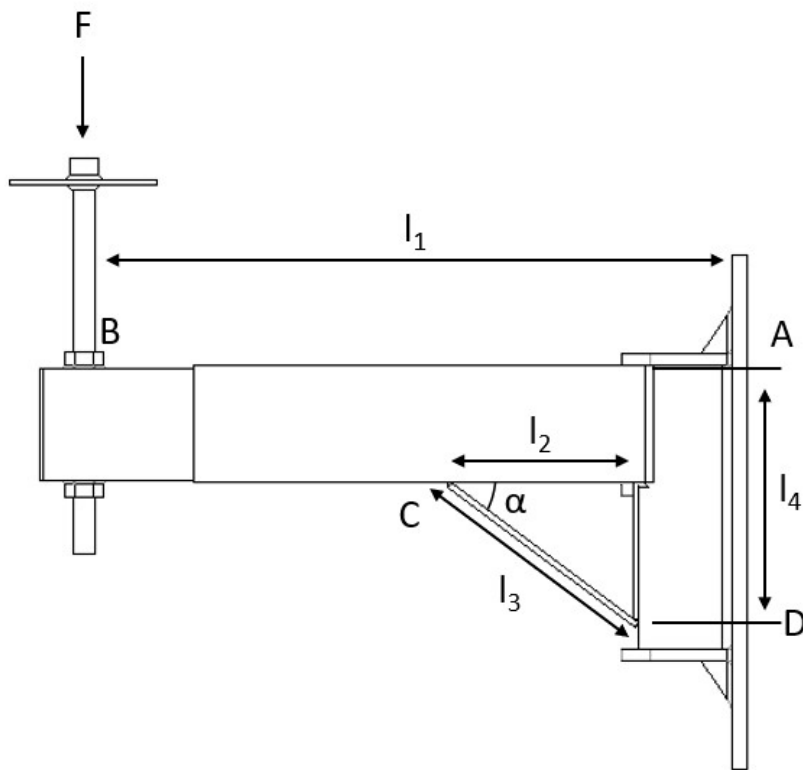
3.1 Lujuuslaskenta

Manuaalisen lujuuslaskennan tarkoitus on selvittää rakenteen kuormitukset, ja se toimii myös verrokkina FEM-laskennalle. Laskentojen perusteena on käytetty aiemmin ilmoitettuja arvioituja maksimikuormia, staattisen kuorman laskentojen perusteena on käytetty kuormaa 30 kN. Lujuuslaskennassa kappale on oletettu yhdeksi rakenteeksi, ja esimerkiksi liikkuvien osien aiheuttamia välyksiä, ja hitsauksia ei oteta huomioon. Laskennan tuloksena saadaan jalan kohdistama vääntömomentti betoniin ankkuroituun kiinnityslevyyn, jonka tuloksena tiedetään ylä- ja alakiinnityspisteisiin kohdistuvat voimat.

3.1.1 Staattinen kuormitus

Jalan vapaakappalekuvat (kuva 12) perusteella voidaan laskea voimat A_x ja A_y . Laskennassa käytetyt tukijalan parametrit ovat:

$F =$	30 000 N
$l_1 =$	880 mm
$l_2 =$	255 mm
$l_3 =$	317 mm
$l_4 =$	387 mm
$\alpha =$	37°



Kuva 12. Jalan vapaakappalekuva.

Tasapainoyhtälön mukaan:

$$F_{CD} * \sin(37^\circ) * 387\text{mm} - 30\text{kN} * 880\text{mm} = 0$$

josta voidaan johtaa voima F_{CD} ,

$$F_{CD} = 113352N \approx 113kN$$

Voiman F_{CD} perusteella voidaan laskea pisteeseen A vaikuttavat voimat, vaakasuuntainen A_x ja pystysuuntainen A_y .

$$-A_x + 113352N * \cos(37^\circ) = 0$$

$$A_x = 90526N \approx 90,5kN$$

$$-A_y + 113352N * \sin(37^\circ) - 30kN = 0$$

$$A_y = 38217N \approx 38,2kN$$

Näiden laskelmien perusteella voidaan todeta, että kuormitukset pysyvät reilusti alle materiaalin määrittämien varmuusrajojen. Kuitenkin tarkastuksessa on otettava huomioon betonikiinnityksessä tapahtuvat muutokset, mikäli niitä havaitaan.

3.1.2 Kierretangon nurjahdus

Tarkasteltavana olevan jalan pystysuuntainen kierretanko on kiinnitetty alapäästään kiinteästi, ja yläpäässä kiinnitystä ei ole, joten sitä käsitellään vapaana päässä. Kyseessä on tällöin Eulerin tapaus nro. 1.

Laskennassa on käytetty M30 kierretangon sydänhalkaisijaa:

$$d = 25,7 \text{ mm}$$

$$I_z = \frac{\pi * (d)^4}{64} = \frac{\pi * (25,7mm)^4}{64} = 2,14 * 10^{-8} m^4 \quad (5)$$

Nurjahdusvoiman määrittäminen P_n :

$$\begin{aligned}\mu &= 0,25 \\ E &= 210 \text{ GPa} \\ I_z &= 2,14 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ L &= 230 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$P_n = \mu * \frac{\pi^2 * E * I_z}{L^2} = 0,25 * \frac{\pi^2 * 210 \text{ GPa} * 2,14 * 10^{-8} \text{ m}^4}{(230 \text{ mm})^2} \approx 210 \text{ kN} \quad (6)$$

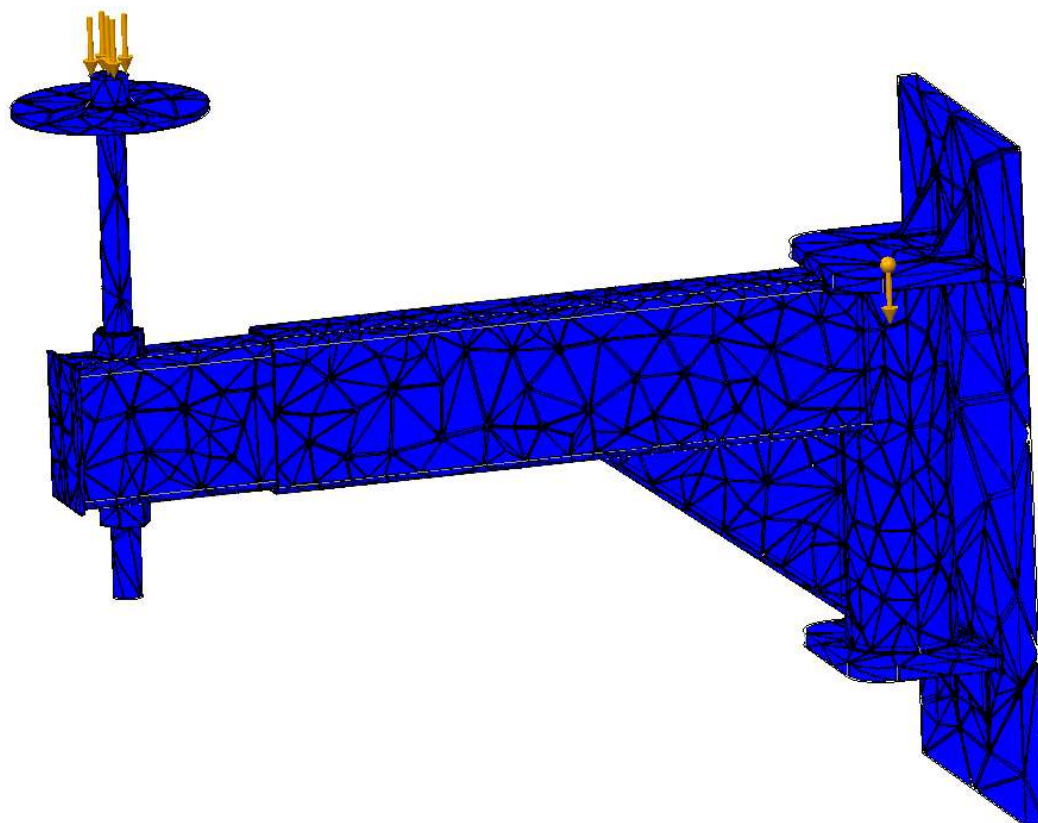
Tämän laskeman mukaan nurjahdusvoima ei muodostu tässä jalassa mitenkään ongelmaksi, koska tarvittava voima verrattuna kuormitukseen on noin 7-kertainen.

3.2 3D-malli

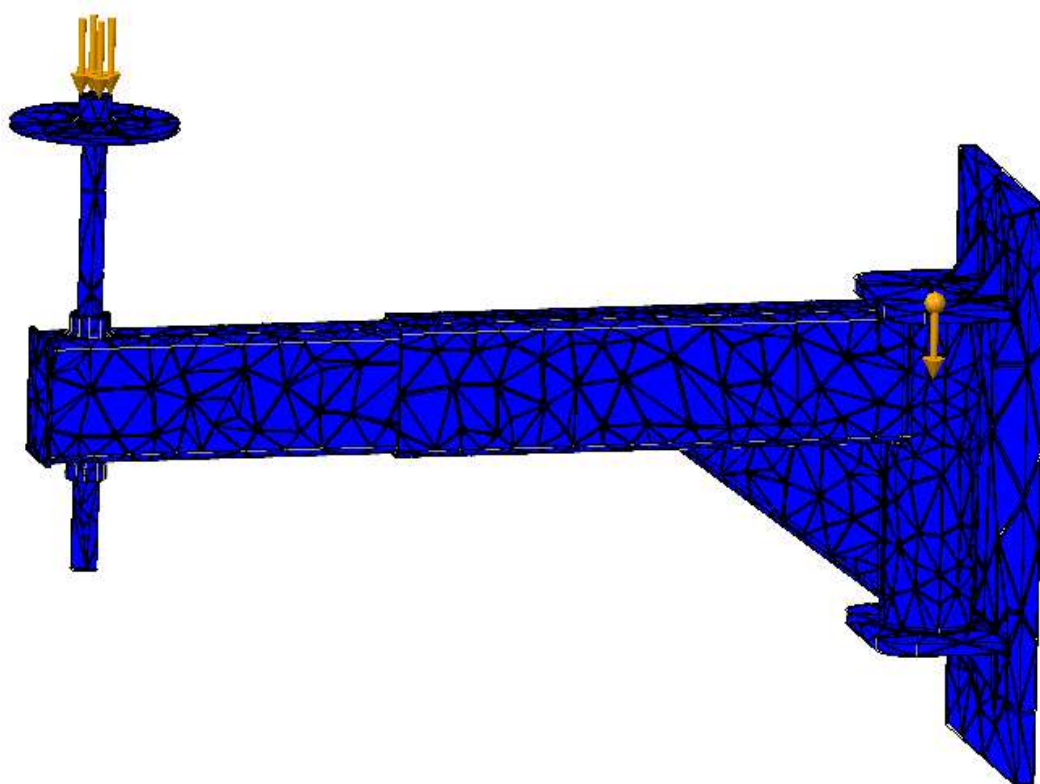
Tukijalasta on tehty mittojen mukaan 3D-malli, jonka perusteella laskennat ja muut analyysit tehdään. Malli on tehty tarkalleen oikean rakenteen mittojen mukaan, ja jalan teleskoopin ulkonema on mitoitettu vallitsevan tilanteen mukaan. Mallissa on otettu huomioon kaikki laskennan ja mallintamisen kannalta oleelliset mitat ja ominaisuudet huomioon, ja jätetty pois sellaiset yksityiskohdat, millä ei ole vaikutusta tarkastuksen, eikä laskennan kannalta. 3D-mallin luomisessa on käytetty Creo Parametric 6.0-ohjelmistoa, ja FEM-laskenta, sekä muut simuloinnit ovat suoritettu samalla ohjelmistolla.

3.3 FEM-laskenta

Kuvissa 13 ja 14 näkyy kontin tuottama kuormitus (30kN) suoraan tukipistettä vastaan, sekä kuvan toinen nuoli näyttää gravitaation suunnan. Mesh-verkko on luotu creo-ohjelmistolla, ja siinä on käytetty verkon solun oletuskokoa. Kaikki rakenteeseen liittyvät tulokset esitetään von Mises -analyysin perusteella.



Kuva 13. Tukijalasta tehty mesh-verkko normaaliasennossa.



Kuva 14. Tukijalasta tehty mesh-verkko teleskooppi ääriasennossa.

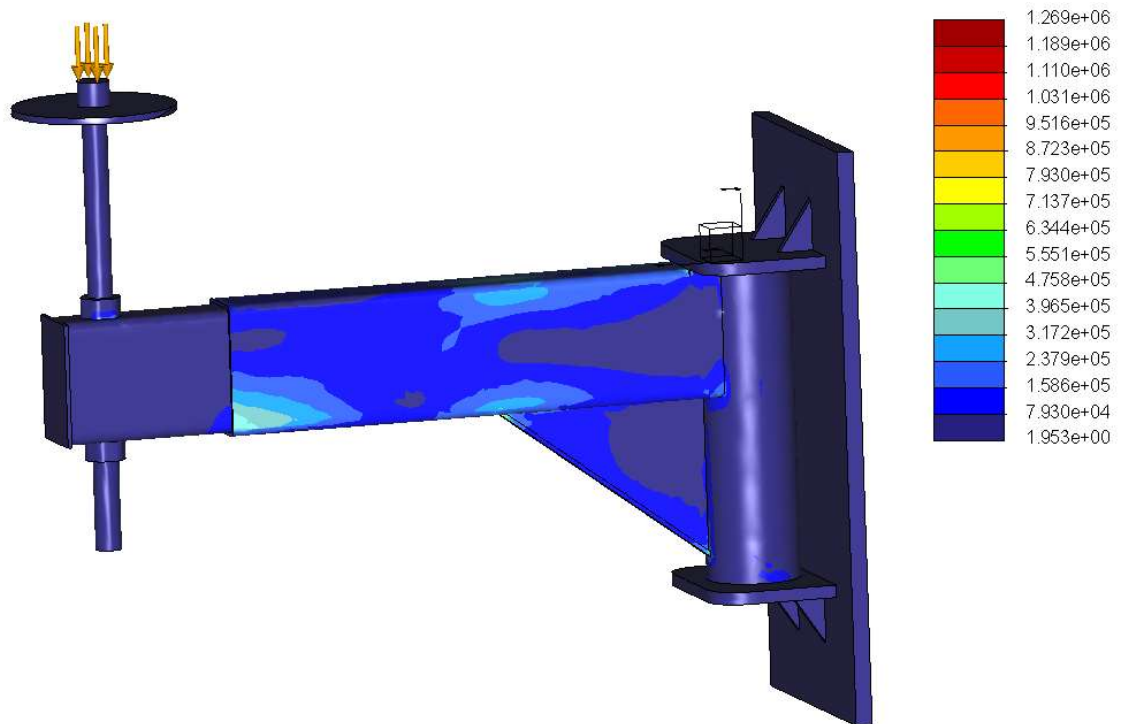
FEM-laskennan elementtiverkossa esiintyy myös piste, jolla ei ole pinta -alaa ja jännitys kasvaa äärettömäksi, eikä sillä ole määrällistä arvoa. Tämä piste muodostuu yleensä rakenteen teräviin kulmiin, ja sitä kutsutaan jännityssingulariteettipisteeksi, tai pelkästään singulariteetiksi. [18.] Koska ääretön jännitys on laskennan kannalta ongelmallinen, analyysissä on otettu näytepiste 10 mm terävästä reunasta sisäänpäin, jolloin saadaan riittävän tarkka arvo jalan jännityskohdasta, ja jonka perusteella voidaan tehdä johtopäätökset rakenteen kestävydestä.

3.4 Jalan analysointi kuormitusten mukaan

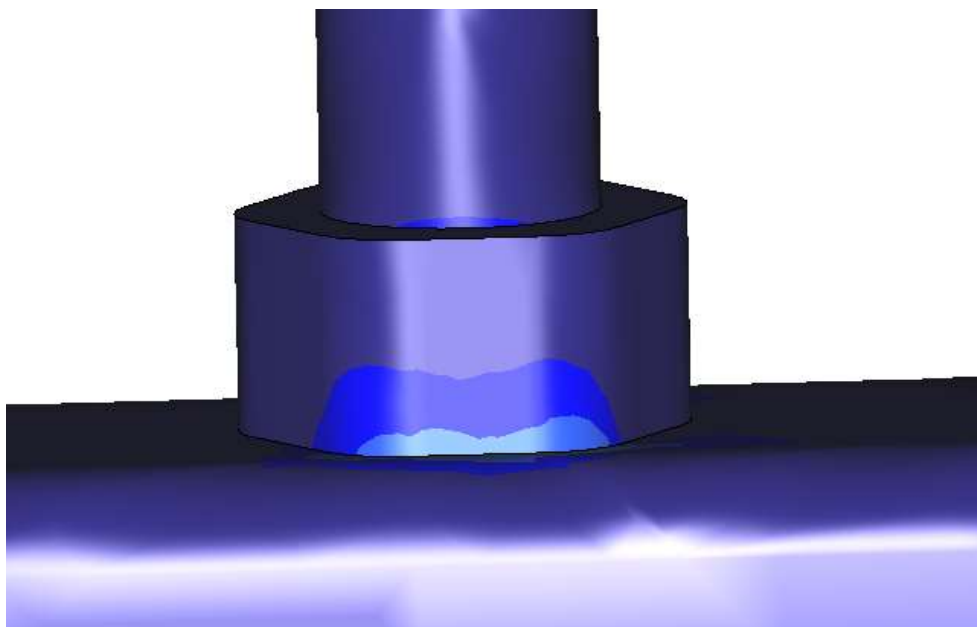
FEA-analyysissä käytettiin kiinteänä elementtinä betonikiinnitystä, ja analyysissä kuormitus näkyy pascaleina (Pa). Kuten yleisestä kuormituskuvasta (kuva 15) näkyy, kuormitus kohdistuu pääsääntöisesti teleskoopin liitoskohtaan, kierretangon juurimutteriin, kolmiotukeen, sekä kiinnityspotken alaosaan ja liitokseen.

Analyysin ensimmäisessä osassa jalan kuormituksia on tarkasteltu teleskoopin ollessa normaalissa käyttöasennossa. Jäljempänä olevassa analyysissä taas on verrattu teleskoopin normaaliasennon, ja ääriasennon kuormituseroja. Teleskoopin käyttö ääriasennossa ulkona on mahdollinen, joskin erittäin harvinainen käyttötapa.

3.5 Tukijalka normaalissa käyttöasennossa



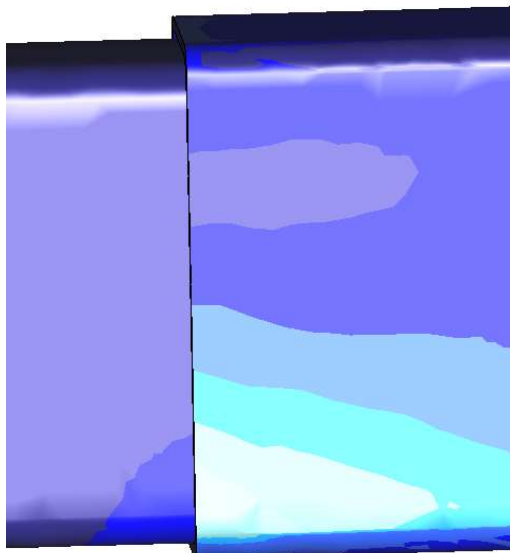
Kuva 15. Kuormitusten yleiskuva.



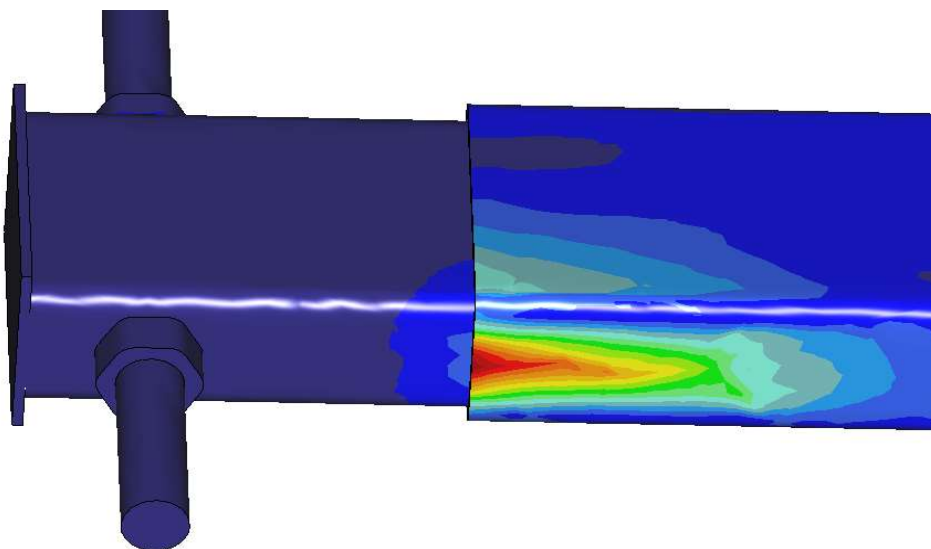
Kuva 16. Kierretangon mutterin rasitus.

Kierretangon kiinnitysmutterin juureen kohdistuu simuloinnin perusteella lievä rasitus (kuva 16), joten mutterin hitsausten tarkastus tulee ottaa asialistalle.

Kiinnitysmutterin juureen kohdistuva rasitus on pystysuuntaista, joten rakenteen pettäminen kyseisestä kohdasta on epätodennäköistä.

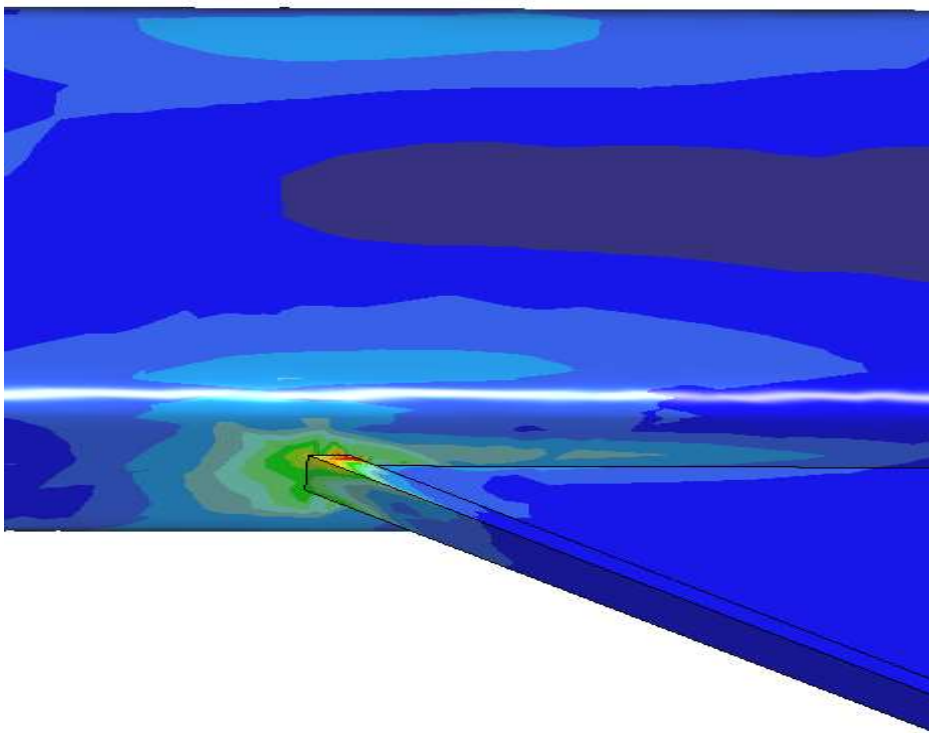


Kuva 17. Teleskoopin kuormitukset sivulta.



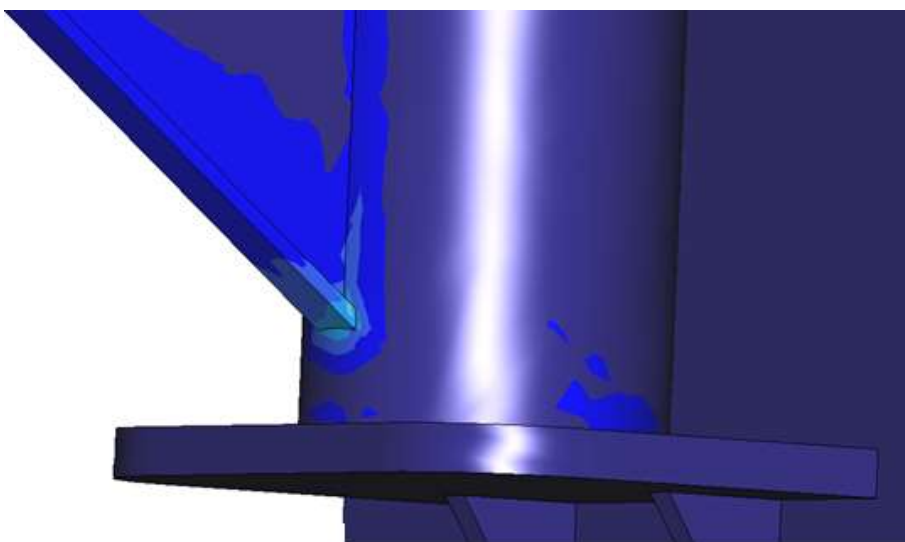
Kuva 18. Teleskoopin kuormitukset alapuolelta.

Teleskoopin liitoskohdan kuormitukset ovat kuvissa 17 ja 18. Kuvista voidaan tulkita rasitusten olevan suurimpia juuri ulomman putken alaliitoskohdassa. Tämä tulee ollakin yksi tärkeimmistä tarkastuskohdista muodonmuutosten osalta.



Kuva 19. Kolmiotuen kuormitukset alapuolelta.

Toinen tärkeä tarkastuskohde simulaation perusteella on kolmiotuen ja teleskooppiputken ulomman putken liitoskohta (kuva 19).

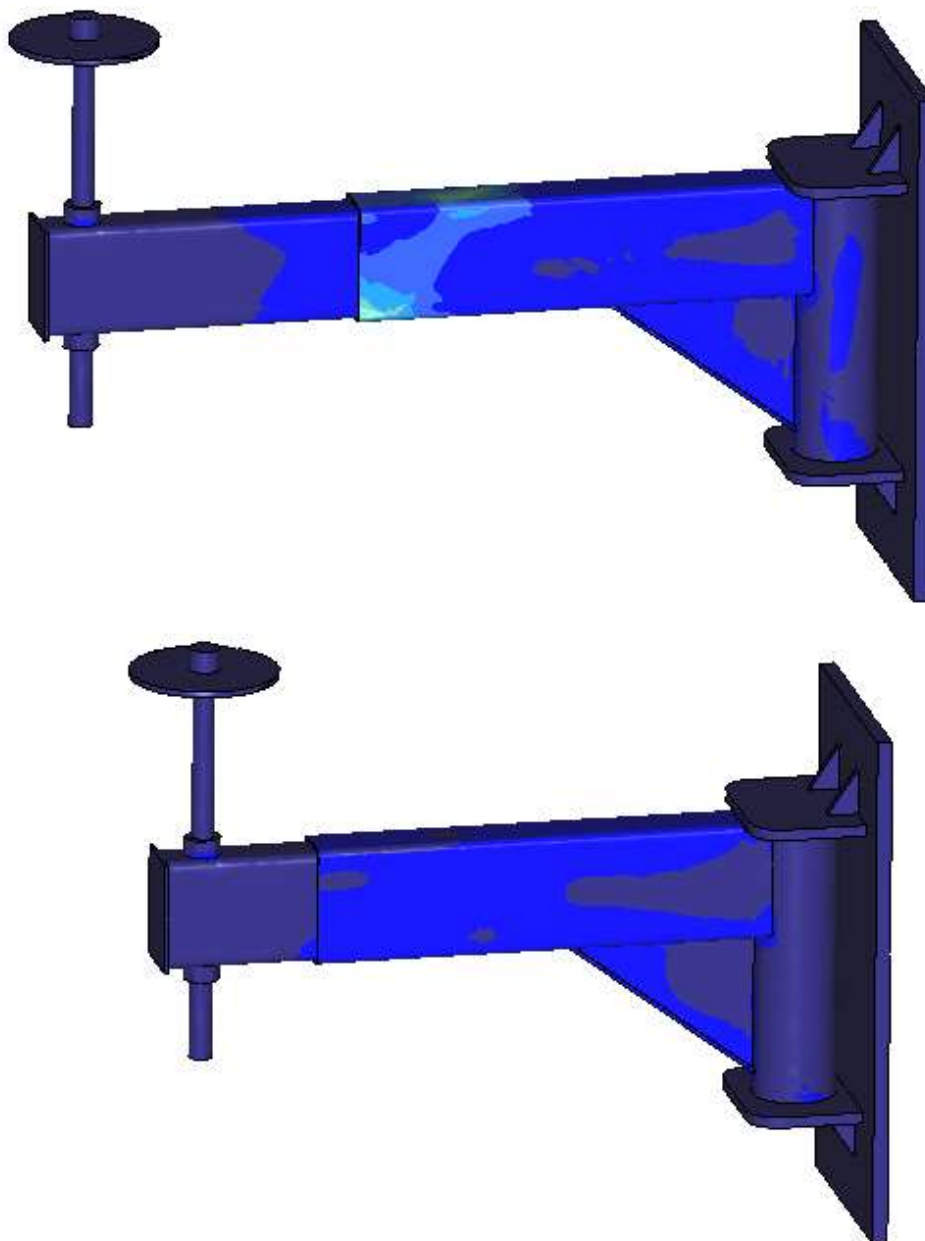


Kuva 20. Kolmiotuen alakiinnityskohdan kuormitukset.

Kolmiotuen alakiinnityskohtaan kohdistuu huomattavasti pienempi rasitus kuin yläkiinnityskohtaan (kuva 20).

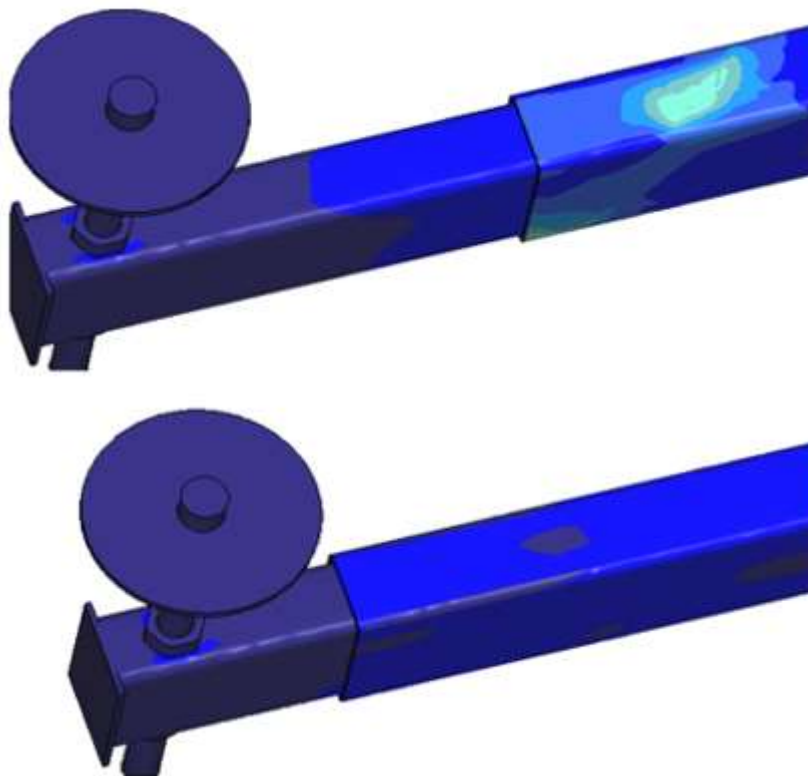
3.6 Normaalin käyttöasennon ja ääriasennon kuormitusvertailu

Koska teleskoopin käyttö ääriasennossakin on mahdollista, on tarpeen vertailla rasiuksia normaalin ja ääriasennon välillä. Loogisesti ajateltuna kuormitukset kasvavat tietyissä paikoissa rakennetta, kun momenttivarsi pitenee, näin käy myös tämän tukijalan tapauksessa. Vertailuanalyseja tutkiessa on otettu huomioon vain mallien väliset eroavaisuudet, itse kuormitusten voimakkuuksia ei ole tarkasteltu numeerisina. Silmämääräisessä vertailussa analyysin väripaletin sävyt ovat muutettu toisiaan vastaaviksi, jotta kahden kuvan vertailu olisi helppoa yhdellä silmäyksellä.

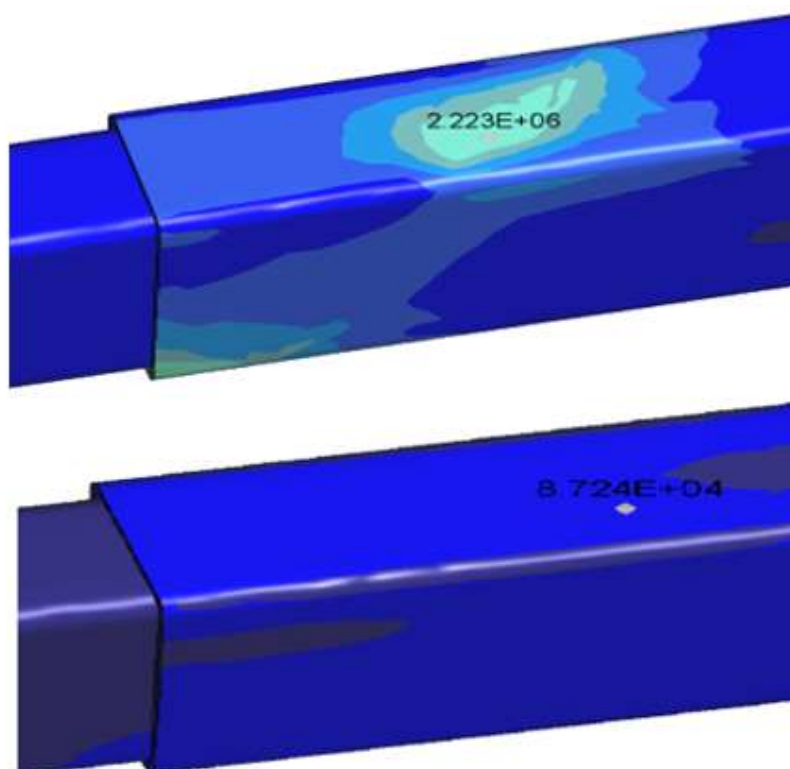


Kuva 21. Teleskoopin asentoverailun yleiskuva.

Kun teleskooppi vedetään ääriasentoon, tapahtuu teleskoopin rasituksissa huomattava muutos (kuva 21). Yleisesti ottaen havaitaan, että kuormitus kasvaa myös muissa pisteissä kuin suurimmissa rasituspisteissä.

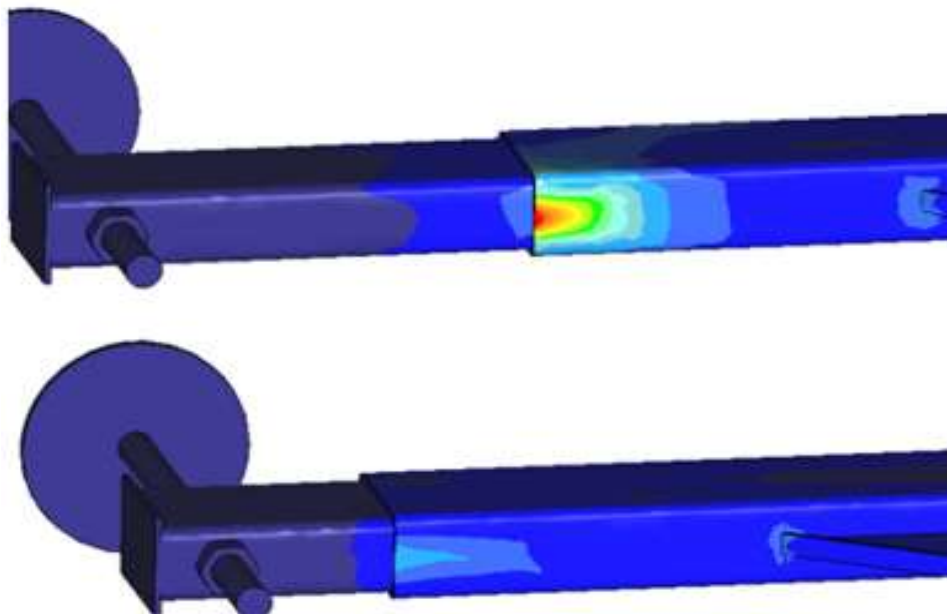


Kuva 22. Teleskoopin yläpinnan kuormitusvertailu.

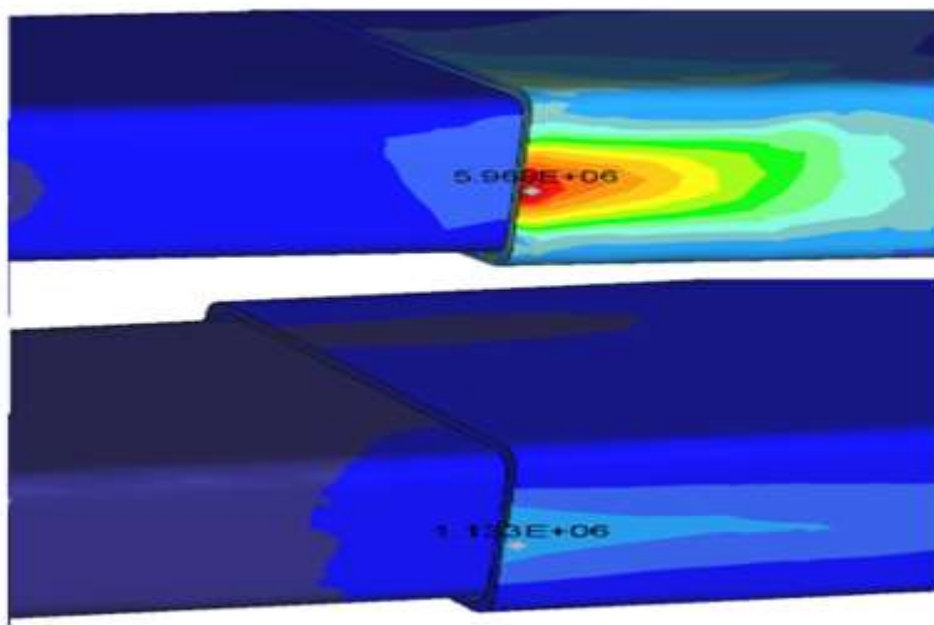


Kuva 23. Teleskoopin yläpinnan kuormitusvertailu.

Kuvassa 22 nähdään teleskoopin yläpinnan rasitusmuutokset. Simulaation perusteella on valittu teleskoopin yläpinnasta yhteneväinen piste, ja siitä on otettu mittatyökälulla pistekuormitus. Kuormitukset ovat, teleskoopin normaaliasennossa 87,24 kPa, ja ääriasennossa 2,22 MPa (kuva 23).



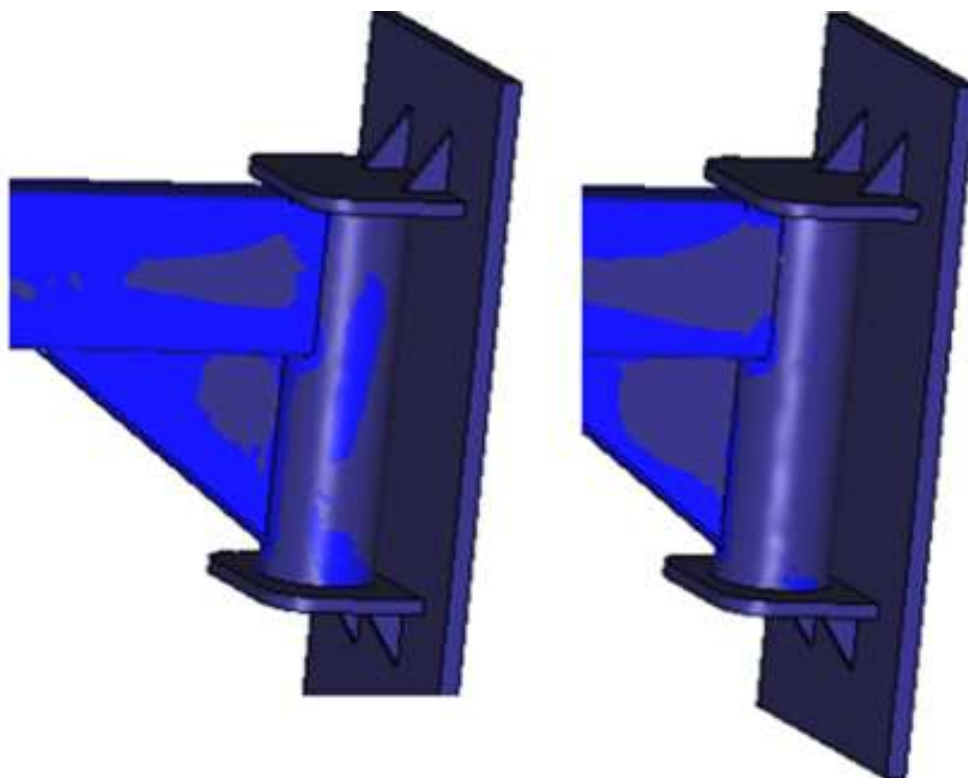
Kuva 24. Teleskoopin alapinnan kuormitusvertailu.



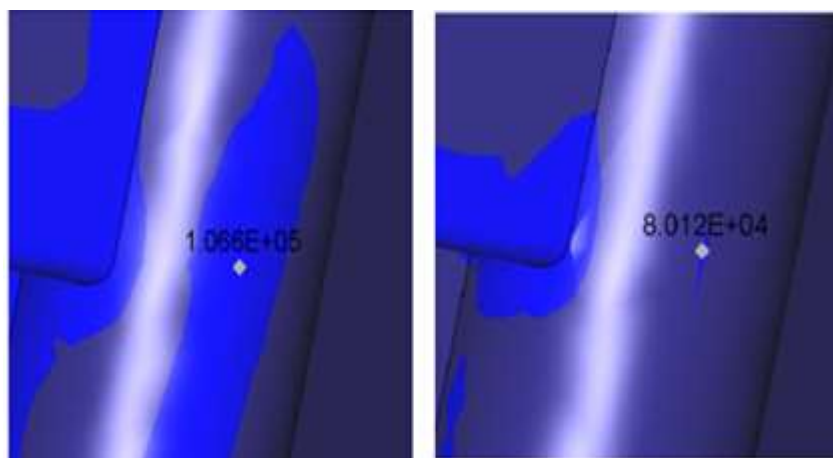
Kuva 25. Teleskoopin alapinnan kuormitusvertailu.

Kun tehdään vertailu teleskoopin alapuolen kuormituksista, vastaavat arvot ovat 1,13 MPa, ja 5,7 MPa (kuva 25).

Tuloksista voidaan todeta, että mitä lyhyemmän matkan teleskoopin putket ovat sisäkkäin, sitä kovempi momenttivaikutus kohdistuu ulomman putken ylä- ja alapintoihin (kuva 22 ja kuva 24). Koska teleskoopin ulomman putken reuna on terävä, muodostuu siihen laskennallinen singulariteetti, ja täten mittapiste on määritetty 20 mm reunasta (kuva 25).



Kuva 26. Jalan putken kuormitusvertailu.



Kuva 27. Jalan putken kuormitusvertailu.

Simuloinnin tuloksissa huomattiin myös, että juuriputken rasitukset voimistuvat putken keskiosissa (kuva 26). Tämä johtunee luultavasti tukikolmion rasitusten voimakkaasta leviämisestä koko kolmion alueelle. Tällöin myös juuriputken keskiosiin alkaa syntyä rasituskäyriä. Rasitukset ovat kuitenkin pieniä verrattuna teleskoopin rasituksiin, 80 kPa ja 107 kPa (kuva 27).

Molemmissa teleskoopin asennoissa rasitukset jäävät reilusti alle materiaalin myötörajan, 355 MPa, jolloin voidaan todeta, että rakenne on mitoitettu reilusti yli turvallisen rajan, ottaen huomioon myös varmuuskertoimen,

Edellä tarkasteltujen tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että koska rakenteen simulaatio on vain suuntaa antava, eikä kaikkia vaikuttavia tekijöitä voida saada sillä selville, sekä rasitukset kasvavat huomattavasti teleskoopin ääriasennossa, tätä asentoa ei suositella käytettäväksi pitempiaikaisessa varastoinnissa. Mikäli ääriasentoa käytetään, tulisi jatkuvan tarkastelun laatuun ja määrään kiinnittää huomiota, ja määräaikaistarkastuksen sykliä tihentää.

4 Tarkastussuunnitelma

4.1 Tarkastuspisteiden määrittäminen

Jalan tarkastuspisteet määritellään edellisen kappaleen Creo-analyysien pohjalta. Tarkastettavia kohteita ovat:

- kierretangon juurimutteri
- teleskoopin muodonmuutokset
- kolmiotuen yläkiinnitys
- kolmiotuen alakiinnitys
- hitsaukset
- kiinnitys betonipilariin.

Nämä tarkastuspisteet huomioon ottamalla voidaan suurella todennäköisyydellä varmistua siitä, että tarkastus on kokonaisvaltainen. Mikäli näissä pisteissä havaitaan muutoksia, tulee suorittaa koko jalan tarkastus vahinkojen määrittämiseksi.

4.2 Mittalaitteet ja tarvikkeet

Normaalissa määräaikaistarkastuksessa ei tarvita muita mittalaitteita kuin hyvä valo, ja epäselvissä tapauksissa mahdollisesti suurennuslasi. Koska tarkastus tehdään pääsääntöisesti visuaalisesti, on tarkastuksen kulurakenne kevyt.

Mikäli poikkeamia havaitaan, on syytä ottaa käyttöön ultraäänitarkastus. Jos ultraäänitarkastuksessa havaitaan poikkeamia, on jalkarakenteen uusimista harkittava.

4.3 Tarkastus

Määräaikaistarkastus suoritetaan visuaalisena tarkastuksena. Visuaalisen tarkastuksen lähtökohtina tulee olla muodonmuutosten tarkastelu, sekä hitsausseamojen tutkiminen. Tarkastusta helpottaa rakenteen maalipinnan eheyden tutkiminen. Mikäli maalissa havaitaan lohkeamia, on syvempi tarkastelu tarpeellista.

Mikäli hitsauksissa huomataan säröjä, suoritetaan tunkeumanestetarkastus. Tunkeumanestetarkastuksella saadaan selville säröön laajuus ja se, mikä vaikutus sillä on rakenteeseen. Kun särön laajuus on saatu selville, tehdään tarvittavat johtopäätökset rakenteen korjaamiseksi, tai jopa jalan uusimiseksi. Huomioitavaa on, että mikäli jalkaan on kohdistunut ulkoista kuormitusta virheikäytön tai onnettomuuden seurauksena, täytyy suorittaa perusteellinen tarkastus ennen jalan käytön jatkamista. Näitä tilanteita voivat olla kontin asennuksessa tapahtuneet törmäykset, kontin notkahdukset, tai muut ulkoisen voiman tai olosuhteen vaikutukset.

4.4 Määräaikaistarkastuspöytäkirja (Liite 1)

Creo-simulaatioiden ja yleisten rakenteen tutkiskelujen perusteella on koostettu tarkastuspöytäkirja, jota noudattamalla voidaan olla varmistuneista siitä, että rakenne ei ole vuosien saatossa päässyt väsymään (liite 1). Mittauspöytäkirja on tehty pääsääntöisesti visuaalista tarkastelua varten, mutta siinä on myös kohdat tarvittaessa käytettäville mittalaitteille, ja niiden kalibrointitiedoille.

Pöytäkirja täytetään merkitsemällä jalan sarjanumero pöytäkirjaan. Jos tarkastuksessa käytetään mittalaitteita, merkitään niiden mahdollisimman täydelliset tiedot. Kun tarkastusta suoritetaan, jokaisen kohtaan merkitään OK / EK. Mikäli merkitään EK, tulee huomiokentässä olla selvitys siitä, mikä kyseisessä kohdassa on vikana. Tarvittaessa muuta huomiota voidaan kirjata pöytäkirjan alaosan ”huomiot” -kohtaan, mikäli tarve vaatii, jatketaan huomioita paperin toiselle puolelle. Pöytäkirjaan tulee tehdä tarkemmat täyttöohjeet, mikäli viranomainen ottaa sen virallisesti käyttöön.

Pöytäkirja täytetään viiden vuoden välein, ja se arkistoidaan paperisena tai sähköisesti koko jalkarakenteen elinkaaren ajan. Arkistoisesta huolehtii kyseisen kohteen vastuhenkilö.

5 Tulokset

5.1 Pohdinta

Jalan kuormitusten tarkastelun perusteella visuaalinen määräaikaistarkastus on suositeltavaa. Rakennesuunnittelu on tehty varmuuskertoimet huomioon ottaen, mutta jalka voi ajan saatossa elää, joten varsinkin hitsaussaumamat voivat ratketa vuosien kuluessa. Koska kyseiselle jalkarakenteelle ei ole määritelty määrätarkastusväliä suunnittelijan toimesta, on hyvä ottaa käyttöön kevyt kunnonvalvontasuunnitelma.

Visuaalinen tarkastus antaa hyvän kuvan jalan kunnosta, ja mikäli poikkeamia ilmenee, voidaan syvemmät menetelmät ottaa käyttöön. Tarkastuksessa on syytä ottaa huomioon myös jalkaan kohdistuneet ulkoiset vaikutukset. Näitä vaikutuksia, kolhuja, vääntymiä, viiltoja yms., voi tulla kontin paikalleen asentamisen aikana. Kontin paikalleen asentavaa henkilöstöä tuleekin opastaa huolellisesti, ja velvoitettava ilmoittamaan kaikki työn aikana sattuneet tapahtumat.

5.2 Kunnonvalvontasuunnitelma

Koska kyse on painavasta kontista, ja se on tuettu korkealle, on kunnonvalvontasuunnitelman teko aiheellinen. Työturvallisuuden kannalta suunnitelma on myös tarpeellinen, koska kontin ollessa asennettuna jaloilleen, sen alla mahdollisesti työskennellään. Kunnonvalvontasuunnitelma on pääpiirteittäin seuraavanlainen:

Kuukausittain:

Kohteessa työskentelevä henkilöstö tekee pintapuolista visuaalista tarkastusta muodonmuutosten ja maalipinnan osalta. Tämä tarkastelu on muun työn ohessa tehtävää jatkuvaa visuaalista silmäilyä, eikä se vaadi erikseen resursoitavaa työaikaa, ja täten ei aiheuta ylimääräisiä kustannuksia.

Vuosittain:

Vuosittain suoritettavan laajemman määräaikaistarkastuksen aikana tarkastetaan tukijalan mekanismien toimintaa ja suoritetaan tarkempi visuaalinen tarkastus. Vuosittain tulee myös suorittaa rakenteeseen liittyvien pulttien ja mutterien kierteiden, sekä yleisen kunnon tarkastusta. Tarvittaessa pultit ja mutteri uusitaan. Tämäkin tarkastus on luonteeltaan kevyt ja pintapuolinen, eikä siinä tarvita apuvälineitä hyvää valaistusta lukuun ottamatta.

Viiden vuoden välein:

Viiden vuoden välein tehdään syvempi visuaalinen tarkastus, jossa tarkastetaan hitsausseamat tarkemmin. Apuvälineinä tässä tarkastuksessa voidaan käyttää kohdevaloa, sekä suurennuslasia. Tästä määräaikaistarkastuksesta täytetään

liitteenä oleva pöytäkirja, jonka perusteella voidaan todeta rakenteen säilyminen toimintakunnossa koko elinkaaren ajan.

Mikäli poikkeamia havaitaan, tehdään niistä erillinen asiakirja korjaustoimenpiteiden osalta, tarvittaessa koko rakenne uusitaan. Mikäli edellä mainituissa tarkastuksissa huomataan hitsauksissa säröjä, tulee suorittaa syvempi tarkastelu joko tunkeumanesteellä, tai tarvittaessa ultraäänellä. Ultraäänitarkastuksen tarpeellisuus täytyy määrittää tapauskohtaisesti siten, että otetaan huomioon tarkastuksen kustannusvaikutukset verrattuna koko rakenteen uusimiseen.

Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, mikäli teleskooppia käytetään ääri-asennossa, tulee jatkuvan tarkastelun laatuun panostaa, sekä tihentää määräaikaistarkastusväliä. Ohjearvona voidaan pitää tarkastusvälin puolittamista edellä mainitussa tilanteessa.

Lähteet

1. Martikainen, Jukka & Niemi, Erkki 1993. NDT-tarkastus käsikirja. Yleinen osa. Helsinki: Suomen hitsausteknillinen yhdistys r.y. NDT-komitea.
2. Prakash, Ravi. (2009). Non-Destructive Testing Techniques, New Academic Science. ProQuest Ebook Central.
3. SFS-EN 13018–3:2016. Non-destructive testing. Visual testing. General principles. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
4. Szutest, visuaalisen tarkastuksen katselukulmat. [Viitattu 08.04.2021.] Saatavissa: <https://i2.wp.com/www.szutest.com/wp-content/uploads/sites/2/2017/05/ndt1.jpg>.
5. SFS-EN ISO 3452–1:2013. Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
6. Sintrol, Punainen tunkeumaväri. [Viitattu 03.04.2021.] Saatavissa: https://sintrol.fi/wp-content/uploads/2019/10/bycotest_punainen_rp20_tunkeumaneste-1000x751.png.
7. Huatec, Universal Ultrasonic Flaw Detection Equipment. [Viitattu 03.04.2021.] Saatavissa: http://www.ndttester.com/photo/pc11386951-universal_ultrasonic_flaw_detection_equipment_non_destructive_testing_machine.jpg.
8. SFS-EN ISO 3452–1:2014. Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Yleisperiaatteet. 1. Painos. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
9. Valtanen, E. (2016). Tekniikan taulukkokirja. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.
10. Wikipedia Ultrasonic testing. [Viitattu 03.04.2021.] Saatavissa: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ae/UT_principe.svg/330px-UT_principe.svg.png.
11. Welding and NDT Radiographic testing. [Viitattu 07.04.2021.] Saatavissa: <https://www.weldingandndt.com/wp-content/uploads/2017/10/radiography-by-X-ray-300x286.jpg>.
12. Lähteenmäki, Matti. 2013. Lujuusoppi 1 ja 2, Luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu.
13. Lähteenmäki, Matti. 2012. Elementtimenetelmän perusteet, Luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu.
14. Lepola, P. & Makkonen, M. (2000) Materiaalit ja niiden käyttö. Porvoo: WSOY.
15. Tasapainotila. [Viitattu 15.04.2021.] Saatavissa: <https://peda.net/p/Markku%20J%C3%A4rvinen/fysiikka/m8lf/tasapaino/pvjt/tasapainoehdot-jpg:file/photo/68e66de1218a902bdb806e5475e96160c54a0527/tasapainoehdot.jpg>.
16. Kuumavalssattu teräs. [Viitattu 23.06.2021.] Saatavissa: <http://gaoy.fi/tuotteet/kuumavalssattu/>.
17. Hakala, M. K. (1986). Lujuusopin elementtimenetelmä. Espoo: Otakustantamo.
18. Acin, M. 2015. Stress singularities, stress concentrations and mesh convergence. Acin.Net. [Viitattu 23.6.2021.] Saatavissa: <http://www.acin.net/2015/06/02/stress-singularitiesstress-concentrations-and-mesh-convergence/>.

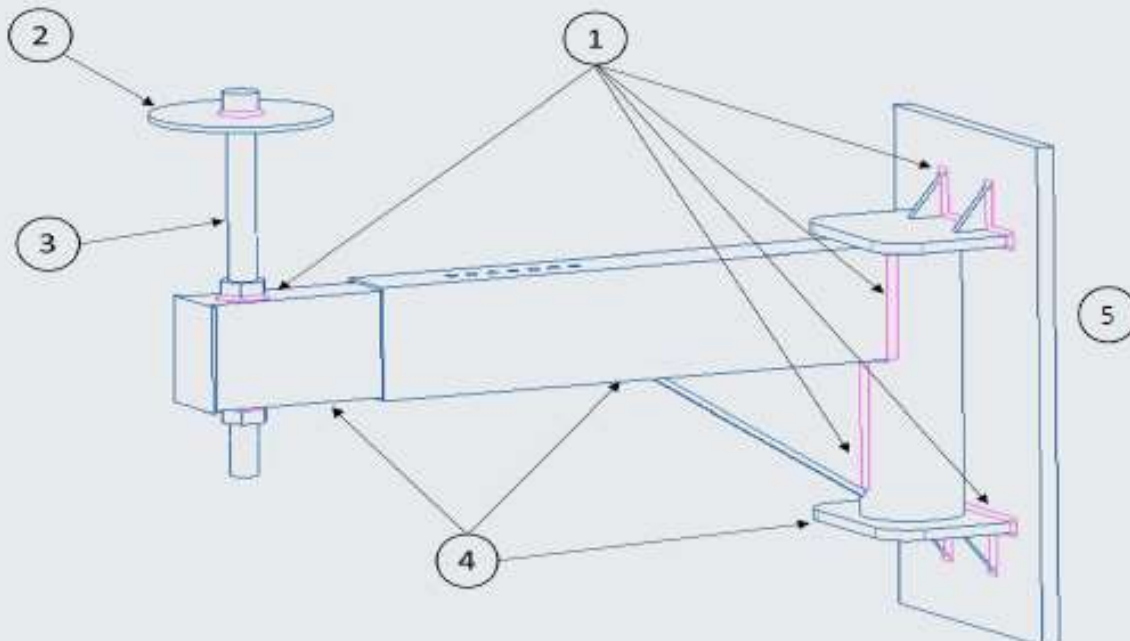
19. Biaxial stress for the von Mises and Tresca's criteria of plasticity. [Viitattu 21.07.2021.] Saatavissa: <http://pubs.sciepub.com/ajme/5/6/21/big-image/fig3.png>.

TARKASTUSPÖYTÄKIRJA	Paikka	Jalan sarjanumero

Tarkastuksessa käytetyt mittalaitteet:

Mittalaite	Yksilönumero	Kalibrointi

Kohde	Tarkastuksen sisältö	Suoritettu	Huomiot
1	Hitsaukset: - Saumojen maalausten kunto - Ei halkeamia		
2	Kontin tukilevy: - Geometrinen muoto - Tason vääntymä		
3	Kierretanko: - Kierteen kunto - Kierretangon suoruus		
4	Muu rakenne: - Teleskoopin muoto - Reikien kunto - Tukikolmion muoto - Ylä- ja alakiinnitykset		
5	Betonikiinnitykset: - Betonissa ei murtumia - Tukilevyjen kiinnitykset - Muu betonirakenne		



Huomiot _____

pvm _____ Allekirjoitus _____